

PAK 924

N° 6 - 2003

tekhne

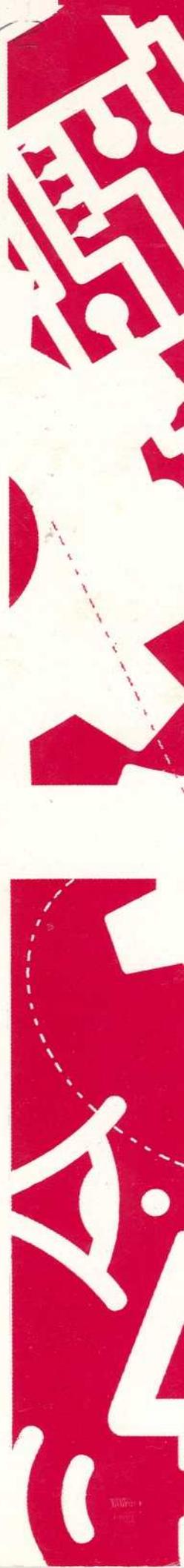
Revista de la Facultad de Ingeniería



Universidad Católica Andrés Bello



Caracas, Venezuela



Rector
Luis Ugalde, S.J.
Vicerrectora Académica
Myriam López de Valdivieso
Vicerrector Administrativo
Lorenzo Caldentey
Secretario
Gustavo Sucre, S.J.

Director de la Revista
Ing. Rafael Hernández S.
Decano de la Facultad
Jefe de Redacción
Ing. Alonso Pérez Luciani
Consejo Editorial
Ing. Rafael Hernández S.
Ing. Lorenzo Caldentey
Lic. Emilio Piriz Pérez
Ing. Alonso Pérez Luciani
Ing. José Ochoa
Ing. Vicente Napolitano
Ing. Lourdes Ortiz
Lic. Milagros Boschetti
Ing. Wickard Miralles
Ing. Diego Casañas
Ing. Raiza Reyes
Ing. Nelson Belardi
Lic. Roberto Escolar
Ing. José Manuel Ríos, S.J.

Producción
Publicaciones UCAB
Diseño y Composición
Publicaciones UCAB
Diagramación
Alexandra Loginow
Impresión
Editorial Texto

Diseño de Portada
Jhon Bruzual
Foto de la portada
E. Piriz Pérez

Depósito legal
Pp 97-0007
ISSN: 1316-3930

Website
<http://www.ucab.edu.ve/ingenieria/publicaciones/tekhne.htm>
E-mail: rahernan@ucab.edu.ve



PUBLICACIONES UCAB
Edificio de Biblioteca, tercer piso
Montalbán - La Vega
Apartado 20.332
Caracas 1020 - Venezuela
Telf: 407.42.08
Fax: 407.43.51



Editorial 3

E S T U D I O S

1. Una Escultura para la enseñanza de Proyectos de Estructuras de Acero. *Arnaldo Gutiérrez* 5
2. Lo que no vio Stillman Drake en Galileo. Parte II. *Joseba A. Lascurain* 19
3. Reflexiones acerca de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). *María Isabel López* 26
4. El Flujo de Caja Descontado. (Discounted Cash Flow). *Roberto Vainrub* 32
5. Propuestas de Mejoras a los Procesos de la Gerencia de Información Geo-Espacial, adscrita a la Gerencia General de Habilitación y Disposición de Inmuebles de Petróleos de Venezuela S.A., mediante un sistema de evaluación de gestión y un modelo de actualización y planificación tecnológica. *Daniel Álvarez Hernández* 38
6. Propuesta de diseño mecánico y análisis del proceso productivo de Sillas de Rueda bajo enfoque que integre la Ingeniería de Diseño y la Ingeniería de Manufactura. *Janeth Herrera, Rubén Figueroa* 48
7. Máquina de Carlos Aguerrevere. *Carlos Aguerrevere* 62
8. Correlación entre Falla de Suelo y condiciones del Suelo en la Ciudad de Adapazari, Turquía. *Autores Varios* 82
9. Soluciones del Medio Continuo aplicables a perfiles de cargas generalizables, a partir de la Ecuación Diferencial de Murashev, Sigalov y Baykov. Parte II. *Mario Paparoni y P. F. Hummelgens* 93
10. MESEM: Mecanismo de Seguridad para Productos Multimedia. *Jon Font* 106
11. Construcción de una Aplicación que Interactúe con un Robot a través de la Tecnología JINI. *Daniel Vera* 127
12. Regionalizar Coeficientes de Diseño de Mezclas de Concreto para desarrollar viviendas de interés social. *Guillermo Bonilla y Yelitza Sirit* 145

**REVISTA
TEKHNE**

**COMISIÓN
DE ARBITRAJE**

Ing. Santiago Vera Izquierdo

Ing. Guido Arnal Arroyo

Ing. Joseba Lascurain

Ing. Mario Paparoni

Ing. Alfonzo Robaina

Ing. John Nouel

Ing. Alejo Planchart

Dra. Aura Marina Perdomo

Dr. José Luis Rodríguez

Ing. Enrique Caldentey L.

Lic. Valeriano Rodríguez

Ing. Manuel Vicente Méndez

Ing. Juan S. Sananez

Ing. José Asapchi S.

Ing. Guillermo Vidal

EDITORIAL

Finaliza el año académico 2001-2002 con la consolidación de los programas iniciados y continuados por la Facultad en los períodos pasados. Las dos primeras cohortes de Ingeniería Informática, el primer año de Ingeniería de Telecomunicaciones, la incorporación de la Universidad de Rochester a las pasantías internacionales y la actualización de los planes de las Escuelas Ingeniería Industrial, ya aprobado y de Ingeniería Civil, nos indican que continuamos progresando hacia las metas establecidas en nuestro plan de desarrollo.

Una acción importante ha sido el iniciar este año la red de homólogos de Facultades de Ingeniería AUSJAL (Asociación de Universidades confiadas a la Compañía de Jesús en América Latina). Son 26 universidades en Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, El Salvador, Guatemala, México, Nicaragua, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela. El próximo mes de septiembre tendrá lugar el encuentro de Decanos de Ingeniería de estas universidades en la ciudad de Río de Janeiro, dentro de las instalaciones de la Universidad Católica de Río. Iniciaremos proyectos que nos unirán a todas estas Facultades hermanas. TEKHNE será una herramienta fundamental en esta acción.

El número seis de TEKHNE trae consigo una serie de artículos de sumo interés, abiertos a la discusión y reflexión por parte de todos los lectores, colaboradores conocidos, profesores constantes en plasmar en nuestras páginas sus buenos artículos y desarrollos académicos. Se unen, con gran satisfacción, Trabajos de Grado que han merecido la distinción de publicación y que muestran el alto nivel de nuestros jóvenes ingenieros. Algunas de estas investigaciones han alcanzado premios en el ámbito nacional e internacional.

La Facultad se acerca a contar pronto con tres mil estudiantes; las cuatro Escuelas son un continuo mar de oleadas de nuevas ideas, búsqueda de líneas de investigación, creación de unidad de apoyo a la docencia bajo la tecnología de la informática y un sentir de constante hacer con perseverancia, ilusión y anhelo de contribuir al avance de nuestra querida Venezuela.

Otra vez gracias a todos los que han colaborado en este nuevo número, y mi permanente invitación a participar en esta ventana al mundo de la Ingeniería.

Rafael Hernández Sánchez-Ocaña

UNIVERSIDAD CATÓLICA AMÉRICA
BIBLIOTECA
DEPARTAMENTO DE ADQUISICIONES
COMPRA CANJE DONACION

revista de ingeniería



UNA ESCULTURA PARA LA ENSEÑANZA DE PROYECTOS DE ESTRUCTURAS DE ACERO

Quizá debemos aprender que lo imperfecto
es otra forma de la perfección:
la forma que la perfección asume
para poder ser amada.

Roberto Juarroz, 6^a. *Poesía vertical*

CRONOLOGÍA

La escultura es una idea y diseño originales del Prof. Duane S. Ellifrit [Ellifrit, 1987], construida e instalada por primera vez en 1986, en el College of Engineering, University of Florida, Gainesville [U. de Florida, 1997]. Los planos fueron adquiridos por el Prof. Arnaldo Gutiérrez, de la Universidad Católica "Andrés Bello" en Enero de 1988; quien desde entonces empezó a promover su construcción. En 1997 el Prof. Gutiérrez modificó las conexiones, de momento, para adecuarlas a las enseñanzas dejadas por el terremoto de Northridge de 1994 [Gutiérrez, 2000]. La escultura fue fabricada por primera vez en Venezuela por PLUSMETAL C.A en Octubre 2000 a solicitud de la Comisión Técnica Asesora de SIDETUR para ser expuesta en la ocasión del Seminario Técnico *Normas para el proyecto de Estructuras de Acero* del 21 de Noviembre de 2000. Posteriormente la Gerencia de Mercadeo y Ventas de SIDETUR - Antímano decidió donarla a la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la UCAB, donde fue instalada a la entrada del edificio de Laboratorios en Febrero 2001 y entregada oficialmente a las autoridades universitarias el 12 de Diciembre de 2001 [UCAB, 2002]. Bajo la tutoría del Prof. Gutiérrez, la Br. Paulina Faundes Pool presentó en enero 2002 como Trabajo Especial de Grado una guía para la enseñanza del diseño de conexiones aprovechando las existentes en la escultura [Faundes, 2002].

■ Arnaldo Gutiérrez

La Gerencia de Mercadeo y Ventas de SIDETUR tiene contemplado realizar más esculturas para donarla a otras universidades, especialmente las del interior del país, previa modificación y sustitución de los perfiles importados por perfiles nacionales, de manera que *El muchacho*, como se conoce a esta escultura, seguirá siendo única.

MOTIVACIÓN

Durante muchos semestres ha sido una aspiración de la Cátedra de Proyecto de Estructuras de Acero familiarizar a los alumnos con las conexiones. No ha sido fácil porque las visitas a talleres y obras es difícil. Por razones de seguridad industrial y de logística, los talleres, y particularmente los montadores de estructuras de acero al igual que la mayoría de los constructores, no simpatizan con la idea de que sus obras sean visitadas. Otra desventaja de las visitas es que no siempre es posible ver en una misma obra una amplia variedad de tipos de conexiones, por el contrario, hay mucha repetición de un mismo tipo.

La fabricación de algunas conexiones para mostrarlas en el salón de clases también presenta inconvenientes. Debido a sus dimensiones y peso no son fácilmente transportables y manejables, y su almacenamiento mientras no están en uso también es problemático.

Las nuevas soluciones virtuales disponibles en los programas de computadora son apropiadas pero después de que se tiene alguna experiencia con conexiones reales. Por todos estos motivos e inspirado en las esculturas artísticas de acero existentes en algunas ciudades norteamericanas, como por ejemplo las de Chagall y Picasso en Chicago, el Prof. Duane S. Ellifritt concibió esta escultura didáctica, cuyos principales propósitos son:

- Asistir a los profesores de Estructuras de Acero y Proyectos de Estructuras de Acero en sus clases de diseño.
- Ejemplificar los diferentes métodos para realizar las juntas, conexiones y nodos de una estructura de acero.
- Llamar la atención permanentemente a los futuros profesionales sobre las ventajas de la construcción en acero.

Además de la estructura, SIDETUR donó los planos de taller y diferentes vistas de la escultura, re-

elaborados a partir de los planos originales y montados fotográficamente en una superficie resistente a la intemperie. De esta manera se cumple con el objetivo de introducir y facilitar al estudiante en el fascinante campo del detallado de estructuras de acero.

La escultura no pretende ilustrar todas las posibles conexiones, pero cubre un gran porcentaje de las conexiones típicas más usadas en la construcción de acero. Como parte del proceso educativo, las conexiones se han concebido para presentar varios conceptos o detalles, más que para presentar exhaustivamente un tipo de conexión. Por este mismo motivo, se han incorporado algunos detalles inapropiados o que pueden resolverse de manera más conveniente (contra-ejemplos). Como herramienta educativa, la escultura propicia la dinámica alumno-profesor para desarrollar la visión tridimensional de las estructuras, facilitar la comprensión de su ejecución y comportamiento. Se espera que el educando logre tener una mayor claridad para construir el modelo matemático de la estructura de acero así como su posterior representación y especificación en los planos de fabricación y montaje. Desde el punto de vista del diseño y detallado, la escultura es una herramienta valiosa en la formación de los futuros proyectistas de acero. También se deja a la creatividad del docente la explicación de los requisitos sismorresistentes de las conexiones según el Nivel de Diseño exigido por las normas COVENIN 1618:1998 *Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites* y 1756-2001. *Estructuras Sismorresistentes* [Arnal, 2001].

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

La escultura fue fabricada según las Normas COVENIN 1618-98, AISC- LRFD 1999, ASTM A307 y AWS D1.1-1999.

Materiales: Perfiles HEA, IPE, UPE, L y planchas en calidad ASTM A36. Barra lisa como tensor, de calidad SAE 1010.

Pernos estructurales ASTM A307 de 1/2 pulg. con apriete de tuerca 1/3 de vuelta. Soldaduras de 4mm de espesor con electrodos E70XX

Tratamiento superficial según SSSP SP6 más una 1 capa de fondo anticorrosivo. Pintura de acabado de color por el Laboratorio de la UCAB.

Peso total estimado: 719 kgf.

Fundación: Losa concreto reforzado de 25 cm de espesor, de 1.10 m x 1.10 m; con doble capa de barras de acero No. 4 cada 15 cm.

Pernos de anclajes: Cesta formada por 4 pernos A307 de diámetro 5/8 de pulg.

DESCRIPCIÓN DE LAS CONEXIONES Y SUS APLICACIONES

Como se observa en las isometrías y plantas anexas, la columna está constituida por los segmentos C1 y C2, a las cuales se fijan las vigas principales, designadas por la letra B y el correlativo según el sentido horario comenzando por la cara Oeste. La viga de celosía y el tensor se han designado con la letra T. Las vigas secundarias se designan con la letra B y el número correlativo de la viga a la cual se vinculan; conservando el sentido horario, el sufijo A o B indicará de que lado con respecto a la viga principal se encuentra.

Como se indica en la Tabla No. 1, en cada una de las caras de la columna se identifican los elementos (planchas, angulares, etc) que viene ya soldados en taller, y sobre los cuales se empernan o sueldan los miembros que se conectarán en la obra.

A continuación se describen cada una de las conexiones. Se indica la correspondencia con la clasificación de la Norma COVENIN 1618-98 en su Artículo 3.4: Tipo TR, conexiones totalmente restringidas; Tipo PR, conexiones parcialmente restringidas.

El docente tiene la oportunidad de discutir e ilustrar los medios de unión (soldadura y pernos). En la cabeza de los pernos se aprecian las marcas que facilitan su apriete. En esta escultura no hubo necesidad de disponer los pernos alternados para facilitar el uso de la llave de impacto, pero el docente advertirá de este cuidado a sus alumnos.

Viga B-1

Conexión TR Viga – columna

Se muestra una conexión Totalmente Restringida, TR, diseñada después de las enseñanzas dejadas por los terremotos de Northridge y Kobe. La plancha del alma soldada en taller al ala de la columna se emperna al alma de la viga debido a que existe espacio suficiente para apretar los pernos.

Viga B-1A

Conexión viga – viga PR.

La viga B1-1 A está entre las alas de la viga B1, y no es necesario recortar sus alas para ejecutar la

conexión. Los pernos de la conexión están diseñados para la condición de corte simple.

Viga B1- B

Conexión PR viga B1-B al mismo nivel que la viga B1, por eso se recorta el ala superior. La conexión al alma de la viga B1 con dos ángulos empernados, mientras que al alma de la B1-B, están soldados.

Viga B-2

Conexión TR viga – columna empernada en obra

Se ilustra una conexión totalmente restringida ejecutada en obra. Las planchas entre las alas de las columnas, se sueldan en taller, y actúan como rigidizadores del alma de la columna y transmiten las fuerzas de las alas de la viga a la columna. Los pernos deben diseñarse para resistir todo el corte. En este ejemplo en particular, se observa la presencia de una plancha de relleno sobre el ala superior de la viga B2.

La plancha soldada al alma de la columna y empernada al alma de la viga, en cuanto al espacio requerido para apretar los pernos, en estos casos es preferible colocar los pernos lo más exteriormente posible a las alas de la columna.

Viga B2-A

Conexión PR viga – viga mediante plancha extrema

Se ilustra una conexión parcialmente restringida con plancha extrema de corte, solución muy usual en perfiles IPN y similares, de ala estrecha. La plancha soldada en taller es solo está unida al alma del perfil. El taller debe asegurar la perpendicularidad entre la plancha y el alma a la cual se suelda.

La conexión de la viga B2A al alma de la viga B2 mediante plancha extrema soldada al alma de la viga B2A. La plancha extrema está empernada a ambos lados del alma de la viga B2, pernos en corte simple. El ala inferior al mismo nivel del ala de la viga B2 y por eso está recortada en el ala inferior.

Viga B-2B

Conexión de la viga B2-B a la viga B2, a la inferior está recortada. Unión al alma de la viga B2 por plancha con pernos, en corte simple. La conexión del alma de la viga a la columna mediante una plancha es una de las conexiones Parcialmente Restringida, PR, más ampliamente difundida en los Estados Unidos por ser su facilidad de instalación, pero tiene la desventaja

TABLA No 1. COMPONENTES DE LA ESCULTURA DIDÁCTICA

MIEMBRO	PERFIL	UBICACIÓN		DESCRIPCIÓN DE LA CONEXIÓN
C - 1	HEA 320	Columna 1er. nivel		Diferenciar las piezas colocadas en taller de las montadas en obras.
C - 2	HEA 300	Columna 2do. nivel		
B - 1	IPE 300	C-1	Cara W	Viga - ala de columna; TR
B - 1 A	IPE 200			Viga - viga ; centrada; PR
B - 1B	IPE 300			Viga- viga; igual altura ; PR
B - 2	IPE 300		Cara N	Viga - alma de columna; empemada; TR
B - 2 A	IPE 200			Viga - viga; plancha extrema de corte; PR
B - 2B	IPE 200			Viga - viga; alas inferiores al mismo nivel.; PR
B3	IPE 300		Cara E	Viga - ala de columna; plancha extrema de momento; PR
B - 3A y B3-B	IPE 200			Viga- Viga; ala superior al mismo nivel; PR
B - 4	IPE 300		Cara S	Viga - alma de columna; soldada;TR
B - 4 A y B	UPN 180			Vigas C - viga I;PR
B - 5	IPE 200	C-2	Cara W	Viga - columna; conex. de asiento no rigidizado; PR
B - 5A	UPN 120			Viga - Viga; esviada; PR
B - 6	IPE 300		Cara N	Viga - alma de columna; conex. de asiento no rigidizado; PR
B - 6 A	IPE 200			Viga- viga; centrada;PR
T - 6	Barra diám. 5/8 pulg.			Tensor
T - 7	Celosía		Cara E	Cercha con pares de perfiles L dispuestos en TL
B - 8	IPE 300		Cara S	Viga- alma de columna; PR
B - 8 A	IPE 200			Viga -viga; centrada; PR
B - 9	Z 160 x 7		En el tope	Fijación de correa; PR
Empalmes	Viga B-3	C-1	Alas y alma	Empalme empernado; TR
	Columna	C1 - C2	Alma.	Empalme empernado;TR
			Cara W Alas, Caras E y N- S	Empalme soldado; TR
Plancha Base	Columna C-1	C1	Cara E Cara W	Planchas rigidizadoras; TR Rigidizador triangular; TR

de que los pernos trabajan a corte simple, por lo que se limita su uso a condiciones de cargas livianas.

VIGA B-3

Conexión de la viga al ala de la columna mediante plancha extrema. Ver detalles en Figura N° 7.

Esta conexión Parcialmente Restringida (PR) se realiza mediante empernado en obra una plancha soldada en taller al extremo de la viga. Los pernos alrededor de las alas de la viga transmiten las fuerzas a la columna. En vigas muy altas, se necesita un número mayor de pernos. Para garantizar total contacto entre la plancha extrema y el ala de la columna, se pueden colocar pernos próximos al eje neutro de la viga.

Empalme de la Viga B-3

Conexión Totalmente Restringida. Las planchas y pernos en el empalme deben transferir todas las fuerzas de un ala a la otra. La plancha y pernos del alma colaboran en la resistencia a momento, pero su función principal es la transferencia de corte a través del empalme. En este ejemplo se han utilizado planchas sobre las caras externas de las alas, pero en algunos casos se requiere de planchas en las caras internas de las alas.

Viga B3-A

Conexión viga – viga Parcialmente Restringida

Se ilustra una conexión con dos angulares a ambos lados del alma. Conexión de sendas vigas a nivel del ala superior de la viga B3, por lo tanto sus respectivas alas superiores están destajadas. Los angulares están soldados al alma de las vigas B3A y empernados al alma de la viga B3, por lo tanto los pernos trabajan en corte doble.

Viga B-4

Conexión TR al alma de la columna

Las planchas entre las de la columna son soldadas en taller, de manera que la viga se desliza entre ellas y posteriormente se suelda. Para facilitar el montaje pueden separarse las planchas convenientemente y luego colocar planchas de relleno, tal como se ilustró en la viga B-2. Véase también las notas de B-2 en lo referente a la conexión al alma de la viga.

En el ala superior de la viga B4 y en el ala inferior de la viga B8 se observan 4 agujeros dispuestos para colocar la plancha que conecta a otro miembro. Por

lo tanto a ambos lados del alma de las vigas se deben colocar rigidizadores. En este caso se ilustra en la viga B-4, colocando en la cara Este del alma un rigidizador de apoyo (solo por fines académicos) y en la cara Oeste un rigidizador intermedio (condición real).

Viga B4-A y B4- B

Conexión PR viga – viga.

Se ilustran conexiones típicas de los perfiles canal laminados. Se trata de la conexión de perfiles UPN a nivel del ala superior de la viga B-4, en sus variantes soldado y empernado. El ala superior de los perfiles canal está destajada, y la unión al alma de la viga B-4 es mediante un perfil angular.

Viga B-5

Conexión viga – columna PR mediante angulares de asiento.

Las conexiones de asiento utilizan pocos pernos de montaje y tienen la ventaja de ofrecer un apoyo a la viga durante su montaje. El angular debe fijarse previamente a la columna. En este ejemplo se fija mediante pernos pero puede ser fácilmente soldado en taller. Todo el corte es resistido por el angular de asiento, por eso es el más pesado, mientras que el angular del ala superior solo suministra estabilidad torsional. Los angulares de asiento se unen a las alas de las columnas como también a las almas de las columnas o vigas, Cuando las fuerzas cortantes son significativas, debe colocarse un rigidizador debajo del angular de asiento.

Viga B5-A

Conexión viga – viga no ortogonal.

Se ilustra la manera de realizar una conexión entre miembros no ortogonales. En este ejemplo, se ha soldado una plancha doblada al alma del perfil UPN 120 cuya conexión a las vigas B5 y B8 se realiza mediante pernos.

Viga B-6

Conexión PR de asiento viga – columna

Se muestra la conexión de asiento de una viga al alma de una columna. El angular de asiento unido al alma de la columna ha sido soldado en taller, de manera que la conexión a la viga se emperna en la obra. La plancha soldada a la columna y empernada en el alma de la viga es para la estabilidad de la

viga, porque todo el cortante está siendo resistido por el angular de asiento.

Vigas B6-A y B-8A

Conexión PR Viga – Viga

Conexión totalmente soldada. viga a viga mediante perfiles L El par de ángulos del alma de la viga se sueldan en taller, y posteriormente a la columna en la obra. Si bien es una conexión sumamente versátil, puede requerirse de un par de pernos de montaje o un angular de asiento provisional durante su montaje

T-6

Tensor sobre la viga B-6. Para ilustrar como se detalla.

T-7

Viga de celosía

La celosía conformada por perfiles L y sus respectivas cartelas se fabrican en taller, de manera que se empernan a las planchas, también soldadas en taller a la columna. Todos los miembros de las celosías son pares de perfiles L espalda a espalda, es decir, TL.

Viga B- 8

Conexión PR viga al alma de la columna.

Solución soldada de una conexión parcialmente restringida. La viga está conectada al alma de la columna mediante dos angulares soldados también a su alma.

Viga B-9

Conexión de una correa constituida por un perfil Z formado en frío.

C1 – PLACA BASE

Conexión TR (Cara Oeste)

En una conexión totalmente restringida en la base de una columna, es esencial que los pernos de anclaje impidan el movimiento de las alas. Cuando la soldadura no es suficiente para transmitir a la plancha base lasa fuerzas sobre las alas, se recurre a planchas o perfiles soldados a las alas y al alargamiento de los pernos de anclaje. Se incrementa la soldadura y se logra rigidizar la plancha base. La columna se nivela mediante tuercas de debajo de la plancha base, y

posteriormente se coloca un cemento expansivo (“grout”).

Conexión TR (Cara Este)

Se ha añadido un rigidizador triangular para reducir la flexión en la placa base además de incrementar la longitud del filete de soldadura requerido por corte. No debe intersectarse los cordones de soldadura

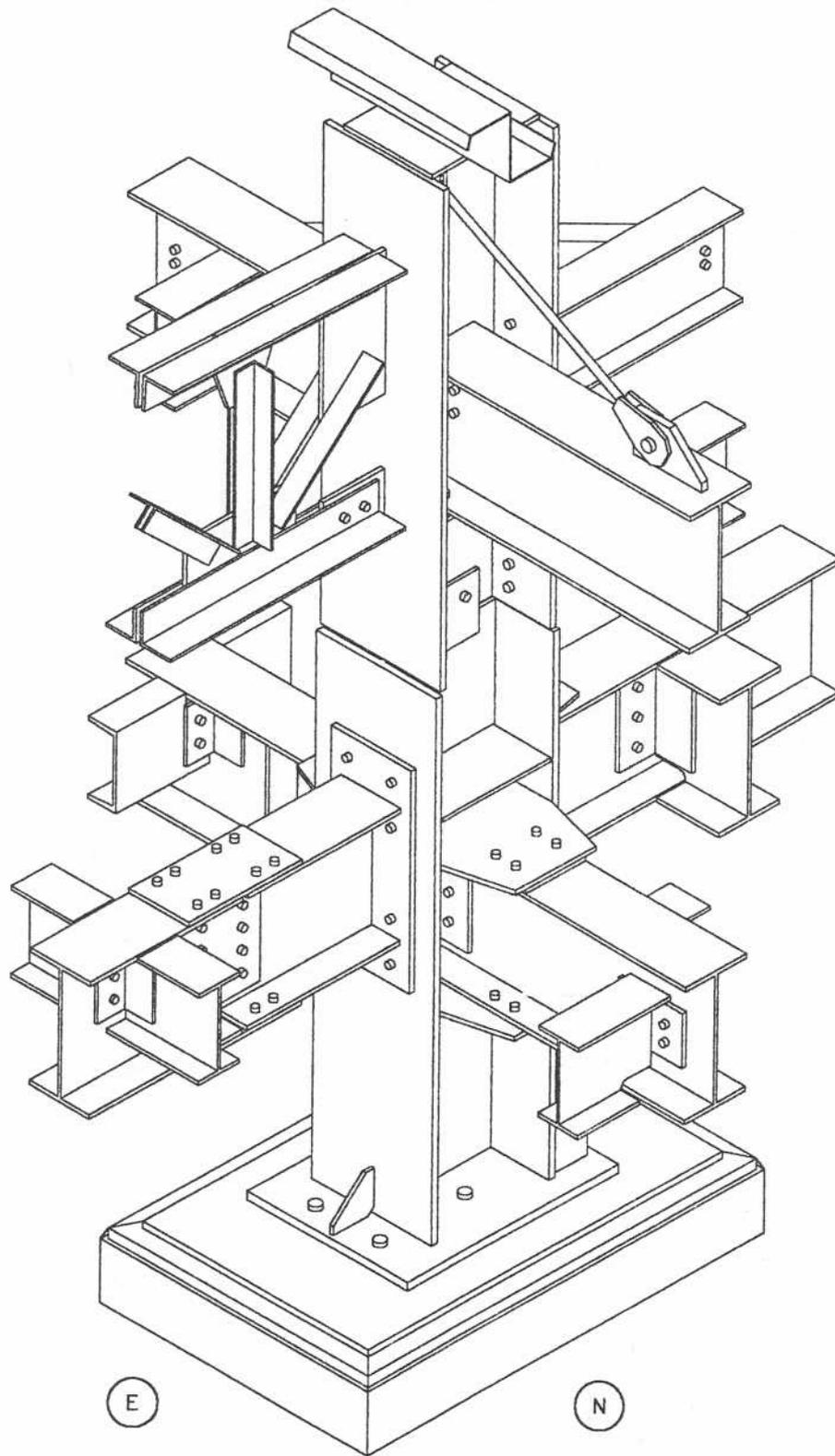
EMPALMES DE COLUMNA

Empalme empernados (cara Oeste)

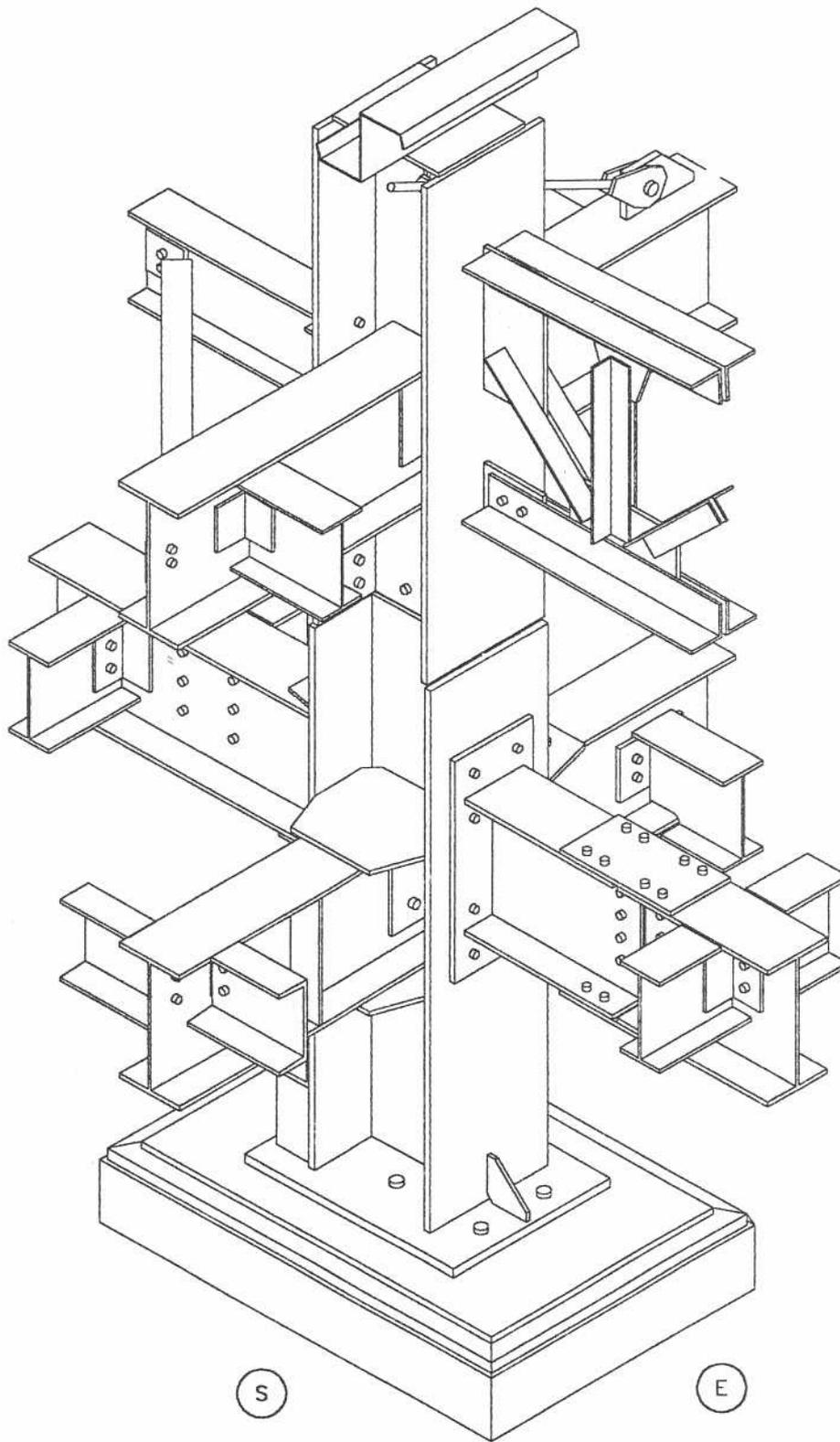
Las planchas se sueldan en taller en ambas alas de la columna inferior, para realizar en obra el empalme empernado sobre la columna superior. Cuando las columnas son de diferentes dimensiones deben utilizarse planchas de ajuste o de relleno como se observa en este ejemplo.

Empalmes soldados (Caras Este y N-S)

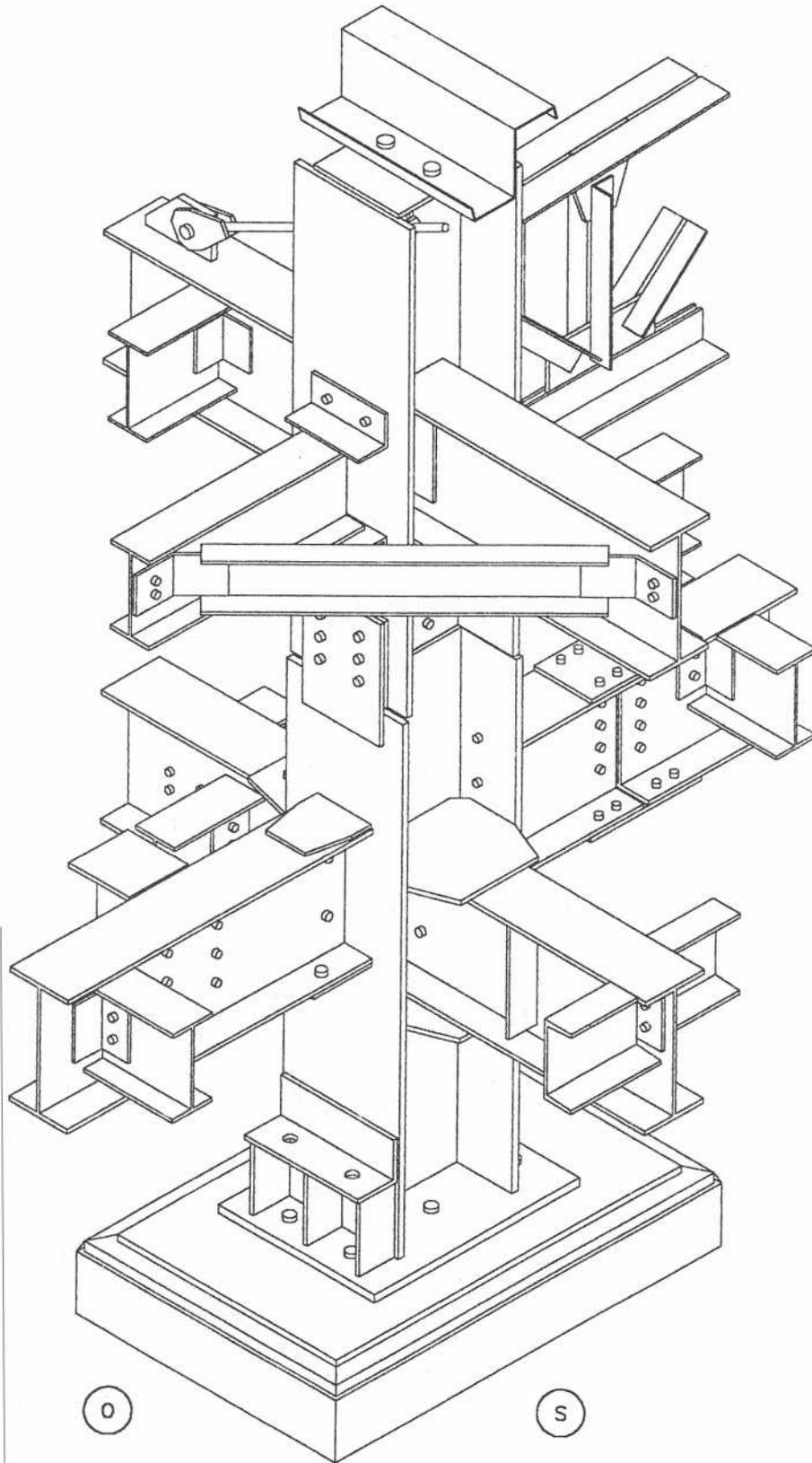
Cuando el empalme se ejecuta por soldadura en la obra, la columna inferior trae soldada a de taller una plancha en el alma que facilite el montaje y alineamiento de la columna superior; por esto la plancha soldada viene con los agujeros necesarios para alojar a los pernos de montaje



ISOMETRÍA NE



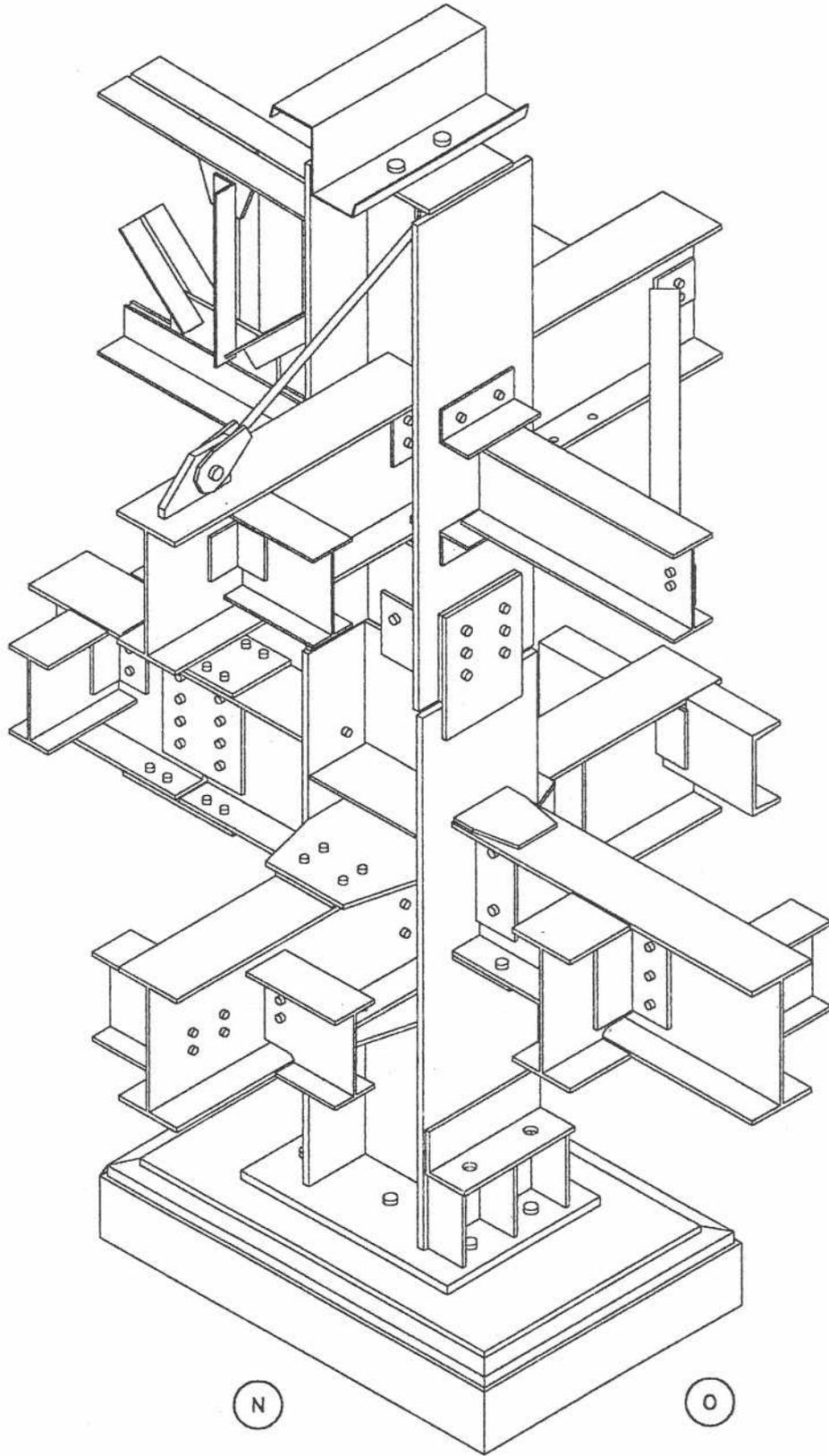
ISOMETRÍA SE



0

S

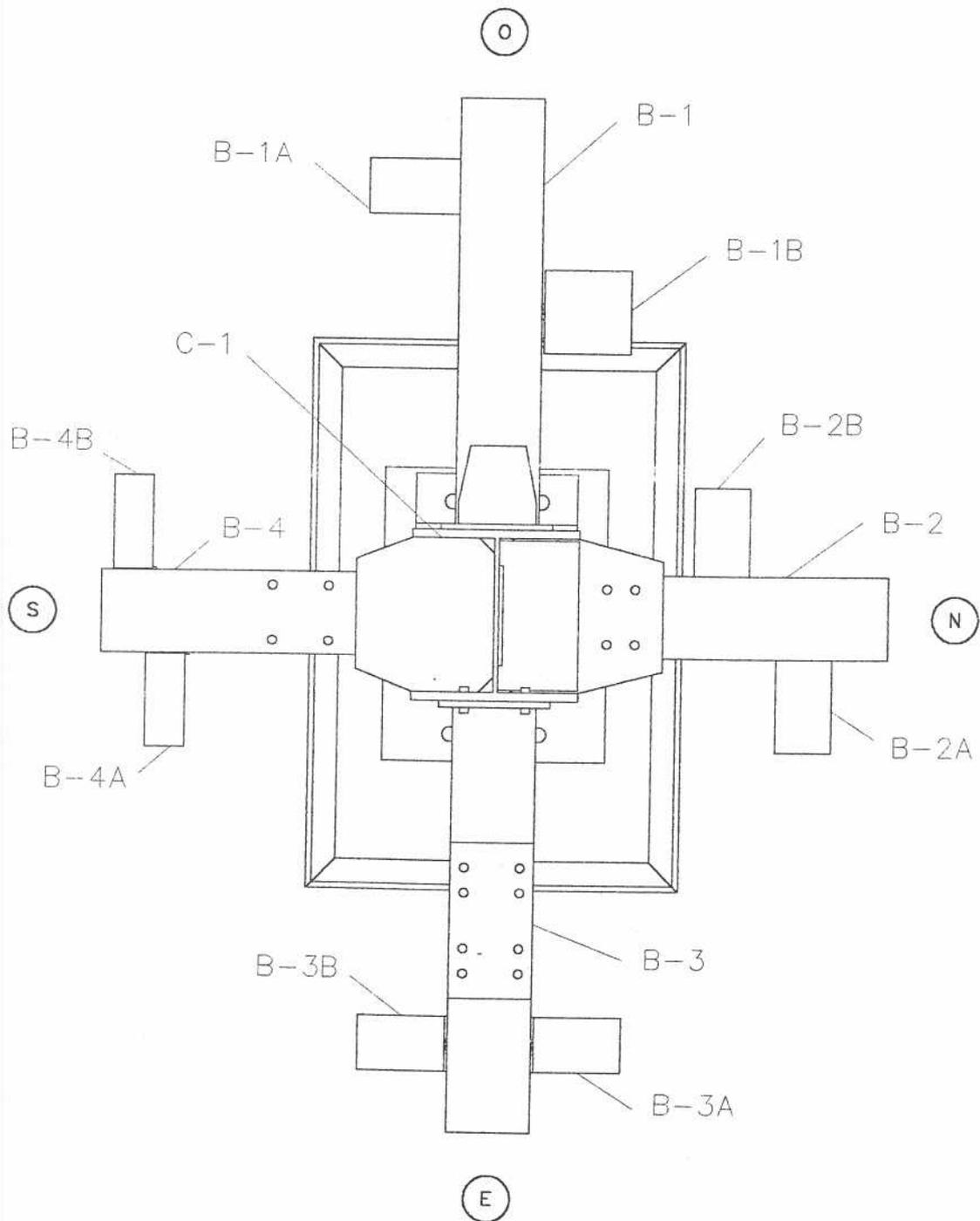
ISOMETRÍA SW



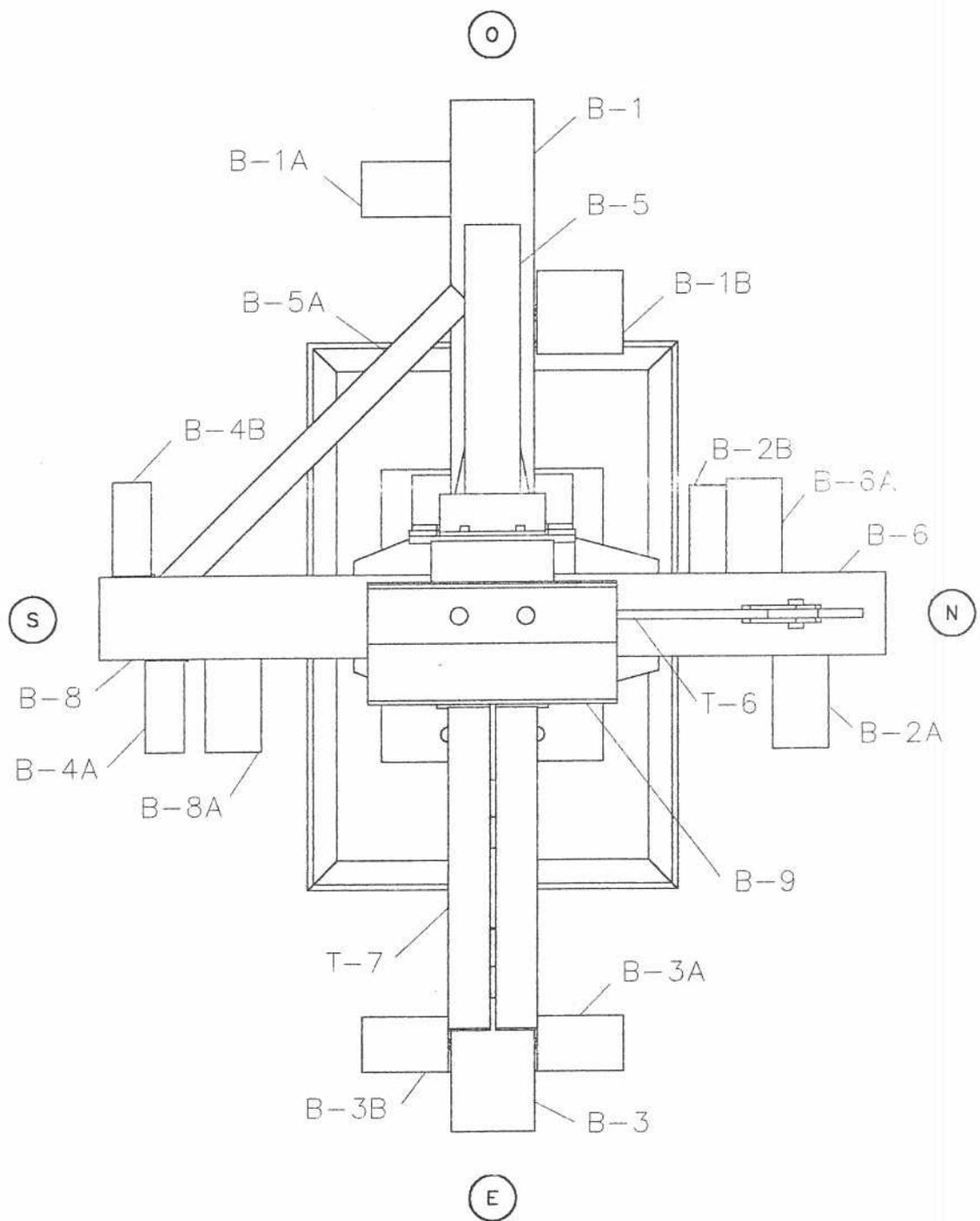
N

O

ISOMETRÍA NW

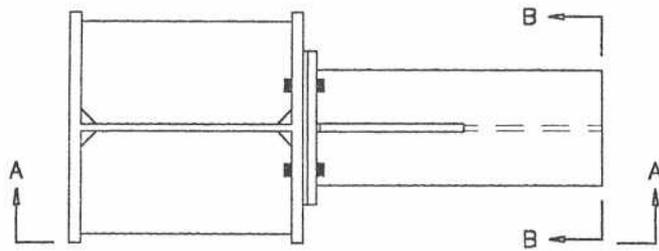


PLANTA Nivel 1200 mm

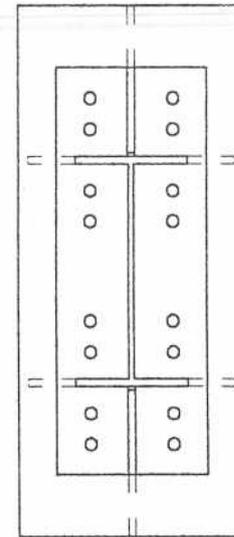


PLANTA Nivel 2480 mm

PLANTA

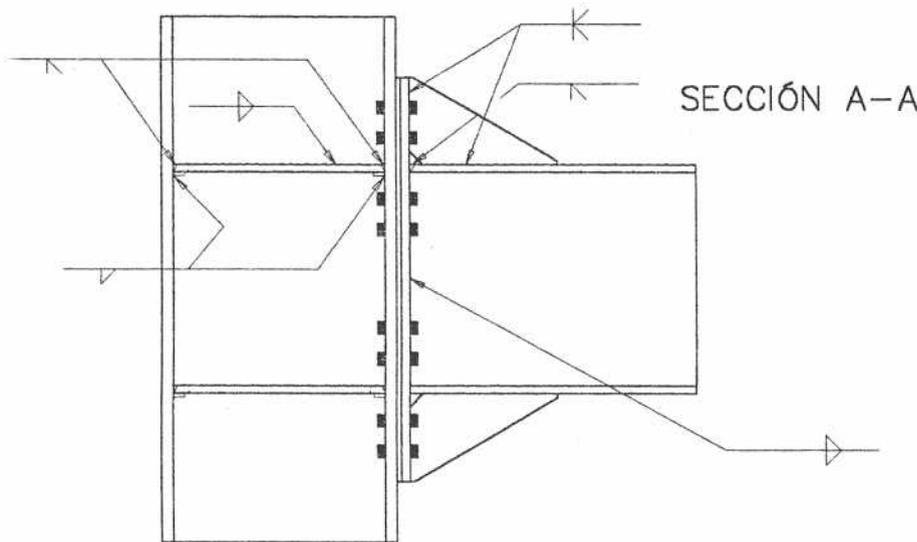


ELEVACIÓN

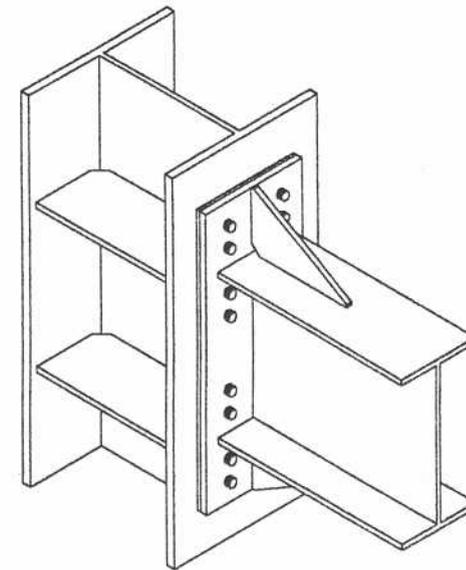


SECCIÓN B-B

ELEVACIÓN



SECCIÓN A-A



CONEXIÓN

PLANCHA EXTREMA EMPERNADA RIGIDIZADA

AGRADECIMIENTOS

A SIDETUR: Gerencia de Mercadeo y Ventas - Antímamo, Comisión Técnica Asesora, Arq. Ricardo Fernández.

A PLUSMETAL: Sr. Manuel Pires, Ing. Félix Achabal

A LA UCAB: Profesores María Barreiro, Francisco Morera y su equipo de Laboratorios. A la Ing. Paulina Faundes Pool, cuyas figuras ilustran el presente trabajo.

GLOSARIO

Se recomienda a los interesados revisar en el Apéndice G de la Norma COVENIN 1618 *Estructuras de Acero. Métodos de los Estados Límites*, los siguientes términos:

Empalmes, planchas de relleno, planchas de continuidad, cortes en las vigas, agujeros de ranura corta, larga, agrandados, de tamaño estándar, cartela o plancha de nodo, conexión de aplastamiento, de deslizamiento crítico; planchas o pletinas de ajuste (*shims*), plancha de cubierta (*cover plate*), plancha de respaldo (*backing plate*), plancha extrema (*end plate*), zona del panel (*panel zone*), junta (*joint*) soldadas o empernadas, Conexión (*connection*), nodo (*node, connection assembly*), plancha de relleno (*filler*), plancha de continuidad (*continuity plate*)

REFERENCIAS

Arnal, Eduardo, 2001. *Aplicación de la Norma COVENIN 1756-98 a las Edificaciones Sismo-resistentes Usuales*. Fondo Editorial SIDETUR. Caracas, Agosto, 103 págs.

Ellifritt, Duane S., 1987. *A steel sculpture that teaches*. **Modern Steel Construction**, No.1 January, págs 29-30. AISC, Chicago.

Faundes Pool, Paulina, 2002. *Diseño y Detallado de Conexiones para Edificaciones de Acero Estructural*. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad Católica "Andrés Bello", Caracas, Enero. 75 págs y Anexo.

Gutiérrez, Arnaldo, 2000. *Diseño sismorresistente de estructuras de acero. Diseño de miembros y conexiones según la norma COVENIN 1618-98*. Seminario Técnico para el Proyecto de Estudios de Acero. SIDETUR, Caracas, Noviembre, 59 págs.

UCAB, 2002. *El arte como herramienta didáctica*. Nota de prensa en **El Ucabista**, Año. No. 7 No.52, pág.11. Universidad Católica "Andrés Bello". Caracas, Enero.

University of Florida, 1997. *Connecting Steel Members. A Teaching Guide*. AISC Publication T460. AISC, Chicago, 47 págs.



LO QUE NO VIÓ STILLMAN DRAKE EN GALILEO. PARTE 2

Introducción

Esta segunda entrega del tema relacionado con la obra póstuma de Galileo Galilei, publicada en Leyden (Holanda) en el año 1638, titulada *Diálogo sobre dos Nuevas Ciencias* originalmente escrita en idioma italiano de la época, relatan algunos estudios recientes sobre los teoremas que aparecieron en esta obra, en los diálogos de tres interlocutores Sagredo, Salviati y Simplicio, que representaban las tendencias científicas de la región, pero traducida al Francés por miedo a las consecuencias de alguna disgresión religiosa que se le había aplicado a Galileo.

Esta obra, contiene cuatro “días” de diálogos entre los tres personajes señalados y recoge explicaciones acerca de “el movimiento de los proyectiles” y buena parte del material que le había indicado en carta a su amigo Arrighetti en 1633, acerca de la resistencia de los sólidos que yo he llamado: los inicios de la “teoría de la resistencia de los materiales”.

Parece ser que la obra también contenía un quinto día de diálogos entre los tres interlocutores con enunciados referidos a la “fuerza de percusión y el uso de la catenaria”. Sin embargo, en la medida que el libro salía de la imprenta de los Elzevir, se vieron ansiosos a publicarlo, sin la inclusión de ese material, bajo el nombre de “*Diiscorsi e Dimostrazioni Matematiche, Intorno a Due Nuove Scienze*”.

En esta ocasión, vamos a procurar indagar sobre los métodos, unidades y equipos utilizados para determinar los tiempos utilizados por la caída libre de

■ Ing. Joseba A. Lascurain

Ingeniero Civil, Industrial (UCAB) Master of Science (Harvard)
Profesor Titular (UCAB)

los cuerpos y, en particular, de los cuerpos esféricos deslizándose en planos inclinados.

La medida del tiempo según Galileo

Me aprestaba a terminar las pruebas acerca de las características más relevantes de las falacias en la "teoría de la resistencia de los materiales" de Galileo, cuando comencé a preguntarme cuan precisas habían sido las observaciones de Galileo en sus dos siguientes jornadas (tercero y cuarto día) donde formula las leyes de la caída libre de los cuerpos y del movimiento de lanzamiento.

Los cuerpos que sensorialmente percibimos nos dan información acerca de la existencia de la materia. Su ubicación en distintos lugares produce la sensación del espacio, y si se lleva un registro de las sucesivas posiciones de unos cuerpos en relación a otros, engendran el sentido del tiempo. La Geometría, que dominaba con alta capacidad de discernimiento Galileo, era la más elemental de estas ciencias ya que estudiaba las relaciones referentes al espacio. Galileo cambia, después de 2000 años, las ideas que tenían los antiguos sobre el movimiento de los graves, y funda la Cinemática que trata del movimiento puro, uniendo espacio y tiempo, sin penetrar en la naturaleza de la materia.

Con este aporte a la ciencia, Galileo recibió los mayores elogios de innumerables prohombres que ha tenido la humanidad hasta nuestros días.

En relación al problema del tiempo, Galileo dedicó toda una vida al problema de su determinación y medición con algún instrumento o método, capaces de producir resultados satisfactorios de precisión y de fácil comprobación. Así por ejemplo:

1) En la pintura de Luigi Sabatellio, en el Museo de Física e Storia Naturale, Florencia, se representa al joven Galileo cuando a la edad de 19 años, siendo estudiante de Medicina en la Universidad de Pisa, en el año 1583, contempla una lámpara oscilando en la catedral de esa ciudad y observa su sincronismo, tomando como referencia del tiempo el pulso de su corazón. Este recuerdo perduró hasta casi los últimos años de su vida y en 1641 (77 años) concibe la utilización del reloj de péndulo. Aunque siempre intentó utilizar esta importante observación en la hechura de un reloj (horologio) que funcionara con un péndulo, nunca pudo construirlo. Sin embargo, su hijo Vincenzio, construyó un modelo siguiendo los dibujos de su padre, que luego la ciudad de Florencia instaló en una torre.

Christian Huygens, el gran horologista, construyó en 1656 el primer reloj regulado por un péndulo y publicó, dos años después, un tratado (Horologium) con todos los detalles del mismo, declarando que su reloj era un instrumento ajustado a requerimientos para establecer la longitud cartográfica de la tierra y poder determinar la posición de los barcos en viajes oceánicos. En el año de 1675 patentó Huygens un mecanismo a base de un resorte en espiral, como alternativa al reloj con péndulo que en travesías marinas se descomponía por el oleaje y las tormentas, y así poder ajustar el movimiento de ruedas mecánicas a la determinación del tiempo.

2) Galileo no era marinero, pero sabía bien la importancia que tenía el posicionar las naves en sus rumbos y en sus coordenadas cartográficas de latitud y longitud. Observando las lunas de Júpiter, calculó los períodos orbitales de estos satélites en su vueltas de aparición y desaparición de cada satélite alrededor del planeta gigante en un período de varios meses, creando tablas de movimientos astronómicos, conocidas como efemérides. Aunque presentó su método a los gobiernos Toscano, Holandés y Español, no mereció aceptación para la navegación oceánica, pero en el año 1650, ya muerto Galileo, se utilizó para posicionar lugares en tierra.

3) Galileo trató en vano de medir el tiempo utilizado por las señales de luz viajando desde una linterna colocada en el tope de una colina, a un observador situado en el tope de otra. (La antigua carretera Romana que se dirige a la Germania presenta a lo largo de su trayecto numerosas colinas que, en su época usaban los guardias de caminos del imperio para comunicar eventos mediante señales de luz). El nunca detectó diferencia alguna en la velocidad de la luz, a pesar de aumentar la distancia entre los observadores en el tope de las colinas.

El astrónomo danés Ole Roemer utilizó las diferencias de tiempo en la predicción de los eclipses de los satélites de Júpiter vistos desde la tierra, cuando ésta se acercaba o alejaba en su rotación de Júpiter. Concluyendo, correctamente, que dichas diferencias se debían a la velocidad de la luz y al tiempo transcurrido para que la luz de los satélites atravesaran el espacio hasta llegar a la tierra. Esta velocidad la fijó en el año 1676 con un valor un poco por debajo de los 300.000 km/seg que se acepta en nuestros días!!!

4) Galileo publicó en el año 1586 (a los 22 años) una obrita titulada (La Bilancetta) donde describe la balanza hidráulica utilizada para determinar el peso

específico de los materiales. Como referencia importante a este trabajo, hay que recordar que Arquímedes dejó asentado por más de 2000 años el principio del equilibrio de las balanza con brazos iguales y que fue Galileo quien en su libro (día) segundo del *Diálogo...*, extendió el equilibrio a partir de un punto de apoyo (fulcrum) a brazos de longitud diferente. Pero lo importante es que la lectura nos dice que Galileo utilizó una balanza de alta precisión para determinar el peso del agua que le dio la medida del tiempo de la caída acelerada de una bola de bronce, en planos inclinados, que es el objeto del presente análisis.

Ahora bien, a propósito de Kepler, Dice Carl G. Hempel (*Filosofía de la Ciencia Natural*, 1966)

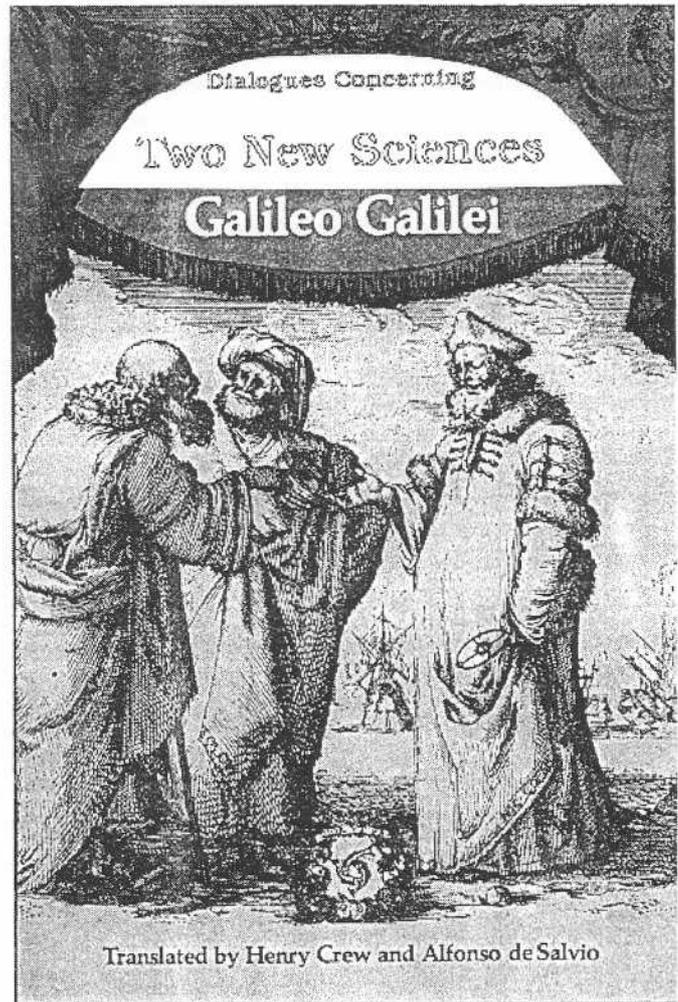
<< Las investigaciones de Kepler acerca del movimiento de los planetas estaban inspiradas por el interés de aquél en una doctrina mística acerca de los números y por su pasión por demostrar la música de las esferas. Sin embargo, la objetividad científica queda salvaguardada por el principio de que, en la ciencia, si bien las hipótesis y teorías pueden ser libremente inventadas y propuestas sólo pueden ser aceptadas e incorporadas al *corpus* del conocimiento científico si resisten la revisión crítica, que comprende, en particular, la comprobación, mediante cuidadosa observación y experimentación, de las apropiadas implicaciones contrastadoras >>

Aplicando esta reflexión al caso estudiado: ¿Qué nos dice Galileo acerca de la forma de medir el tiempo y el espacio en la obra analizada?

Yo trataba de encontrar, en los cuatro libros del *Dialogos...* (que en la versión de Dover Publications Inc, 1954 titulada: *Two New Sciences*, by Galileo, contiene 300 páginas), cualquier información que pudiera dar razón de cómo Galileo medía el tiempo y las distancias, en todos los experimentos que reseñó. En muy apartado lugar de su tercer libro, dedicado a la caída libre y en planos inclinados, pp.178 y 179, líneas 30 a 67, se lee lo siguiente:

Dice Salviati (Galileo):

<<Una pieza de moldeo o puntal de madera, cerca de 12 **cubits** de largo, medio **cubit** de ancho, y tres gruesos de dedos de espesor se tomó, en su borde se cortó un canal un poco mayor de un dedo de ancho; habiendo hecho esta cavidad muy recta, lisa y pulida y habiéndola revestido con un pergamino, también tan suave y pulido como fue posible, hicimos rodar en él una bola de bronce lisa, y muy redonda. Habiendo colocado esta tabla en posición inclinada, levantando un extremo entre uno o dos **cubits** sobre el otro,



Portada del libro "Two New Sciences. Galileo Galilei"
Cortesía de Dover Publications, Inc., New York

hicimos rodar la bola, como les iba diciendo, a lo largo del canal, notando, en la forma que vamos a describir actualmente, el tiempo requerido para hacer el descenso. Repetimos este experimento más de una vez para medir el tiempo con tal precisión que la desviación entre dos observaciones nunca sobrepasaron **un décimo de una pulsación**. Habiendo realizado esta operación y habiéndonos asegurado de su confiabilidad, ahora rodamos la bola solo un cuarto de la longitud del canal; y habiendo medido el tiempo de este descenso, encontramos precisamente un medio del anterior. Luego probamos otras distancias, comparando el tiempo para toda la longitud con el de la mitad, o el de dos tercios, o tres cuartos, o verdaderamente para cualquier fracción; en tales experimentos, repetidos un completo centenar de veces, siempre encontramos que los espacios atravesados fueron a cada quien como el cuadrado de los tiempos, y esto era verdadero para todas las

inclinaciones del plano, p.e del canal, a lo largo del cual rodamos la bola. También observamos que los tiempos de descenso, para varias inclinaciones del plano, se relacionaban el uno con el otro precisamente en esa razón que, como veremos luego, el autor había predicho y demostrado.

Para medir el tiempo, empleamos un recipiente grande de agua colocado en una posición elevada, al fondo de este recipiente se soldó una tubería de pequeño diámetro que daba un pequeño chorro de agua, que era recogida en un vaso de agua, durante el tiempo de cada descenso, ora por toda la longitud del canal o bien por una parte de su longitud; el agua recogida era **pesada en una balanza muy precisa; las diferencias y las proporciones de estos pesos nos dieron las diferencias y tasas de tiempo**, y esto con una precisión que aunque la operación fue repetida muchas, y muchas veces, no había discrepancia apreciable en los resultados.>>

Respuesta de Simplicio:

<< Me hubiera gustado haber estado presente en estos experimentos; pero sintiendo confianza en el cuidado con que los ejecutaste, y en la fidelidad que los narraste, yo estoy satisfecho y los acepto como **verdaderos y válidos**>>

¿Cuáles resultados? ¿De pesos o de tiempos? ¡¡No hay explicación del "mito" Galileo!!

¡¡Qué barbaridad!! ¡¡Buena manera de ser juez y parte!! ¡¡Así no puede perder!!!

Nota: Hay que recordar que Simplicio es un personaje ficticio y que por lo tanto, Galileo no presentó valores cuantitativos unequivocos que demostraran los valores encontrados, para precisar las relaciones de pesos versus tiempos; es decir que permitieran reproducir los resultados obtenidos en una relación doctrinal de causalidad (...) (según define M. Bunge).

¿Por qué haría esto si se hicieron multitud de puebas de pesos de agua como medida del tiempo? Sigue siendo un misterio de su personalidad (...).

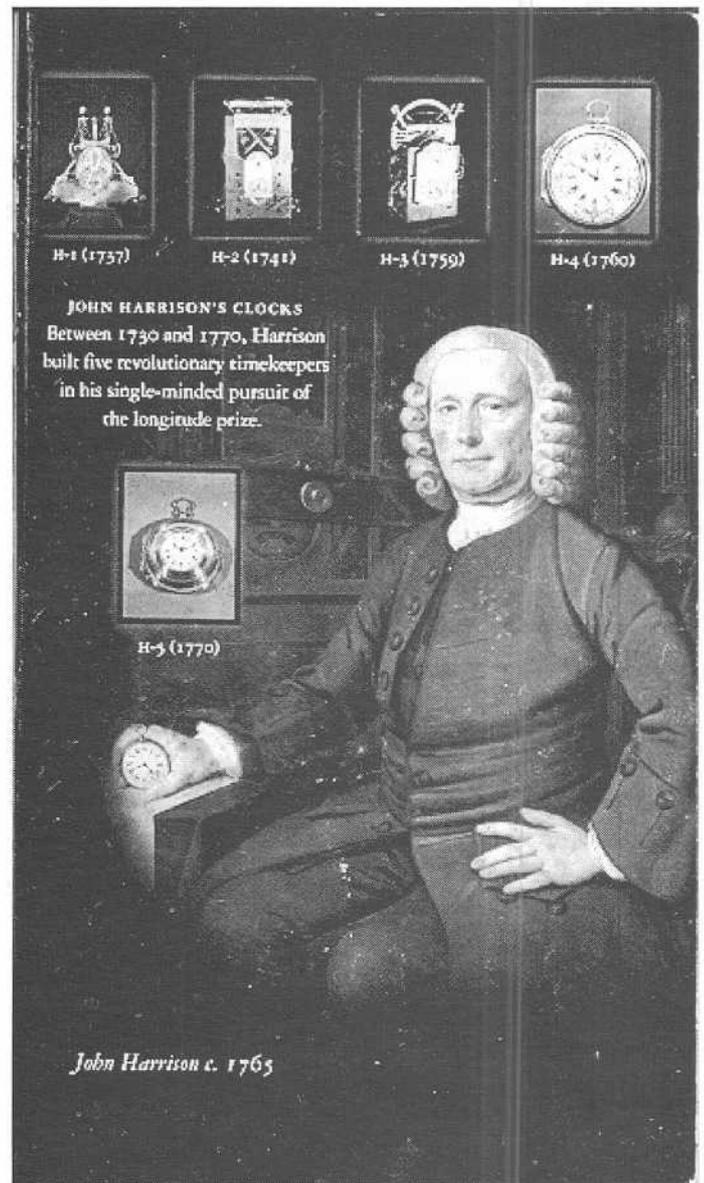
Más adelante vamos a intentar reproducir su "Reloj de Agua". Pero antes hace falta incluir en nuestra indagación dos puntos aclaratorios pertinentes.

Aclaración N.1) En la pp. 264 línea 12 opus cit. Galileo dice: <<Por lo que respecta al tiempo tenemos la ya ampliamente adoptadas horas, primeros minutos y segundos minutos>> siendo los segundos minutos los [*minuti secondi d'ora*].

Aclaratoria N.2) El canal se refiere a una pieza de madera, de 12 (braccia) de largo, medio (braccio) de ancho y tres dedos de espesor; con un corte

acanalado de un poco más de un dedo de ancho; siendo el canal muy recto, liso, y pulido, y revestido con un pergamino, también tan liso y pulido posible, al cual se le hacía rodar una muy redonda bola de bronce. Esta pieza se colocaba en forma inclinada, levantando un extremo uno o dos (braccio) para hacer rodar la bola (pp 179. Inicio, línea 01 opus cit.)

Como se observa, no hay medida (ni su equivalencia) del espacio (braccio) o codo; y aquí comienzan las investigaciones.



Contraportada del libro "Longitude" de Dava Sobel
Cortesía de Penguin Books USA Inc. New York
Illustrations of H-4 on title page spread used by permission of the
National Maritime Museum. London.
Harrison John 1693-1776

Según el Diccionario de la Lengua Castellana hay varias equivalencias de codo:

En España:

El codo del rey = 33 dedos = 0,574 metros
 El codo geométrico= media vara = 0,418 metros
 El codo mediano morisco = 0,6096 metros

En Italia:

En Bolonia = 0,640 metros
 Florencia = 0,584 metros
 Génova = 0,578 metros
 Milán = 0,595 metros
 Modena = 0,648 metros
 Parma = 0,542 metros
 En agrimensura = 0,644 metros
 Para compra/venta de telas en Reggio = 0,530 m
 Para compra/venta de lana en Venecia = 0,683 m
 Para compra/venta de seda en Venecia = 0,639 m

¿Cómo les parece? Al volver a leer por tercera vez la obra, encontré este importantísimo detalle:

<< Que no es posible, bien sea por una bomba o por otra máquina, trabajando en el principio de atracción, elevar agua ni un pelo por encima de 18 (braccia = cubits = codos); este es el extremo límite de la elevación sea una bomba grande o pequeña>>. (pp. 16 . Inicio de la línea 30 opus cit.).

¡¡Jerónimo!! La respuesta ahora si la tenemos: la capacidad de elevación de agua teórica de una bomba es de una atmósfera (a nivel del mar), es decir la *atmósfera standard a* (760 mm de mercurio a 32 ° F) es 10,33 metros. De donde se obtiene que un (1) braccio = cubit en inglés = codo de Galileo que es: 10,33 metros/18 codos= 0,574 metros = 33 dedos = al codo del rey de España!!

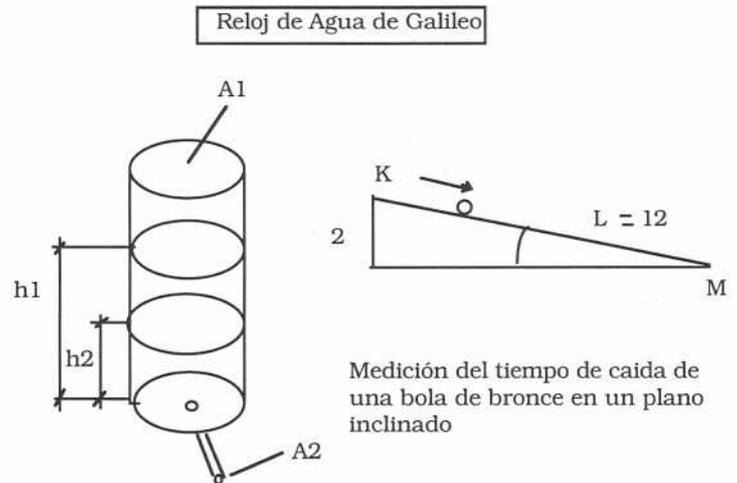
¿Qué pasa ahora con el reloj del tiempo, o bien: el Reloj de Agua de Galileo, arriba descrito por él mismo? Realmente es para morirse de rabia. Veamos porqué.

En la época en la cual Galileo escribe su libro no existían relojes mecánicos. El cronómetro marino que permitía a los navegantes de los océanos poder situarse en posición de las longitudes y meridianos de la tierra no había nacido aún. Este complejo de piezas mecánicas sincronizadas de muy alta precisión fue inventado por John Harrison y en varias etapas mejoradas, desde su primer modelo H-1 en 1737, pasando por H-2 en 1741, H-3 en 1759 y el H-4 en 1760. Los cronómetros de Harrison son unas piezas

inmortales ya que podían lograr una azaña impresionante: Para ganar el premio de £ 20.000 (varios millones de dólares actuales) dispuesto por la Reina Ana de Inglaterra el 8 de Julio de 1714, el reloj marino debía encontrar la longitud geográfica dentro de 1/2 grado de precisión (debido a que 1/2 grado es igual a 2 minutos de tiempo); es decir, que no podía ganar o perder más de 3 segundos por cada 24 horas del día, en razón de que un viaje de Inglaterra a el Caribe duraba 40 días que a 30 segundos de error producía una diferencia de 120 segundos = 2 minutos. En los ensayos realizados en su época a estos ingenios, ¡¡los cronómetros de Harrison no tenían errores superiores a un (1) segundo por mes!! En comparación los relojes más finos producidos en el resto del mundo, en ese tiempo, tenían desviaciones de hasta un (1) minuto por día!!

De haber tenido Galileo estos instrumentos de medición del tiempo, a la mano, sus investigaciones hubieran sobrepasado lo inimaginable en precisión y riqueza de datos.

El gráfico que sigue a continuación permite ejemplificar un modelo de Reloj de Agua que explica (con las herramientas modernas y las fórmulas hidráulicas del siglo XX) lo que Galileo hizo en sus experimentos.



La ecuación que sigue permite determinar el tiempo de descarga, en segundos, de un recipiente lleno de agua, al cual se le ha soldado un tubo de salida, de acuerdo a la siguiente fórmula que representa los datos indicados en la figura superior:

$$t \text{ (segundos)} = \frac{2 \cdot A_1 \cdot (h_1 - h_2)}{C \cdot A_2 \cdot ((2gh_1)^{0,5} + (2gh_2)^{0,5})} \quad (1)$$

Nota: 1 Grado de longitud geográfica se expande a 60 millas náuticas

En esta ecuación se identifica:

- A_1 = Area de la sección recta del recipiente Galileano (centímetros cuadrados)
 A_2 = Area de la sección recta del tubo de pequeño diámetro (centímetros cuadrados)
 C = Coeficiente de descarga del agua en el orificio de la tubería (adimensional)
 g = Aceleración de la gravedad (centímetros/s²)
 h_1, h_2 = Altura del agua en el recipiente, para distintas posiciones de la bola de bronce en su desplazamiento.

Las variables que intervienen en la determinación de la aceleración de la gravedad en el lugar donde se hicieron los experimentos (en la ciudad de Pisa) son las siguientes:

$$g(\text{m/seg}^2) = 9,80616 * (1 - 0,00259 * \cos 2\varphi - 2 * 10^{-7} * \text{Alt}) = 9,80502$$

En donde:

- φ = latitud geográfica de la ciudad de Pisa = 43,717 grados norte
 Alt = altitud sobre el nivel del mar de Pisa = aprox. 50 metros

Lo que Salviati (o sea Galileo) señala en sus experimentos se resume en estas simplificaciones algebraicas:

Si llamamos $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, \dots, t_n$, a los tiempos transcurridos para que la bola de bronce se desplace a lo largo del canal en las posiciones indicadas medidas desde el punto K, $e_1 = 1/4L, e_2 = 1/2L, e_3 = 2/3L, e_4 = 3/4L, e_5 = 7/8L$ y cualquier fracción de la longitud L del canal $e_n = n.L$ se halla que:

1)	2) y, por lo tanto:
$(t_1/t_2)^2 = e_1/e_2$	$t_2 = t_1 * (e_2/e_1)^{0,5} = 1,4142x t_1$
$(t_1/t_3)^2 = e_1/e_3$	$t_3 = t_1 * (e_3/e_1)^{0,5} = 1,632x t_1$
$(t_1/t_4)^2 = e_1/e_4$	$t_4 = t_1 * (e_4/e_1)^{0,5} = 1,732x t_1$
$(t_1/t_5)^2 = e_1/e_5$	$t_5 = t_1 * (e_5/e_1)^{0,5} = 1,871x t_1$
-	-
$(t_1/t_n)^2 = e_1/e_n$	$t_n = t_1 * (e_n/e_1)^{0,5} = n x t_1$

Pues bien, hasta aquí se cumple y asombra lo encontrado por Galileo, que es válido, pero dejó sin decirnos como sacó los tiempos absolutos de su tiempo de referencia t_1 y su relación con los volúmenes de agua (o pesos) recogidos en el vaso pequeño que eran pesados "en una balanza muy precisa (...)" .

Con la ayuda de las computadoras del siglo XX se han calculado dos casos denominados: "Cálculo de las altura, volúmenes y pesos del agua desalojados por un recipiente (símil) usado como reloj de agua por Galileo" que utiliza la ecuación del tiempo, arriba descrita, para determinar el volumen de agua que se recoge en un recipiente, que cuando se pesa en una balanza muy precisa, debe dar el tiempo t_1 , **que Galileo no precisó, para los dos ángulos de inclinación del tablero narrado, de manera de tener las alturas de <<uno o dos codos >> en el punto de altura K. En estos casos se encuentran los valores de las distintas combinaciones de tamaños y alturas de agua en recipientes que se pueden utilizar para obtener el tiempo de descenso de 0,3422 segundos y 0,4839 segundos que tarda la bola de bronce en bajar hasta el punto M de la madera.**

Se pide al lector que observe la precisión del resultado de los volúmenes (o sea pesos) que debía haber tenido Galileo para poder llegar a resultados satisfactorios.

¡¡¡No nos parece que su balanza pudo haber llegado a estos extremos de precisión en su época!!!

Conclusión

Repasando todo lo dicho en esta comparación con el caso descrito por Galileo, después de una revisión crítica a uno de sus libros: *Diálogos...*, debemos señalar con toda franqueza lo siguiente:

1) Estos dos casos permiten determinar los volúmenes (columna F) en litros y en gramos que se debían recoger para conocer los tiempos transcurridos, que requieren una precisión de 8 cifras decimales, y que debían ser pesados para obtener los valores correspondientes a los tiempos transcurridos, cosa que es difícil imaginar posible se pudiera realizar con balanzas de alta resolución en el siglo XVII.

2) Galileo no era un investigador que comprendía, ni se interesaba en comprender, el uso del instrumental que utilizaba para medir (casos como: el telescopio, las cadenas para dibujar las parábolas, el reloj de agua, las medidas de longitudes y la deflexión de las vigas, así como otros ejemplos adicionales) ni tampoco se preocupó en detallarlos con cálculos reproducibles unequivocamente en sus escritos. En un caso, que resultó en fuerte disputa pública y legal, explicó el funcionamiento de un compás de proporción de usos geométricos y militares (1606) construido por Marcantonio Mazzoleni.

3) No entendemos como Galileo no pudo determinar, en una ciencia que le llevó muchos años elaborar, el valor del tiempo t_1 para la altura de un codo en 0,34219528 segundos, teniendo para ello una "balanza muy precisa", ni como pudo omitir el cálculo del tiempo para dos codos de altura, simplemente utilizando la relación geométrica, de la que tanto se alardeó, en donde:

$$t_2 \text{ vale } 2^{\wedge}0,5 * 0,34219528 = 0,48393721 \text{ segundos.}$$

4) Por otras demostraciones que también estudié, concluyo que los cursos de Geometría que impartió en tres universidades han debido ser un verdadero

infierno para sus alumnos; porque por costumbre dejaba escrito, casi al final de sus obras, y muy escondido, algún comentario de medias pruebas, que permitían enrumbar las ideas para la comprobación de sus afirmaciones. Y su escritura críptica, de la cual no dejó códigos de interpretación, encerraba algunos descubrimientos en un atmósfera secreta que sólo él interpretaba y traducía a su antojo.

5) Por las pruebas que presento en este trabajo, a todas luces se ve que Galileo no era un cuidadoso observador, y hasta puedo asegurar que era un mediocre experimentador; como pasará a reconfirmar en las próximas entregas de este temario.

(Símil) RELOJ DE AGUA DE GALILEO					
Cálculo de las alturas, volúmenes y pesos del agua desalojados por un recipiente (símil) usado como reloj de agua por Galileo					
A	B	C	D	E	F
Calcular:	1 cubit = 1 codo = 57,4 cm				Volumen
(Para un codo)	g = 980,502 cm/seg ²				(Litros)
	g/2 = 490,251 cm/seg ²				gramos (spt)
	t ₁ = (57,4/490,251) ^{0,5} = 0,34217376 seg				
	d ₁ =3,757 cm				
	h ₁ =13,757 cm				
	h ₂ =10 cm (altura del agua constante sobre el orificio)				
Calcular la fórmula N. 1:					
Numerador: ((3,1416/2) ³ *(3,757) ² *(13,757-10))=83,29970477					
Denominador:					
C =0,8		Adimensional			
A ² =1		cm ²			
(2*980,502*13,757) ^{0,5} +(2*980,502*10) ^{0,5} = 304,2842378					
					0,04164985
Resultado de la fórmula N.1 = 0,34219528 segundos para el primer caso					41,6498524
					Volumen
Calcular:	2 cubit = 2 codos = 114,8 cm				(Litros)
(para 2 codos)	g = 980,502 cm/seg ²				gramos (spt)
	g/2 = 490,251 cm/seg ²				
	t ₂ = (114,8/490,251) ^{0,5} = 0,4839 seg				
	d ₁ =4,23 cm				
	h ₁ =14,23 cm				
	h ₂ =10 cm (altura del agua constante sobre el orificio)				
Calcular la fórmula N. 1:					
Numerador: ((3,1416/2) ³ *(4,23) ² *(14,23-10))=118,899					
Denominador:					
C =0,8		adimensional			
A ² =1		cm ²			
(2*980,502*14,23) ^{0,5} +(2*980,502*10) ^{0,5} = 307,084					
					0,05890179
Resultado de la fórmula N.1 = 0,48393721 segundos para el segundo caso					58,9017861

R

REFLEXIONES ACERCA DE LA EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN (TIC)

Es imposible negar el extraordinario poder de las nuevas tecnologías, al punto que para ciertos sectores, hablar de desarrollo es un sinónimo del uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC).

Las TIC se han vinculado con todas las ramas del conocimiento: permiten desarrollar desde estudios científicos muy avanzados, hasta un sencillo juego de cartas; pueden servir, por ejemplo, para crear estrategias de defensa de una nación, desarrollar una sofisticada técnica médica, establecer comunicaciones inmediatas sin importar la distancia física o simplemente como un medio de entretenimiento en los ratos de ocio.

Están presentes en nuestros sitios de estudio y de trabajo, sin importar la rama laboral, (sería interesante realizar una encuesta entre trabajadores que usen computadoras para averiguar el % de usuarios que estaría dispuesto a prescindir de ella) y han invadido millones de hogares alrededor del mundo, sin importar el idioma o la fe religiosa.

La presente reflexión tiene como objetivo hacer un recuento, y algunos comentarios, acerca de la evolución de la humanidad y de las TIC.

■ María Isabel López E.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del ser humano ha sido marcado por sus necesidades físicas y emocionales; y comienza

con soluciones primarias: comida, abrigo, defensa, comunicación..... en efecto, la comunicación es una necesidad básica del hombre..... códigos que enviamos para que otros los decodifiquen con la esperanza de obtener una respuesta comprensible; de allí se promueve el desarrollo del lenguaje.

Al estudiar los cambios que ha vivido la humanidad se deduce que la manipulación de números mediante sistemas aritméticos y geométricos, es un indicio claro del índice de desarrollo, y que éste depende, entre otros factores, del grado de comunicación entre los individuos y grupos de individuos.

“Desde la prehistoria, la supervivencia de los pueblos ha estado determinada por la acumulación de conocimientos acerca del medio natural y la invención de artefactos para su conquista”.

LA EVOLUCIÓN DE LA HUMANIDAD Y SU RELACIÓN CON LOS NÚMEROS

No hay un conocimiento exacto acerca de cada una de las etapas e la evolución de la raza humana, hay evidencias arqueológicas de que el *homo habilis* apareció hace unos dos millones de años y utilizaba herramientas hechas de piedra. Este antecesor del hombre actual evolucionó el *homo erectus*, el cual apareció hace 1.800.000 años, su grado cultural fue algo superior; existen evidencias que es el responsable del descubrimiento del fuego, lo que ocurrió hace unos 600.000 años, lo cual, sumado al uso de pieles de animales como vestido, hacen presumir que vivía en zonas frías.

El siguiente eslabón es el *homo sapiens*, que apareció hace unos 300.000 años, se cree que vivía en pequeñas comunidades de hasta 50 miembros, y su físico evolucionó hasta la edad de piedra, para llegar a lucir parecido al humano actual.

Desde el *homo habilis* hasta el *homo sapiens* de la edad de piedra, se estudia una evolución de casi dos millones de años.

La Era Paleolítica (entre 40.000 a 10.000 años atrás) fue un período de grandes progresos en la manera de vivir; muchos antropólogos creen que en dicha era se desarrolló el primer lenguaje estructurado. Se puede intuir que para ese entonces ya existía, por lo menos, un concepto formado acerca de las cantidades y sus relaciones más simples, porque se han encontrado herramientas hechas con piedras, huesos y cornamentas de animales, además de

maravillosas pinturas, cuyas creaciones dependían de la cooperación de varios individuos: una muestra de la convivencia histórica.

La creación de comunidades originó el progreso e impulsó al hombre a conocer más allá, migró y encontró lugares con climas cálidos, valles fértiles donde se estableció y desarrolló la agricultura, y así se fue haciendo sedentario.

De la edad de piedra a la primera civilización: “un primer progreso comunitario” que tomó cerca de 45.000 años.

Muchos autores coinciden en señalar al valle entre los ríos Tigris y Eufrates (hoy Irak) como la cuna de la civilización más antigua (3500 A.C. – 2000 A.C.): los sumerios, quienes hace unos 5500 años inventaron la escritura y con ésta, las palabras para identificar los números. El legado manuscrito de esta época ha permitido saber que tenían conocimientos de matemáticas y de astronomía, lo cual les permitió desarrollar la navegación, además, se encontraron pruebas de la existencia de un sistema numérico en base a 60, del cual proviene los 60 minutos de una hora y los 360° de un círculo.

En el valle del Nilo se desarrolló la civilización egipcia (3100 A.C. a 1000 A.C.) la cual estructuró, entre otros conocimientos, el calendario de 365 días y algunos principios de aritmética básica: usaban un sistema numérico en base a diez, pero no valoraban el lugar del dígito, por lo que una cantidad dada se podría escribir de diferentes maneras. La construcción de las pirámides, maravillosos ejemplo de arquitectura e ingeniería de la antigüedad, revelan que los egipcios fueron los pioneros en cálculos geométricos.

El valle del Indo fue la cuna de una civilización que también desarrolló su propia escritura (2500 A.C. a 1700 A.C.), poseía una maravillosa tecnología agrícola que proveía de alimentos a miles de habitantes; los sistemas de riego, las construcciones y las cuadrículas de sus calles revelan conocimientos bastante avanzados de Aritmética y Geometría. Las investigaciones señalan que tenían un sistema numérico basado en la posición de cada símbolo y que habían desarrollado un sistema de medidas de longitud y de masa.

El valle del Huang He fue el lugar de la antigua civilización china (1800 A.C. a 1100 A.C.). Desarrollaron un sistema de escritura, del cual llama la atención que algunos símbolos se asemejan muchísimo a signos que se utilizan hoy en día. En algunos casos, las palabras eran talladas sobre huesos que utilizaban

como oráculos para predecir fenómenos astronómicos.

La antigua Grecia (2000 A.C. – 150 A.C.), cuna de la civilización occidental; es la pionera en medicina, física, biología y matemáticas pura. Los griegos descubrieron los números irracionales, además dejaron invalorable legado al cálculo matemático y a la geometría. Tenían un sistema de numeración en base a diez, y formaban las cantidades al sumar el valor de los símbolos colocados.

“Herodoto, historiador griego, en el siglo V A.C., hace referencia a una especie de ábaco utilizado por los egipcios; es el registro más antiguo acerca de un instrumento “matemático”⁽¹⁾.

Roma fue fundada en 753 A.C. y fue el eje de uno de los imperios más vastos de la historia (500 A.C. a 476 de nuestra era). El desarrollo del pensamiento científico provenía de las colonias; aprendieron el alfabeto de los etruscos y esparcieron el latín por sus dominios en el continente europeo, además, crearon un sistema de numeración en el cual el valor de la cifra se daba por la combinación de sus símbolos, bien sea por sustracción o adición.

“Los romanos utilizaron el ábaco, además el hodómetro, descrito por Herón de Alejandría como un instrumento que incorpora el principio de la rueda contador dentada, con el fin de medir distancias”⁽¹⁾.

Alrededor del año 400 A.C., las tribus árabes, hasta entonces nómadas, comenzaron a establecerse en pequeños estados ubicados en los que ahora es Jordania y Siria; los cuales fueron conquistados por el imperio romano en el año 106 y 160 de nuestra era. Siglos más tarde, en el año 610, Mahoma fundó la primera comunidad islámica y después de su muerte, su fe se extendió por toda la península arábiga generando un nuevo imperio unido por la fe musulmana.

En el siglo VII los árabes conquistaron a la India; allí aprendieron el sistema decimal, que había sido inventado unos 200 años A.C., lo adoptaron y lo impusieron en las regiones posteriormente invadidas, entre ellas, España. Este sistema numérico fue introducido al resto de Europa por muchas personas, entre las cuales destaca el matemático italiano Leonardo Fibonacci en 1202, en esa época los libros eran manuscritos, no se reproducían sus volúmenes por lo que el conocimiento sólo llegaba a muy pocas personas.

Estas culturas, algunas de ellas coincidentes en el tiempo, se preocuparon por brindar cierto nivel de educación a sus ciudadanos, (en este sentido, destaca

el espíritu Helénico), además, su interés por el progreso les llevó a desarrollar sistemas de transporte que adaptaban a su realidad geográfica; por ejemplo, mientras los sumerios se destacaban por su capacidad de navegación, los egipcios preparaban extraordinarias caravanas terrestres para cruzar el desierto. Así se interrelacionaron; se comunicaron, aprendieron unos de otros, evolucionaron y, en algunos casos, fueron sometidos por las civilizaciones más poderosas: Se crean los primeros imperios en base a la fuerza.

De los sumerios hasta la creación de la imprenta: casi 5000 años de evolución. Hasta entonces no era posible reproducir dos veces la misma información de igual manera.

LAS MÁQUINAS: UN VERDADERO CAMBIO

La imprenta móvil fue un invento revolucionario que se realizó en el siglo XV; la creación del alemán Johannes Gutemberg en 1440, permitió reproducir la información escrita a una velocidad, para entonces, asombrosamente rápida. En consecuencia, se publicaron entre otros, numerosos libros que explicaban el uso del sistema decimal; y así se fue imponiendo en escuelas y universidades.

Los astrónomos árabes utilizaban decimales menores que uno, pero no se había publicado nada al respecto por lo que su uso era prácticamente desconocido. Gracias a la imprenta, el varón John Napier, matemático escocés, en 1619, realizó una publicación donde explicaba, de un modo bastante sencillo, el uso de decimales menores que uno. La difusión de este artículo facilitó la aplicación de este sistema numérico a la vida cotidiana, y así se impuso en el comercio: cambio monetario y en la toma de medidas.

“La evolución de la humanidad y el perfeccionamiento de las máquinas permanecen estrechamente relacionados. Las máquinas han transformado el aspecto físico del mundo”.

Sin duda la que originó un cambio sustancial en el camino que seguía al desarrollo humano fue La Revolución Industrial. Comenzó en Gran Bretaña, país rico en hierro y carbón, durante el siglo XVIII y se propagó al resto de Europa y América del Norte a comienzos del siglo XIX. Hacia 1850, las industrias se convertían en ejes de la vida económica y social de esos países; la economía cambió drásticamente de agrícola feudal a industrial.

Este proceso modificó, para siempre la manera de vivir: obligó a mejorar la comunicación entre los países (¿de qué valía producir en grandes cantidades, si no se podía transportar los productos?), por lo que generó la revolución del transporte: trenes a vapor, poderoso barcos, mejores caminos; la producción en serie indujo a automatización.

Algo muy importante: se crearon nuevos institutos educativos (se necesitaba cada vez más gente mejor preparada) y se promueve la investigación como un recurso para resolver problemas industriales.

De la imprenta a la Revolución Industrial, del renacimiento a la producción en serie; 400 años de historia.

La revolución industrial llevó el progreso material y educativo, si cabe hacer esta diferencia, se extiende a una ex - colonia británica recién liberada: los Estados Unidos de América a mediados del siglo XIX.

Vale la pena reflexionar acerca de la realidad venezolana en la época de la Revolución Industrial, mientras U.S.A. daba pasos firmes hacia su desarrollo nuestro país se desangraba: la guerra de independencia y las guerras fratricidas posteriores, mantenían a nuestro país fragmentado y empobrecido.

No es sino hasta el descubrimiento del petróleo, bajo la dictadura del General Gómez, cuando Venezuela parece iniciar un proceso de industrialización, que hasta 1975 fue regido básicamente por empresas trasnacionales. El espejismo de la riqueza petrolera se convierte en un polo de atracción; se abandona el campo y las poblaciones migran en busca de mejoras económicas.

No es posible afirmar que Venezuela participó activamente en la Revolución Industrial o que efectivamente se benefició de la expansión del progreso, en este sentido, aun se habla de "un país en vías de desarrollo", y ya comenzó el siglo XXI.

EL MANEJO DEL TIEMPO Y DEL CÁLCULO

El origen de las computadoras tal y como las conocemos hoy en día se encuentra en el desarrollo de los instrumentos de medida del tiempo y en su aplicación a los sistemas automatizados para el procesamiento de datos numéricos.

*) El tiempo es una dimensión que representa una secuencia matemática.

Los primeros relojes mecánicos fueron desarrollados en Europa en el año 1200; unos doscientos años más tarde ya existían sistemas de cuerda que permitían conocer la hora, y a principios del siglo XVI se había logrado disminuir el tamaño y peso, y se comenzaron a producir relojes de bolsillo.

Los avances en la electricidad llevaron a desarrollar relojes eléctricos que en la década de 1920 invadieron los hogares del mundo occidental. El desarrollo científico sostenido permitió construir el primer reloj atómico veinte años después, y luego, en los años 70, se llegó la difusión libre de los relojes digitales, los cuales alcanzaron una gran popularidad. En los años 80, los chip de computadora fueron incorporados en mecanismos para medir el tiempo.

El conocimiento de la naturaleza de las fases sólidas permitió incorporar el reloj de cuarzo en los sistemas informáticos. Cuando se aplica electricidad a este cristal, las moléculas oscilan a un ritmo constante cuya velocidad depende del grosor del sólido; las computadoras usan esta vibración para medir sus operaciones de procesamiento. Un ciclo del reloj es el tiempo que le toma a un transistor apagarse y volverse a encender, actualmente se han alcanzado velocidades que sobrepasan 1,5 GHz, es decir, 1500 millones de oscilaciones cada segundo.

Del reloj mecánico al portátil: 500 años de avance en Europa. Del reloj eléctrico al chip de computadora: un cambio que se produce en ochenta años, casi seis veces menos tiempo, y en el cual protagoniza Estados Unidos de América.

*) La necesidad de calcular, inicialmente originada por el auge del comercio, llevó al desarrollo de instrumentos y sistemas para manejar números, a saber:

- La regla del cálculo. William Oughtred (1621).
- El contador de Pascal (1642): una máquina sumadora.
- La calculadora gradual de Leibniz, ilustre matemático creador del sistema binario. (1670): una maquina multiplicadora.
- En 1801 el textilero Joseph Marie Jacquard, inventa las tarjetas perforadas como un medio para crear patrones reproducibles.
- George Boole (mitad del siglo XIX) creador del álgebra booleana, que permite operaciones binarias en el sistema binario.

- El matemático inglés, Charles Babbage, permaneció por más de treinta años, con la idea de desarrollar una computadora mecánica: la máquina analítica, la cual nunca pudo llevar a cabo (1812–1840).
- En 1888, el inventor y hombre de negocios, Herman Hollerith, desarrolló un sistema automatizado para tabular los datos del censo que se realizaría en U.S.A. en el año 1890, el cual resultó totalmente exitoso. Este visionario creó una compañía que continuó desarrollando estas máquinas; en 1911 él vendió los derechos, la compañía cambió de nombre y en 1924 se rebautizó como Internacional Business Machines Corporation (IBM).
- La primera computadora electrónica fue construida en 1939 por John V. Atanasoff, un físico y matemático norteamericano.

Desde la regla del cálculo, inventada en Europa, hasta la primera computadora electrónica, realizada en Estados Unidos, transcurren 318 años. “El progreso”, comienza a ser liderizado por U.S.A.

El desarrollo de los ordenadores se origina en U.S.A. por razones de Defensa Nacional; la II Guerra Mundial está en pleno desarrollo y el estado decide invertir en los proyectos de investigación en el área de la computación, que sostienen las Universidades más reconocidas del país. Se busca una mayor capacidad y velocidad de procesamiento de la información. Poco a poco se va extendiendo el número y tipo de aplicaciones, hasta llegar a la increíble variedad de sistemas que existen hoy en día.

*) La Primera Generación (1941 – 1958)

Se caracteriza por el uso del tubo al vacío como elemento fundamental; la velocidad de procesamiento se medía en milisegundos.

Los computadores eran muy voluminosos y extremadamente costosos.

A mediados de los años 50, IBM desarrolló el primer disco magnético.

Duró aproximadamente 17 años.

*) La Segunda Generación (1958 – 1965)

Se caracteriza por la utilización del transistor; la velocidad de procesamiento se medía en microsegundos. Con el desarrollo de los transistores

comienza la era de la informática.

Duró aproximadamente 7 años.

*) La Tercera Generación (1971 - ?)

Se caracteriza por circuitos integrados a muy gran escala; el microprocesador.

Son procesadores para diferentes propósitos: operaciones matemáticas, textos, imágenes, fotografías, videos, comunicación.

Se desarrolla la computadora personal, la informática penetra todas las áreas de trabajo, e inclusive llega a los hogares.

Se desarrollan las impresoras de inyección de tinta y de Laser.

Se desarrollan software como Windows, Autocad, Utilería Norton, C++, Office de Windows, Netscape Navigator, etc.

Se desarrollan periféricos como controladores para diskettes, Zip, CD-Rom, scanners, cámaras, quemadoras, DVD.

Se desarrolla la red de redes: Internet.

*) La Quinta Generación: ¿inteligencia artificial utilizando el lenguaje natural?

“Surge una nueva era caracterizada por una capacidad de acceso, sin precedentes, al control y manipulación de la información”.

CONCLUSIONES

- La comunicación es una necesidad básica del hombre y está íntimamente vinculada a su grado de desarrollo.
- La incorporación de la tecnología al proceso de comunicación promovió la calidad y cantidad de interrelaciones en las diferentes culturas, lo que originó que se acelerara de una manera sorprendente la velocidad de los cambios que deben conducir al progreso.

“La tecnología es el uso del conocimiento científico para especificar modos de hacer cosas de una manera reproducible”.

Para que estos cambios se lleven a cabo, es necesario el desarrollo de la educación y la

apertura a aceptar nuevos paradigmas; quizás ésta sea la clave para el progreso acelerado de la tecnología en los Estados Unidos.

- Todas las áreas del conocimiento se relacionan entre ellas; el avance en una ciencia permite nuevos desarrollos en otras áreas, gracias a la comunicación, así la evolución de las matemáticas teóricas y aplicadas; junto a los avances en fisicoquímica permitieron el desarrollo de las TIC: en consecuencia, se pasó de simples calculadoras mecánicas a poderosos ordenadores que procesan información a velocidades extraordinarias.
- Ha surgido una herramienta que modifica por completo las relaciones entre los seres humanos: bien sea de tipo laboral o personal. Influye enormemente en la cotidianidad.
- En los últimos 50 años, la velocidad de procesamiento de información se ha acelerado millones de veces.

BIBLIOGRAFÍA

1. Airen, Babbage, Von Newman, Shanon, Turing, Walter y otros. (1970). *Perspectivas de la Revolución de los Computadores*. Alianza Editorial. España.
2. Castells, Manuel. (1996) *La Era de la Información: Economía, Sociedad y Cultura. La Sociedad Red*. Vol. 1. Siglo XXI editores México.
3. Gates, Bill. (1995). *Camino al Futuro*. Mc Graw Hill. Colombia.
4. Menuhin, Yehudi, Davis Curtis. (1981) *La Música del Hombre*. Fondo Educativo Interamericano. E.U.A.
5. Norton, Meter. (2000). *Introducción a la Computación*. 3º ed. Mc Graw Hill. México.
6. Raskin, Martin. (1995) *Música Virtual*. Anaya Multimedia, Madrid.
7. Rousseau, Jean-Jaques. (1998) *Ensayo sobre el Origen de las Lenguas*. Norma. Colombia.
8. World Book. (1998). Multimedia Enciclopedia. IBM.



EL FLUJO DE CAJA DESCONTADO

DISCOUNTED CASH FLOW (D.C.F)

Para estimar el valor de una empresa existen muchas alternativas; sin embargo, en un mercado donde exista un vendedor deseoso de vender y un comprador deseoso de comprar, el precio pagado, sin presiones externas adicionales, es el valor que tienen los activos en un momento dado.

Al hablar de métodos para determinar valor, la literatura describe varias categorías:

- Métodos basados en el valor en libros: donde el valor viene dado por la resta de los activos menos los pasivos de la empresa, ajustados para reflejar de mejor forma el valor real de los mismos, en comparación con el valor contable
- Métodos basados en valoración relativa: donde la valoración se basa en un patrón, por ejemplo, una transacción comparable reciente.
- Flujo de caja descontado
- Valor presente ajustado
- "Economic value added"
- Opciones reales y otras metodologías

Por lo general, en la mayoría de las oportunidades se seleccionará más de una alternativa para valorar empresas, y el resultado, más que un número específico, será un rango de valores. En el campo profesional, actualmente, una de las metodologías más utilizadas es la del **flujo de caja descontado o Discounted Cash Flow-D.C.F.**

En este método la idea central estriba en que lo importante es lo que la empresa pueda producir, tanto en flujo libre de caja, como en rentabilidad, y no que

■ Dr Roberto Vainrub
rvainrub@activalores.com.ve

Doctor en Ingeniería UCAB, Maestría Stanford U e Ingeniero UCAB. Es director del Grupo ActiValores

■ Ing. David Santibáñez
dsantibanez@activalores.com.ve

MBA del IESA, Ingeniero Químico UCV. Es consultor en Finanzas Corporativas en el Grupo ActiValores.

activos tiene. Un ejemplo descriptivo puede ser el de un restaurante donde el cocinero sea un chef de reconocimiento internacional, y el mismo establecimiento (mismas ollas, misma cocina, mismos ingredientes, mismos activos) pero que el chef sea uno de los autores de este artículo. El potencial de flujo de caja y de utilidades en ambos casos será diferente.

De manera general, el método de valoración del DCF supone que una empresa en marcha posee un potencial de generación de flujos de caja a futuro, los cuales pueden ser descontados a una tasa que refleje el *riesgo* que un inversionista está dispuesto a asumir en ese negocio en particular. La idea consiste entonces en *estimar* los flujos de caja que la empresa es capaz de generar de aquí a “n” años. Sobre estos flujos tienen potestad principalmente los acreedores y los accionistas, siendo estos últimos los que absorben el mayor riesgo y por ende cuentan con el mayor costo de capital.

Una forma a seguir pudiera ser:

1. Análisis del desempeño histórico y análisis fundamental. Al valorar una empresa, es necesario (y tal vez imperativo) conocer cabalmente lo más que se pueda sobre la misma. Eso incluye desde las políticas internas de la compañía, pasando por características relevantes de la industria a la cual pertenece; hasta aspectos del entorno en donde se desenvuelve la empresa.

Los productos principales de este primer paso serán la estimación de los flujo de caja libre, la identificación de los principales generadores de valor de la empresa (o palancas de valor, “value drivers”), la indagación de los “benchmarks” (o empresas comparables), entre otros.

2. Proyecciones. Lo que se proyecta no son los flujos de caja, son los estados financieros (específicamente estado de resultados y balance general) y a partir de ellos se obtienen todos los demás flujos requeridos. Las proyecciones deben incluir diversas situaciones de funcionamiento de la empresa, es decir, proyectar el futuro de la empresa teniendo en cuenta que las cosas puede que salgan bien como puede que no salgan tan bien (escenarios).

3. Tasa de descuento. Esta es una parte importante del proceso dado que de ella se obtendrá la tasa que se empleará para descontar los flujos de caja estimados anteriormente. Aquí es necesario cuantificar, dentro de lo posible, el riesgo implícito del negocio.

4. Valor Continuo. Luego de escoger un horizonte explícito de proyección, es necesario establecer un valor de continuidad de la empresa producto de suponer que la misma opera indefinidamente a lo largo del tiempo. Un método alternativo consiste en asignar un “valor de salvamento” en el año “n” a la empresa. Este pudiera ser el valor patrimonial derivado del balance general proforma en el año “n”.

5. Resultados. En este último punto se tienen los flujos de caja descontados a una tasa adecuada. Adicionalmente se identifican las variables claves en la valoración y se sensibilizan, para determinar su efecto sobre el valor de la empresa. Finalmente, se estima un rango de valor como resultado final.

Los dos primeros pasos concentran el mayor esfuerzo de una valoración, mientras que el restante se distribuye entre los últimos tres pasos. Con esto no se quiere decir que la estimación de la tasa de descuento (por ejemplo) no sea importante, el problema radica en el hecho de que uno puede hacer un excelente cálculo de una tasa que involucre todos los riesgos posibles; sin embargo, si las premisas de proyección usadas para la estimación de los flujos de caja no son adecuadas (producto de no haber realizado un buen trabajo de análisis fundamental), el valor de la empresa será cualquier número.

Seguidamente se detallan cada uno de los puntos expuestos con anterioridad.

1. Análisis del desempeño histórico y análisis fundamental.

El contexto del análisis fundamental obliga a comenzar el análisis por los siguientes niveles:

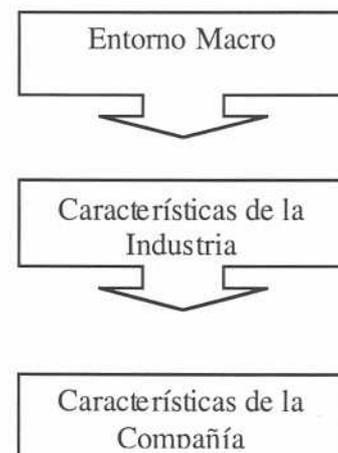


Figura N° 1 Análisis en Cascada

El conocimiento de la economía en donde se encuentra la empresa (macroeconomía, políticas gubernamentales, indicadores, ciclos de crecimiento, etc.) permitirá conocer qué terreno se está pisando. Aspectos específicos de la industria, tales como sensibilidad a ciclos económicos y madurez, ayudarán a entender aspectos específicos dentro de los cuales se desenvuelve la empresa. Por último, está la compañía y en este sentido mientras más se sepa sobre ella, mucho mejor. En este punto es necesario analizar y entender aspectos financieros, operativos y estratégicos de la empresa. Una valoración viene acompañada con una solicitud inicial de *gran cantidad* de información pertinente a la empresa (la mayoría de las veces confidencial). Entre esta vasta cantidad de información, se podrían citar: estados financieros, balances de comprobación, descripción de procesos operativos, líneas de productos, proveedores, estructura de costos/gastos, políticas de depreciación de activos y políticas de capital de trabajo, contratos de importancia, compromisos bancarios, plan de inversiones, etc. Gran parte de esta información ayudará posteriormente a analizar relaciones y tendencias para luego poder soportar las premisas de proyecciones financieras.

Como se mencionó anteriormente en este escrito, las palancas de valor son aquellas variables que generan, condicionan, o dan pie a la creación de valor dentro del negocio. Estas variables pueden ser manipuladas por la gerencia para actuar sobre el desempeño de la empresa. La identificación de esta variables facilitará el proceso de proyección y permitirá estimar aquellas variables que son necesarias sensibilizar para obtener los resultados finales.

Otro punto relevante en este paso, es el análisis de las referencias o "benchmarks" que pueden encontrarse en la industria a la cual pertenece la empresa. Cuáles son esas empresas, cómo funcionan, cómo estructuran sus operaciones, sus finanzas, etc.; son preguntas necesarias que pueden responder aspectos claves de cuáles deberían ser las tendencias a seguir por la empresa. Aspectos como políticas de capital de trabajo empleadas o a emplearse, endeudamiento típico del sector, etc. son puntos que pueden definirse en este análisis. Igualmente, se podrá percibir qué tan alejada está la empresa en análisis del resto del mercado. Cabe destacar que a este nivel es posible obtener también una idea del valor para la empresa si se aplica la metodología de valoración relativa.

Hasta este punto, el lector puede preguntarse, ¿dónde conseguir toda esta información? Lo ideal sería que la información esté disponible, sin embargo, la realidad es otra y en muchos de los casos un estudio de valoración termina teniendo un alcance mucho más amplio.

ESTIMACIÓN DEL FLUJO DE CAJA LIBRE

El punto de partida para la estimación del flujo de caja libre (o free cash flow, FCF) se encuentra básicamente en los estados financieros. Estos documentos se convierten (junto con sus respectivas notas explicativas) en uno de los instrumentos cruciales dentro de toda valoración.

El Flujo de Caja Libre de una compañía (ver tabla N° 1), es el flujo total después de impuestos generado por la compañía, y que está disponible tanto para acreedores como para accionistas. Este flujo, generalmente, no está afectado por la estructura financiera de la empresa (aunque ésta afecte en sí a la tasa de descuento y por ende al valor de la compañía)¹.

Tabla N° 1
Estimación del Flujo de Caja Libre

Ventas
(-) Costos y Gastos
(-) Depreciación y Amortización
(+) Otros Ingresos y/o Gastos
(=) Ganancia antes de Impuestos e Intereses
(-) Impuestos aplicables
(+) Gastos no desembolsables (depreciación, etc.)
(=) Flujo de Caja Bruto
(-) Incremento de Capital de Trabajo
(-) Inversiones (Capital y otras)
(=) Flujo de Caja Libre Operativo
(+) Flujo de Caja no operativo (no recurrente)
(=) Flujo de Caja Libre Disponible a Acreedores y Accionistas

¹ Copeland, Koller, Murrin: "Valuation: Measuring and Managing the Value of Companies". Mckinsey & Co.

Hasta este punto, el cálculo del Flujo de Caja Libre luce relativamente sencillo, sin embargo, existen casos en los que la contabilidad de ciertas empresas se vuelve engorrosa y el número de partidas (particularmente en los balances) aumenta. En este sentido, se corre el riesgo de omitir alguna partida (o incluirla más de una vez) y cometer errores de estimación; por lo que se hace necesaria la verificación del cálculo del Flujo de Caja Libre. Esta verificación se puede hacer determinando otro flujo denominado Flujo Financiero (ver tabla N° 2). Si el Flujo de Caja Libre está bien estimado, el resultado obtenido debería coincidir con aquel del Financiero (ver figura N° 2). El Flujo Financiero no es más que las entradas y las salidas de dinero asociadas a los entes que tienen potestad sobre la empresa (acreedores y accionistas).

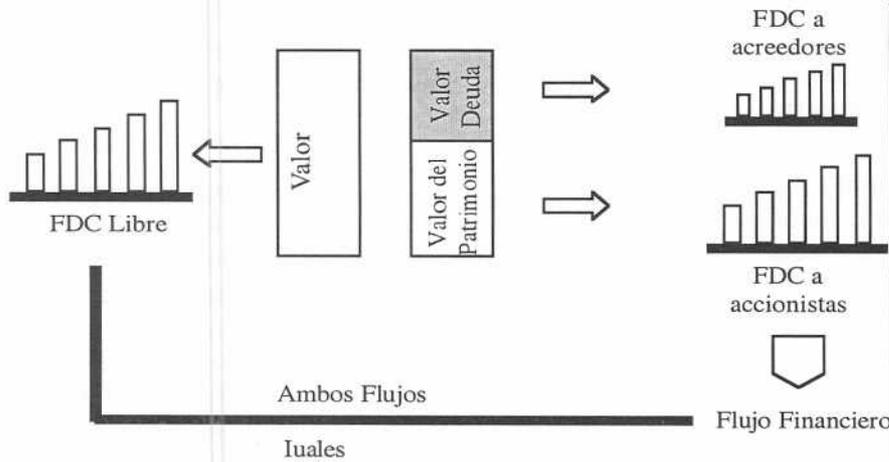


Figura N° 2 Flujo Financiero

Tabla N° 2
Estimación del Flujo Financiero

(-) Ingresos por Intereses (netos de impuestos)
(+) Gastos Financieros (netos de impuestos)
(+) Aumento inversiones temporales
(-) Aumento Deuda
(-) Aumento Capital
(+) Dividendos
(=) Flujo Financiero

Vale destacar que estas metodologías de estimación de los flujos son referenciales, por lo que pueden existir casos en donde haya un mayor número de partidas no mencionadas en estos ejemplos. Se sugiere revisar cada caso cuidadosamente. Sin em-

bargo, en todos los casos hay que prestar atención en incluir todas y cada una de las partidas presentes en los estados financieros, una sola vez y con sus signos correctos.

2. PROYECCIONES.

Este es otro de los puntos cruciales dentro de una valoración dado que las premisas más relevantes se consideran en este punto. Las proyecciones vienen a ser la base de la valoración y las mismas deben basarse en premisas claras, lógicas y justificables sobre la base de análisis e información disponibles. Como se dijo anteriormente, lo que se proyecta es cada partida o cuenta de los estados financieros a

través del diseño de un modelo de simulación, el cual reproducirá el comportamiento de la empresa a futuro. Igualmente, las palancas de valor identificadas inicialmente, formarán parte del contingente de variables a proyectar. Para que las proyecciones tengan sentido, el horizonte explícito de proyección debe ser de por lo menos 5 años y luego de dicho horizonte se establecería un valor de continuidad (u horizonte implícito de proyección); del cual se hablará más adelante. En caso de que la empresa se encuentre dentro de una industria cíclica, hay que cuidar que el período de

proyección sea lo suficientemente largo para que dicho ciclo sea incluido en el período de proyección explícito.

Con miras a ir pensando en un rango de valoración, conviene "amarrar" las proyecciones a escenarios en los que la empresa tenga un futuro promisorio y positivo, y otro en el que la empresa tenga un futuro complicado (esto incluye considerar escenarios de proyección macroeconómicos elaborados por especialistas independientes, como lo son Datanálisis y VenEconomía por ejemplo, y escenarios operativos de la empresa en caso de existir).

Con relación a la inflación dentro de una valoración, aún cuando la valoración en moneda real simplifica el aspecto devaluación, resulta más cotidiano interpretar y comunicar variaciones nominales.

Existen diversos métodos de proyección, desde los más directos como repetir a futuro tendencias históricas, hasta el empleo de métodos estadísticos más complejos. No todas las proyecciones en una valoración se realizan bajo un mismo método, por lo que el trabajo del analista en este sentido resulta

arduo. La idea de tener suficiente información histórica de la empresa radica principalmente en la identificación de tendencias que permitan soportar las proyecciones. Por ejemplo, una empresa cuyos días en cuentas por cobrar se hayan comportado relativamente estable durante el período histórico, perfectamente podrían comportarse de manera semejante durante la proyección (siempre y cuando no se prevean cambios significativos en la empresa que afecten considerablemente el capital de trabajo). Otros métodos comúnmente empleados en las proyecciones son los métodos de regresión. La idea detrás de estos métodos radica en encontrar, a partir de información histórica, una ecuación matemática en la que la variable a proyectar dependa de otra u otras variables cuyo movimiento o comportamiento a futuro sea conocido. La sugerencia que se puede dar es analizar la relación de la variable a proyectar con cuantas otras variables sea posible hasta encontrar aquella ecuación que satisfaga en mayor grado las restricciones impuestas.

Otro método de proyección útil se encuentra en la información que se pueda extraer de empresas comparables a la que se está valorando. En este sentido, resultan adecuados ciertos datos que se puedan tener, en especial cuando se cuenta con poca información histórica de la empresa a valorar.

3. TASA DE DESCUENTO

Una vez obtenidos los flujos de caja, es necesario descontarlos a valor presente empleando por ejemplo el *costo de capital promedio ponderado* o WACC ("weighted-average cost of capital"). En esencia, el WACC es una tasa de descuento ajustada por impuestos que recoge el beneficio impositivo asociado al endeudamiento. Para una estructura de capital dada, la fórmula general se presenta de la manera siguiente:

$$WACC = (D/(D+C))(k_d)(1-Tx) + (C/(D+C))(k_c)$$

Donde:

- D : valor de mercado de la deuda
- C : valor de mercado del capital
- K_d : costo de la deuda
- K_c : costo del capital
- Tx: tasa de impuestos corporativa

4. VALOR CONTINUO

El valor de *las operaciones* de una empresa viene dado entonces por la suma algebraica del valor presente de los flujos de caja durante el período explícito de proyección más el valor presente del flujo de caja después del período explícito de proyección. Este último es lo que se conoce como valor continuo, y el mismo es posible estimarlo mediante la siguiente fórmula²:

$$FC = \frac{FCL_{t+1}}{WACC - g}$$

Donde:

- FCL_{t+1} : flujo de caja del año siguiente al período de proyección explícito.
- WACC: costo de capital promedio ponderado.
- g: tasa de crecimiento esperada en el flujo libre de caja a perpetuidad.

Una alternativa al uso de valores a perpetuidad (con o sin gradiente), puede ser la utilización en sustitución de la continuidad de un "valor de salvamento", que pudiera venir dado por una estimación del un valor de la empresa al final del horizonte de proyección (al final del ciclo económico, al final del período en que se cree poder mantener la ventaja competitiva fundamental, etc). Ese valor de salvamento, pudiera venir dado por ejemplo por el valor patrimonial derivado del Balance General Pro-Forma durante el último año proyectado.

5. RESULTADOS

Antes de llegar a un primer valor, es necesario realizar un análisis de sensibilidad de aquellas variables cruciales dentro de la valoración. En otras palabras, qué sucedería si una variable en particular variable aumentara (disminuyera) un 10%, por ejemplo. Algunas de estas variables debieron ser identificadas en los primeros pasos (de allí la utilidad del análisis fundamental), pero también se adicionan nuevas variables, tales como tasa de descuento, tasa de crecimiento de la perpetuidad, etc. Este análisis proveerá de diversos valores que permitirán la determinación de un rango.

² Existen otras fórmulas y aproximaciones que pueden ser empleadas para el valor continuo. Esta fórmula supone que se llega a un flujo de caja libre estable en el tiempo. Se sugiere consultar la literatura recomendada en caso de desear más detalle al respecto.

Una vez completados estos últimos pasos se obtendrán tantos valores como escenarios se hayan creado (por lo menos dos). Pero el trabajo no acaba aquí, ya que es necesario evaluar de manera crítica los resultados obtenidos y “cuestionar” constantemente si los mismos resultan lógicos. En este punto resultan útiles los valores obtenidos por comparables, ya que los mismos dan las referencias de mercado. Es el valor obtenido similar al de mercado?. Si no lo es, qué factores específicos de la empresa pueden estar influyendo?. Son estas diferencias explicables?. Estas son algunas de las preguntas que conviene incluir en el análisis.

Finalmente con toda la información recolectada (flujos de caja descontados y sus respectivos escenarios, análisis de sensibilidad, valor en libros, comparables, etc.) se construye un rango de valor para la empresa. Con cierta frecuencia se sugiere verificar la versatilidad y predicibilidad del modelo de simulación creado, con la finalidad de detectar posibles fallas de proyección y modificarlas.

PROPUESTAS DE MEJORAS
A LOS PROCESOS DE LA
GERENCIA DE
INFORMACIÓN
GEO-ESPACIAL, ADSCRITA
A LA GERENCIA GENERAL
DE HABILITACIÓN Y
DISPOSICIÓN DE IMUEBLES
DE PETRÓLEOS DE
VENEZUELA S.A.,
MEDIANTE UN SISTEMA DE
EVALUACIÓN DE GESTIÓN
Y UN MODELO DE
ACTUALIZACIÓN Y
PLANIFICACIÓN
TECNOLÓGICA.

■ Daniel Álvarez Hernández
dalvarezh@yahoo.com

Tutor: Cesar Lang Diaz

1. SINOPSIS

La base de este trabajo fue el estudio efectuado a los procesos de la Gerencia de Información Geo-Espacial, adscrita a la Organización de Habilitación y Disposición de Inmuebles de Petróleos de Venezuela S.A., la cual debido al aumento en su volumen de actividades, el crecimiento de su dimensión organizacional y los constantes cambios en la tecnología asociada a sus procesos, se ha visto en la necesidad de adoptar mecanismos que permitan mejorar la calidad del servicio prestado y optimar costos en sus operaciones, para superar las expectativas de sus clientes. De allí, bajo una metodología que se inició con el conocimiento estratégico de la Organización, pasando por el análisis detallado de los procesos y sus interrelaciones hasta llegar a la identificación de perspectivas de las nuevas tecnologías ligadas al negocio, se presentaron *Propuestas de Mejoras* mediante:

- Un **Modelo para la Evaluación de Gestión** que se apoya en indicadores a nivel estratégico, táctico y operacional.
- Una **Metodología para la Actualización, Planificación y Selección de Nuevas Tecnologías.**

Se propone la adopción de indicadores como metodología continua de trabajo, para medir cuánto se acerca la Organización al cumplimiento de su misión e identificar las áreas a mejorar, es decir, el *Modelo de Evaluación de Gestión* señala **qué debe**

cambiar. Por su parte, la *Metodología para la Actualización Tecnológica* permite planificar y evaluar el impacto económico de la incorporación de nuevas tecnologías en las actividades de la Gerencia. En otras palabras, el modelo indica **cuándo y qué incorporar** a la plataforma tecnológica de los Ambientes o Salas de Geo-Información a nivel nacional, sin dejar de lado el aspecto humano, la calidad de la información, la oportunidad de la entrega de productos y la prestación de servicios.

2. METODOLOGÍA

Partiendo de la identificación de las necesidades de mejora en la Gerencia de Información Geo-Espacial, la metodología de trabajo se estructuró en tres fases generales para el desarrollo de las propuestas: *Conocimiento Estratégico del Negocio*, *Diseño de Indicadores de Gestión* y *Diseño de la Metodología de Actualización y Planificación Tecnológica*, tal como se aprecia en la siguiente figura y se desarrolla a continuación:



Figura N° 1: Esquema de Metodología Empleada en el Estudio.

2.1. Conocimiento Estratégico del Negocio

Esta fase se centró en la comprensión de temas estratégicos de la Organización mediante una evaluación interna y un examen del ámbito en el que se desenvuelve. Para ello se siguieron las siguientes etapas:

IDENTIFICACIÓN DE LA MISIÓN Y VISIÓN: Consistió en la descripción del objeto de la Gerencia de Información Geo-Espacial y su visión a largo plazo. Para la adecuación de tales aspectos a los nuevos requerimientos de la Organización, se trabajó en el rediseño de la misión y la visión.

FORMULACIÓN DE LA CADENA DE VALOR PARA LOS PROCESOS: En esta etapa se identificaron las interrelaciones de los procesos de la Gerencia para crear valor a los clientes y producir resultados a la Corporación.

REALIZACIÓN DEL ANÁLISIS DOFA: Mediante el Análisis de Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas (DOFA) se formularon estrategias para que la Organización alcance una ventaja competitiva en el futuro.

3. DISEÑO DEL SISTEMA DE INDICADORES

Para una correcta traducción de las estrategias desarrolladas en el análisis DOFA, se efectuó un despliegue vertical de los objetivos, partiendo del *nivel estratégico* mediante la selección de los Objetivos Corporativos¹ que la Gerencia de Información Geo-Espacial puede apalancar de acuerdo a su gestión, formulando posteriormente los Objetivos a *nivel táctico*² con base a la gestión estratégica de la Gerencia Corporativa de Logística, para culminar con el establecimiento de Objetivos Específicos (*nivel operativo*) para las áreas funcionales (Ambientes del AIG).

3.1. Determinación de los Factores Críticos de Éxito

Luego de haber seleccionado y establecidos los objetivos en los distintos niveles, se procedió a la definición de la variables de seguimiento de la gestión con las que debía contar el sistema de indicadores, es decir, determinando los factores críticos de éxito. Este proceso fue llevado a cabo mediante la adaptación de un Diagrama Causa-Efecto, en el cual se relacionan los objetivos hasta llegar a los lineamientos para la formulación de indicadores.

Los factores críticos quedaron representados por: EL USO DEL CAPITAL, LOS COSTOS DE PROVEER EL SERVICIO Y RESPECTO A OTRAS ORGANIZACIONES O UNIDADES DE LA EMPRESA, EL CLIENTE, LA OPORTUNIDAD DEL SERVICIO, LA CALIDAD DE LOS PROCESOS y LA CAPACITACIÓN DEL PERSONAL.

¹ Establecidos en el Sistema de Indicadores Balanceados de la Gerencia Corporativa de Logística, a la cual está adscrita la Gerencia de Información Geo-Espacial.

² El Nivel Táctico aplica a una organización con funciones propias de organización y coordinación, pero que deben estar alineadas con las de la organización a la que está adscrita.

Despliegue Vertical de Objetivos



3.2. Adaptación del Diagrama Causa-Efecto a la relación entre los Objetivos.

Para comprender mejor cómo se relaciona el despliegue de objetivos desde el nivel estratégico hasta el nivel operativo, se presenta una adaptación del Diagrama Causa-Efecto o “Espina de Pescado” propuesto por Kaoru Ishikawa. Dicha adaptación muestra la correspondencia entre los todos los factores que llevaron a la formulación del sistema de indicadores. Para ello en la línea central se identifica lo que consigue el sistema: *La integración vertical de los objetivos a nivel operativo, táctico y estratégico con los de PDVSA Corporativa*. Luego, en el siguiente nivel se muestran los cuatro objetivos estratégicos seleccionados de la Gerencia Corporativa de Logística. Para cada una de las “ramas” o “espinas” que conforman éstos objetivos, se vinculan los objetivos formulados a nivel táctico, a los que a su vez se relacionan los objetivos para las áreas operativas. En el último nivel se exponen los lineamientos seguidos para la formulación de los indicadores.

3.3. Establecimiento de Indicadores y Diseño de la Medición

Con base a los lineamientos asociados a los factores críticos de éxito presentados en el Diagrama Causa-Efecto, se procedió al establecimiento de los indicadores de gestión. Se decidió establecer tres tipos

de indicadores de acuerdo a la naturaleza de la información que aportarán:

- **Indicadores de Planeación:** Están referidos al cumplimiento de iniciativas y planes definidos en el nivel táctico del negocio.
- **Indicadores de Control de Proyectos:** Buscan medir la eficiencia de respuesta de las actividades asociadas a los proyectos controlados por la Gerencia y servir de base para la formulación de proyectos a futuro.
- **Indicadores de Desempeño:** Miden la gestión de las áreas funcionales de la Gerencia, es decir, en los Ambientes y Salas de Información Geo-Espacial.

El diseño de la medición consistió en determinar las fuentes de información, formular la métrica, fijar responsables y la frecuencia de medición de los indicadores. En la siguiente figura se destacan los grupos de indicadores así como la jerarquía a seguir en la consolidación de la información. En la tabla #1, se resumen los aspectos más relevantes del sistema de medición.

El sistema propuesto está diseñado para una consolidación vertical, es decir, con la integración de los datos aportados por el Catálogo de Unidades de Labor, el cual es un formato diseñado para recabar toda la información referente a las actividades de los ambientes del AIG, se podrán hacer los cálculos de los indicadores de desempeño, control de proyectos

Estructura del Sistema de Indicadores



y planeación. Dicha información debe ser reportada mensualmente a la Gerencia de Información Geo-Espacial por cada una de las Salas de Geo-Información a nivel nacional.

4. DISEÑO DE LA METODOLOGÍA DE ACTUALIZACIÓN Y PLANIFICACIÓN TECNOLÓGICA M.A.P.T.

Se propone como un plan estratégico que integra la tecnología a la estrategia de negocios de la Gerencia de I.G.. Para su diseño se desarrollaron los siguientes puntos:

- **Identificación de antecedentes e iniciativas de otras organizaciones en el área tecnológica:** Luego de un proceso de investigación y consulta, se determinaron algunas experiencias de otras organizaciones que sirvieron de base para el desarrollo de la M.A.P.T.
- **Evaluación Interna:** Se identificaron las necesidades tecnológicas de la Organización y se clasificaron las tecnologías claves para las operaciones. Para ello se efectuó:
 - La determinación de los requerimientos de tecnología de la Gerencia de I.G.
 - La identificación de las Unidades Estratégicas de Tecnología UET de la Gerencia de I.G..

- **Examen del medio externo:** Se efectuó un Benchmarking para conocer algunas prácticas empleadas por organizaciones que prestan servicios similares a la Gerencia de I.G., así como para identificar nuevas tecnologías geomáticas disponibles en el mercado.

Luego de identificar antecedentes de estrategias tecnológicas en otras organizaciones, evaluar aspectos internos y externos, así como haber analizado la situación actual y las perspectivas de las tecnologías relacionadas con las Unidades Estratégicas de Tecnología de la Gerencia, se procedió a la formulación de la Metodología de Actualización y Planificación Tecnológica.

Debido a que no se identificó un modelo de planificación que cubriera las necesidades tecnológicas tan particulares de la Gerencia de Información Geo-Espacial, y para la correcta traducción de tales requerimientos en estrategias, se efectuó un análisis detallado de las etapas o módulos que debía contener la M.A.P.T.. Dicho proceso se llevó a cabo con el apoyo de la herramienta Workflow Analyzer v4.2®, a través de la aplicación Work Flow Modeler v4.2®, la cual mediante un lenguaje concreto y sistematizado (Metodología y Lenguaje de Definición Integrado

IDEF 0³), permitió el modelado e identificación de las actividades, acciones y decisiones requeridas para ordenar y contemplar todos los aspectos necesarios de la M.A.P.T.. Como producto del análisis del sistema IDEF 0, se determinaron los módulos generales que se enumeran a continuación:

1. Diagnóstico de la Base Tecnológica Instalada.
2. Análisis Preliminar de Infraestructura Tecnológica.
3. Análisis del Entorno y Evaluación de Nuevas Tecnologías.
4. Evaluación de Escenarios.
5. Análisis Costo-Beneficio.

El flujo de las actividades de éstos módulos se ejecutan secuencialmente, es decir, la salida de un módulo o actividad es la entrada a la siguiente. No obstante, si se determina que nivel de detalle del estudio, tipo de evaluación o ausencia de datos no permite o requiere de ciertas actividades, se puede prescindir de la aplicación de algunas de éstas, pasando la evaluación al módulo o actividad siguiente. En otras palabras, el sistema está diseñado con salidas y entradas compatibles con los módulos y actividades subsecuentes.

Seguidamente se presenta el Diagrama de Despliegue de la M.A.P.T. en el cual se aprecian los distintos módulos y actividades que componen el sistema, así como sus entradas y salidas.

5. EVALUACIÓN DE UN CASO DE ESTUDIO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ACTUALIZACIÓN Y PLANIFICACIÓN TECNOLÓGICA M.A.P.T.

Con la finalidad de explicar cómo funcionan los módulos que conforman la M.A.P.T., se desarrolla un caso de estudio, basado en la incorporación de una nueva herramienta en actividades de geoposicionamiento: El equipo COLIBRI (Conjunto Ligero Bifuncional Recolector de Información), el cual es una



Tecnología Base:
GPS Pro-XR

integración de hardware (Computador de Mano + GPS) y software en un solo equipo para la navegación (localización) y captura de geo-información, del cual se dan más detalles a continuación.

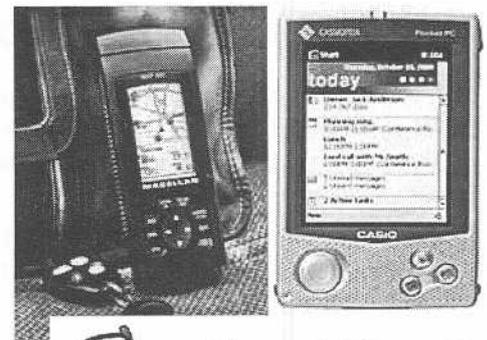
5.1. Reseña del Caso de Estudio

Una de las actividades de geoposicionamiento está representada por la medición de puntos, es decir, la determinación de la ubicación geográfica en coordenadas, de objetos y/o eventos⁴ de interés para el posterior procesamiento e integración de esta información a un SIG.

Durante la realización del *Proyecto de Catastro Físico y Jurídico de Corredores⁵ de Gas Puerto Ordaz - Barquisimeto*, llevado a cabo por la Gerencia de Habilitación de Inmuebles y la Gerencia de Información Geo-Espacial, se realizaron tres campañas de mediciones⁶, con los equipos disponibles para tal fin: *GPS Trimble* modelo *Pro-XR*, que para efectos del caso de estudio se considerarán la *Tecnología Base*.

La aplicación de la M.A.P.T., se efectuó para evaluar el impacto de la incorporación en las actividades de geoposicionamiento de un nuevo equipo: el COLIBRI, el cual representa la *Tecnología Propuesta*. A continuación se presenta una tabla que sintetiza los resultados que arrojó la aplicación de la M.A.P.T.

Tecnología
Propuesta:
GPS Magellan
410,
Computador de
Mano
Cassiopeia
E-125 y
Software
ArcPad de
ESRI.



ArcPad

³ Creado en 1.993 por el National of Standards and Technology (NIST) de Estados Unidos.

⁴ Por ejemplo, un evento puede estar representado por un derrame de petróleo al cual es necesario determinar su superficie, así como su posición geográfica.

⁵ Un Corredor está representado por una franja de terreno de aproximadamente 30 m, sobre la cual están instalados los componentes de un sistema de transporte de gas (gasoductos, ramales, etc.).

⁶ Una campaña de medición se refiere a las actividades que ejecutan los equipos de trabajo de campo, conformados por geodestas, analistas de información y personal de apoyo, para la captura de coordenadas de los objetos de interés (para este caso Corredores de Gas) en la zona geográfica asignada según la planificación del proyecto.

Módulo de la M.A.P.T.	Submódulo de la M.A.P.T.	Resultado de la aplicación
Diagnóstico de Base Tecnológica Instalada. Ambiente / Sala de Información Geo-Espacial.	Inventario	Datos de los usuarios e información técnico-operativa del recurso.
	Evaluación de Recursos	
	Análisis de Utilización del Equipo	El GPS Pro-XR es un Equipo Funcional , debido a que tiene un desfase respecto a la generación de GPS disponibles en el mercado local, es decir, ya que existen nuevos modelos como el GPS Pro-XRS ⁷ con mejores características de funcionalidad, precisión y portabilidad.
	Caracterización de Uso / Usuario	El Usuario del GPS Pro-XR de acuerdo a las características presentadas en la Tabla N° 15, se clasifica como un Usuario Avanzado , ya que requiere de ciertas destrezas y conocimientos para el manejo del equipo.
	Evaluación de Operatividad	El GPS Pro-XR es un Recurso Funcional sin Fallas.
	Análisis de Obsolescencia	Recurso No Obsoleto.
Análisis Preliminar de Infraestructura	No se aplicó porque no se contaba con los datos necesarios para la realización de la Metodología Technology Scanning Matrix así como también para la Proyección de Uso del GPS Pro-XR. La aplicación de la M.A.P.T. continúa en el módulo siguiente (Análisis del entorno).	
Análisis del Entorno: Evaluación	Benchmarking	<ul style="list-style-type: none"> Levantamiento de información acerca de las características y operatividad de recursos disponibles en el mercado que pudieran conformar el COLIBRI. Selección de equipos y software. Pruebas preliminares con el equipo COLIBRI.
Evaluación de Escenarios	Levantamiento del Proceso con Nueva Tecnología	Determinación de variaciones de los tiempos de las actividades de una campaña de geoposicionamiento con la tecnología propuesta (COLIBRI).
	Modelado de Procesos	Modelo del proceso con tecnología actual y tecnología propuesta.
	Simulación de Eventos	<ul style="list-style-type: none"> Validación del modelo dinámico teórico con los datos reales de la campaña de medición de puntos GPS. Determinación del número de corridas para un nivel de confianza del 95%. Resultados de los escenarios para la realización del Análisis Costo-Beneficio.

Resumen de la aplicación de la M.A.P.T. al Caso de Estudio

⁷ Para más detalles visitar la página WEB <http://www.trimble.com>

5.2. Análisis Costo-Beneficio del Caso de Estudio

Para el análisis costo-beneficio se propone en la M.A.P.T. que la comparación se haga en función a las variaciones de producción, tiempos y costos arrojados por la evaluación de escenarios efectuada en la etapa de simulación. Las variaciones registradas se resumen en el siguiente gráfico, en el cual se toma como base del 100% los costos, los tiempos y la producción de la campaña (coordinadas medidas) con la tecnología actual para contrastarlos con el supuesto comportamiento de las actividades con la tecnología propuesta. El gráfico muestra que la tecnología propuesta provee una disminución de 49,64% en los costos totales (operativos y de recursos⁸). El tiempo total de las mediciones del Proyecto de Catastro Físico-Jurídico de Corredores de Gas Puerto Ordaz-Barquisimeto, el cual incluye planificación de la campaña, mediciones y procesamiento de activos de información, presenta una reducción 64,5% respecto al caso base, lo cual se traduce en un incremento en la productividad de las mediciones de 181,66%.

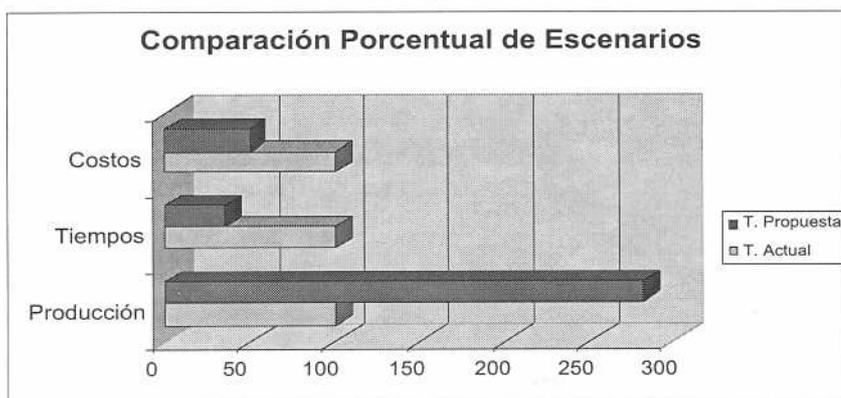


Gráfico de comparación porcentual de los escenarios con tecnología actual y tecnología propuesta para el análisis de sensibilidad

Es igualmente importante destacar el hecho de que las herramientas comparadas (Pro-XR y COLIBRI) tienen sus ventajas y desventajas, las cuales deben ser consideradas al momento de decidir que tipo de equipo usar en función las especificaciones del producto o servicio requerido.

6. CONCLUSIONES

El presente trabajo plantea a la Gerencia de Información Geo-Espacial de PDVSA, estrategias a seguir para mejorar las áreas de *Procesos, Control de Gestión y Tecnología*, mediante un *Sistema de*

Indicadores de Gestión y una Metodología de Actualización y Planificación Tecnológica (M.A.P.T.).

Para satisfacer las necesidades de la Organización y cumplir con los objetivos del estudio, fue necesaria la aplicación de varias metodologías. En primer lugar, con el fin de servir de guía para la formulación de propuestas, se emplearon principios de planificación estratégica tales como *Misión, Visión, Cadena de Valor y Análisis de Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas (Análisis DOFA)*. Luego, para el desarrollo del *Sistema de Indicadores de Gestión*, se requirió de un despliegue vertical de objetivos desde el nivel Corporativo (Objetivos de la Gerencia Corporativa de Logística) hasta el nivel funcional (Ambientes de Información Geo-Espacial), así como también se hizo necesario el conocimiento a detalle de los procesos de la Gerencia de Información Geo-Espacial. El desarrollo de una adaptación al *Diagrama Causa-Efecto de Ishikawa* permitió establecer la relación entre los factores antes mencionados, a partir de los cuales, se identificaron las variables que debían ser

controladas gracias a la medición de los indicadores formulados. Por último, para la propuesta en el área tecnológica, se requirió de una labor de investigación exhaustiva en donde se identificaron *antecedentes e iniciativas de otras organizaciones referentes a la planificación de tecnología*, se *determinaron los requerimientos tecnológicos* de la Gerencia de Información Geo-Espacial y se hizo una evaluación al medio externo mediante un *Benchmarking*. Por último, para la correcta integración de dicha información en una metodología sistemática, se requirió de la aplicación de

técnicas de análisis y modelado de procesos (WorkFlow Modeler v 4.2).

El sistema de medición de gestión propuesto, con un total de 59 indicadores distribuidos en *Planeación, Control de Proyectos y Desempeño*, abarca todas las áreas de la Gerencia de Información Geo-Espacial (ambientes operativos y de apoyo). Se espera, que con su implantación a nivel nacional, aporten la mayor cantidad de información relevante para la toma de decisiones. Es necesario destacar que el éxito del sistema, dependerá en gran medida de la revisión periódica de los indicadores, por lo que se propuso un mecanismo de análisis del sistema, el cual está representado por la Matriz de Evaluación.

⁸ Los costos de recursos están asociados a honorarios profesionales.

El desarrollo del estudio, permitió conocer que planificar en el área tecnológica no es nada sencillo, pero es imprescindible para el desarrollo de Organizaciones que se sustentan en gran medida en ésta, como es el caso de la Gerencia de Información Geo-Espacial. El conocimiento de nuevas tendencias, herramientas o prácticas, así como una base de conocimiento de experiencias pasadas con el desempeño de los recursos tecnológicos, son aspectos fundamentales para la planificación de tecnología. La Metodología M.A.P.T., está diseñada para un seguimiento sistemático de dichos factores.

La realización de un Caso de Estudio, mostró como funciona la M.A.P.T. y a la vez permitió comprobar que además de ser aplicable para el conocimiento del estado de la infraestructura tecnológica y del nivel técnico de los usuarios, también es una herramienta útil para la evaluación del impacto de la incorporación de nuevas tecnologías en las actividades.

En conclusión, la Gerencia de Información Geo-Espacial, cuenta con las bases necesarias para la implantación de las mejoras desarrolladas en el presente Trabajo Especial de Grado, lo cual le permitirá monitorear y evaluar el desempeño en las actividades de geo-información a nivel nacional, mediante el Sistema de Indicadores de Gestión, así como también mantener una plataforma tecnológica (de recursos y humana) adecuada a las necesidades de la Organización gracias a la Metodología de Actualización y Planificación Tecnológica.

7. RECOMENDACIONES

Con base al conocimiento adquirido durante la realización del presente Trabajo, se hacen las siguientes recomendaciones a la Gerencia de información Geo-Espacial:

CONTROL DE GESTIÓN:

- Implantar a nivel nacional el Sistema de Indicadores propuesto, para empezar a generar los datos que permitirán un control de la gestión de las actividades.
- Aplicar periódicamente la Matriz de Evaluación del sistema de indicadores, para determinar la pertinencia de algunos indicadores, sacando aquellos que no aportan información y diseñando otros que garanticen la integridad de la medición.
- Es necesario, inicialmente para generar la disciplina y después la cultura de medición, designar a una persona responsable que capacite

y acompañe al equipo de trabajo en el proceso de establecimiento y puesta en funcionamiento del sistema de indicadores.

- Divulgar los resultados más relevantes del sistema de indicadores, para incentivar la cultura de medición en el personal y asegurar el éxito de dicho sistema.

TECNOLOGÍA:

- Aplicar la Metodología de Planificación y Actualización Tecnológica en los Ambientes y Salas de Información Geo-Espacial para:
- Planificar la dotación de equipos y licencias de los Ambientes y Salas de Geo-Información, para garantizar la capacidad de gestión requerida para cubrir las demandas de producto o servicios.
- Evaluar la incorporación de nuevas tecnologías.
- Registrar los problemas presentados con los recursos para crear una base de conocimiento que permita identificar causas y facilitar las soluciones.

NUEVOS ESTUDIOS:

- Se recomienda tomar el presente trabajo como base para el desarrollo de los siguientes estudios:
- Desarrollo de equipos *COLIBRI* en con precisión submétrica y transmisión de datos en tiempo real. Este estudio tiene como base el caso desarrollado en este Trabajo Especial de Grado, en el cual se identificó como limitación del equipo *COLIBRI* actual su precisión (métrica).
- Desarrollo de Normas de Calidad para actividades de Geo-Información. Se pudo identificar que el país no existen formalmente normas para ésta disciplina. Este estudio debería estar enfocado hacia la revisión de normas internacionales para tomar patrones que permitan el desarrollo de las normas calidad nacionales.

FUENTES CONSULTADAS

BIBLIOGRÁFICAS

- BATTERHAM, Robert. *Geomática en Canadá: Una Perspectiva de la Industria*. Management Consulting In Geomatics Inc. Québec. 1.999.
- BELTRÁN, Jesús. *Indicadores de Gestión: Herramientas para lograr la competitividad*. 3R Editores (Segunda Edición). Santafé de Bogotá. 2000.
- DAVENPORT, Thomas. *Process Innovation: Reengineering Work through Information Technology*. Harvard Business School Press. Boston, 1993.
- DAVENPORT, Thomas y Prusak. *Working Knowledge: How Organizations manage what they know*. Harvard Business School Press. Boston. 1998.
- DAVID, Fred. *La Gerencia Estratégica*. Fondo Editorial Legis. Santafé de Bogotá. 1994.
- FREUND, J. y Walpole R.: *Estadística Matemática con Aplicaciones*. Prentice-Hall Hispanoamericana (Cuarta Edición). México. 1990.
- GUIDE DES SOURCES CANADIENNES SUR LA GÉOMATIQUE. L'Association Canadienne des Entreprises de Géomatique. Québec. 2000.
- HAX A. y Majluf N.: *Estrategias para el Liderazgo Competitivo: De la visión a los resultados*. Granica. Buenos Aires. 1999.
- HERNÁNDEZ, R., Fernández y Baptista. *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill (Segunda Edición). México. 1998.
- MINISTERIO DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO. *Conceptos básicos sobre Sistemas de Información Geográfica y aplicaciones en Latinoamérica*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Santafé de Bogotá. 1998.
- NORMAS PARA LA ELABORACIÓN, PRESENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE TRABAJOS ESPECIALES DE GRADO. Convenio USM-UNESR, Caracas, 1999.
- RODRÍGUEZ, Francisco. *Indicadores de Calidad y Productividad en el Empresa*. Editorial Nuevos Tiempos. Caracas, 1991.
- SENN, James. *Sistemas de Información para la Administración*. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 1990.

TRABAJOS PRESENTADOS EN SEMINARIOS, CONFERENCIAS, CONGRESOS Y EVENTOS SIMILARES.

- ASSOCIATION CANADIENNE DES SCIENCES GEOMATIQUES. *Geomática: Informe Especial*. Québec. 1998.
- BERMÚDEZ Juan, Flint M. Y Galindo L. *Indicadores de Gestión: Una Visión M.C.T.* Lagoven. Amuay 1989.
- FERRER, Julia. *Introducción a los Sistemas de Información Geográfica*. Curso Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica: Aplicaciones en Ciencias de la Tierra. Universidad de Salamanca (España). 1994.
- MATA, Tomás. *Proceso de Gerencia de Tecnología en la Unidad de Negocios Producción*. PDVSA. 1998.
- TRIBUS, Mirón. *Elaboración de Flujogramas de Despliegue*. Grupo Román C.A.. Caracas. 1989.
- UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO. *Guía de Técnicas de Simulación*. Escuela de Ingeniería Industrial.
- VELÁSQUEZ, Maritza, Silva y Carrizo. *Documento Técnico: Cuantificación del Impacto Tecnológico-Financiero de Proyectos*. INTEVEP, S.A.. Los Teques. 1997.
- VÍLCHEZ, José. *Sistemas de Información Geográfica*. Curso de Maestría en Gestión de Recursos Naturales Renovables y Medio Ambiente. Universidad de Los Andes, Centro Interamericano de Desarrollo de Investigación Ambiental y Territorial. Mérida (Venezuela). 1998.

ENTREVISTAS REALIZADAS A EXPERTOS Y SEMINARIOS

- Alessandro Ungredda, Daniel Álvarez (entrevistador). 16/02/01. *Tema: Consulta sobre antecedentes y estrategias para diseñar propuestas en el área tecnológica en la industria petrolera*. Gerencia de Tecnología de Exploración 16/02/2001.
- Sistemas de Información Geográfica aplicados al Catastro de un área local del país, basados en Mapas Digitales de las localidades de San Tomé, El Tigre y El Tigrito. Mancomunidad del Sur

(MANCOSUR) – Geointegra – Softmap –
Embajada de Canadá. Sede PDVSA Los
Chaguaramos. 21/02/2001.

TESIS Y TRABAJOS ESPECIALES DE GRADO

ARCHILA, Maritza. *Medición de Productividad en un ambiente de Desarrollo de Sistemas.* Universidad Metropolitana, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería en Sistemas. Caracas. 1986.

NAPOLITANO, Vicente. *Planificación del proyecto de implantación de una Biblioteca Digital.* Universidad Simón Bolívar, Postgrado en Gerencia Empresarial, Especialización en Gerencia de Proyectos. 1997.

INTERNET

<http://www.Ingeolan.com>

<http://www.geomat-intl.com>

<http://web.mit.edu/sloan/www>: Massachusetts Institute of Technology, Sloan School of Management.

<http://www.sri.com>: SRI International (Antiguamente Stanford Research Institute).

<http://www.arthurdlittle.com/default.htm>: Arthur D'Little.



PROPUESTA DE DISEÑO MECÁNICO Y ANÁLISIS DEL PROCESO PRODUCTIVO DE SILLAS DE RUEDAS BAJO UN ENFOQUE QUE INTEGRE LA INGENIERÍA DE DISEÑO Y LA INGENIERÍA DE MANUFACTURA

La motivación del presente trabajo, es el desarrollo del concepto de una silla de ruedas y el estudio de las diferentes alternativas de manufactura bajo el enfoque de una filosofía que integre la Ingeniería de Diseño y la Ingeniería de Manufactura.

1.1 Definición del producto

Se define *silla de ruedas* al mecanismo que le permite a una persona discapacitada, ya sea de manera temporal o permanente, poder desplazarse de un lugar a otro.

Una silla de ruedas debe tener como objetivo permitir al usuario la máxima funcionalidad, comodidad y movilidad. Para cumplir con este objetivo, la silla debe estar pensada para ajustarse a la persona, no es la persona la que debe amoldarse a su silla.

Las sillas de ruedas se utilizan cuando hay presencia de problemas neuromusculares, lesiones que pueden ser producto de accidentes de tránsito, caídas, enfermedades por accidentes cerebrovasculares, entre otras, que ocasionan una limitación parcial o total de los movimientos corporales.

Al momento de prescribir una silla de ruedas es necesario identificar la patología o el tipo de lesión que presenta el paciente, y conocer los componentes que mejor se adaptan al usuario, con el fin de optimizar su calidad de vida.

- Janeth P. Herrera
- Rubén A. Figueroa

TUTORES ACADÉMICOS:
Henry Gasparin
César Pérez

1.1.1 Selección de la patología del paciente

En el ser humano, la columna vertebral está formada por 33 vértebras: 7 cervicales en el cuello; 12 torácicas o dorsales en la región del tórax, a las que se unen doce pares de costillas; 5 lumbares en la zona baja de la espalda; 5 sacras fusionadas que forman un hueso sólido (conocido como sacro), que encaja como una cuña entre los huesos de la pelvis; y un número variable de vértebras fusionadas por debajo del sacro formando el coxis. [1]

Para el control de las funciones motoras se asignan segmentos medulares, compuestos por determinado número de vértebras, responsables del funcionamiento muscular.

Es de nuestro interés el desarrollo de un modelo de silla de ruedas para uso en exteriores, diseñada con el propósito de atender las necesidades del paciente activo con movilidad total en la parte superior del tronco, que desde el punto de vista médico, presenta una lesión en la columna vertebral, manifestada en los segmentos toracolumbares a partir de la vértebra torácica o dorsal número seis.

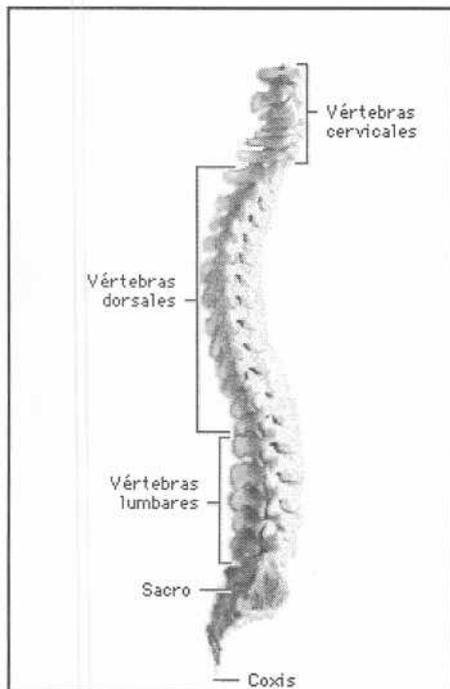


Fig. 1 Clasificación de las Vértebras

1.2 Componentes básicos de una silla de ruedas

Con la finalidad de cumplir con los requerimientos de la patología seleccionada, se analizará el tipo de cuadro, rueda, freno, apoya-pie y apoya-brazo que

mejor se adapten al diseño de una silla de ruedas para uso en exteriores.

Cuadro

El cuadro de una silla de ruedas puede ser rígido (fijo), o plegable. El aprovechamiento de la energía que el usuario aplica para propulsarse es el doble en una silla con cuadro rígido (se aprovecha del 15 al 20% del impulso aplicado), que en una plegable (sólo aprovecha del 5 al 8% del impulso aplicado); esto es debido a que en una silla plegable parte de la energía de propulsión se pierde en el movimiento de su estructura por los puntos de articulación.

Otras ventajas que presenta la silla de ruedas con cuadro rígido, es que resulta fácil de manejar y es algo más ligera que una similar plegable. Sin embargo la silla plegable resulta en general más cómoda de transportar y guardar al ocupar menos espacio plegada, característica fundamental para el normal desenvolvimiento de las actividades del usuario.

Material

La composición del cuadro es un factor clave en la funcionalidad de la silla. El acero es el material más habitual, es el más pesado pero también el más económico. Una silla con estructura de aluminio es mucho más ligera y por lo tanto fácil de propulsar, pero es más costosa. También se pueden encontrar estructuras muy ligeras como titanio, carbono y duraluminio, que se utilizan frecuentemente en sillas de cuadro rígido y tienen un precio muy elevado. Dentro de las alternativas de producción de sillas de ruedas para uso en exteriores consideradas en el presente trabajo, se tomarán en cuenta tanto el acero como el aluminio.

Rueda delantera maciza

El tamaño de las ruedas delanteras puede variar desde los 75 mm hasta 200 mm de diámetro, dependiendo del uso.

Cuanto más pequeña sean las ruedas delanteras, tendrán menor rozamiento y mayor facilidad de giro, siendo adecuadas para interiores. Pueden ir desde los 75 mm hasta los 125 mm de diámetro.

Las ruedas grandes son más recomendables para exteriores y pavimentos accidentados, ya que resulta más fácil salvar obstáculos y no se atascan en el terreno.



Fig. 2 Cuadro rígido

1.1.1 Selección de la patología del paciente

En el ser humano, la columna vertebral está formada por 33 vértebras: 7 cervicales en el cuello; 12 torácicas o dorsales en la región del tórax, a las que se unen doce pares de costillas; 5 lumbares en la zona baja de la espalda; 5 sacras fusionadas que forman un hueso sólido (conocido como sacro), que encaja como una cuña entre los huesos de la pelvis; y un número variable de vértebras fusionadas por debajo del sacro formando el coxis. [1]

Para el control de las funciones motoras se asignan segmentos medulares, compuestos por determinado número de vértebras, responsables del funcionamiento muscular.

Es de nuestro interés el desarrollo de un modelo de silla de ruedas para uso en exteriores, diseñada con el propósito de atender las necesidades del paciente activo con movilidad total en la parte superior del tronco, que desde el punto de vista médico, presenta una lesión en la columna vertebral, manifestada en los segmentos toracolumbares a partir de la vértebra torácica o dorsal número seis.

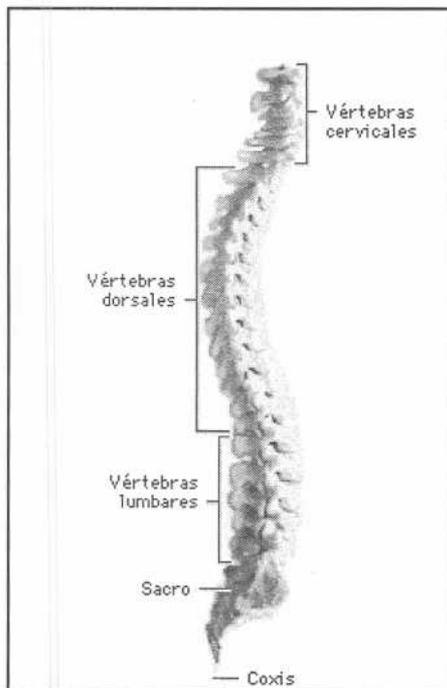


Fig. 1 Clasificación de las Vértebras

1.2 Componentes básicos de una silla de ruedas

Con la finalidad de cumplir con los requerimientos de la patología seleccionada, se analizará el tipo de cuadro, rueda, freno, apoya-pie y apoya-brazo que

mejor se adapten al diseño de una silla de ruedas para uso en exteriores.

Cuadro

El cuadro de una silla de ruedas puede ser rígido (fijo), o plegable. El aprovechamiento de la energía que el usuario aplica para propulsarse es el doble en una silla con cuadro rígido (se aprovecha del 15 al 20% del impulso aplicado), que en una plegable (sólo aprovecha del 5 al 8% del impulso aplicado); esto es debido a que en una silla plegable parte de la energía de propulsión se pierde en el movimiento de su estructura por los puntos de articulación.



Fig. 2 Cuadro rígido

Otras ventajas que presenta la silla de ruedas con cuadro rígido, es que resulta fácil de manejar y es algo más ligera que una similar plegable. Sin embargo la silla plegable resulta en general más cómoda de transportar y guardar al ocupar menos espacio plegada, característica fundamental para el normal desenvolvimiento de las actividades del usuario.

Material

La composición del cuadro es un factor clave en la funcionalidad de la silla. El acero es el material más habitual, es el más pesado pero también el más económico. Una silla con estructura de aluminio es mucho más ligera y por lo tanto fácil de propulsar, pero es más costosa. También se pueden encontrar estructuras muy ligeras como titanio, carbono y duraluminio, que se utilizan frecuentemente en sillas de cuadro rígido y tienen un precio muy elevado. Dentro de las alternativas de producción de sillas de ruedas para uso en exteriores consideradas en el presente trabajo, se tomarán en cuenta tanto el acero como el aluminio.

Rueda delantera maciza

El tamaño de las ruedas delanteras puede variar desde los 75 mm hasta 200 mm de diámetro, dependiendo del uso.

Cuanto más pequeña sean las ruedas delanteras, tendrán menor rozamiento y mayor facilidad de giro, siendo adecuadas para interiores. Pueden ir desde los 75 mm hasta los 125 mm de diámetro.

Las ruedas grandes son más recomendables para exteriores y pavimentos accidentados, ya que resulta más fácil salvar obstáculos y no se atascan en el terreno.

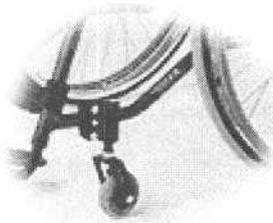


Fig. 3 Rueda 75mm

La opción intermedia para exterior e interior es la rueda de 150mm de diámetro, siendo una de las mejores a la hora de salvar algún obstáculo.

Rueda trasera

La rueda trasera más habitual es la de 600 mm de diámetro (24"). Se utilizan ruedas más pequeñas de 550mm (22") o 500mm (20") en sillas para niños, personas con limitación del movimiento en los hombros o para hemipléjicos. La rueda más pequeña permite aplicar menor esfuerzo para propulsarla, pero también requiere mayor número de impulsos. Las ruedas de 650 mm (26") se utilizan para personas muy altas y deportistas, siendo las de mayor disponibilidad en el mercado venezolano, ventaja que nos lleva a seleccionarla como la mejor opción, ajustando el aro propulsor a la medida adecuada.

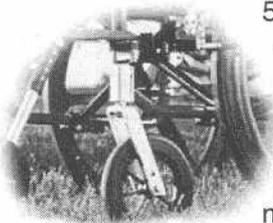


Fig. 4 Rueda 200mm

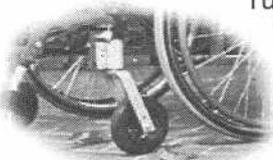


Fig. 5 Rueda 150mm

Caucho

Macizos. ofrecen menor resistencia al rodar, y no requieren mantenimiento, pero son más pesados y de conducción más dura al no amortiguar los accidentes del terreno. No presentan buen agarre en superficies mojadas.

Neumáticos. Son de conducción más cómoda porque amortiguan los accidentes del terreno y presentan un buen agarre en la mayoría de las superficies. Son las más ligeras. Requieren algo más de fuerza para propulsarlas al ser más blandas y necesitan mantenimiento, se pueden pinchar y debe vigilarse la presión de aire para mantener su rendimiento. No obstante existen productos en el mercado, bombas y parches, que pueden solventar esta situación temporalmente.

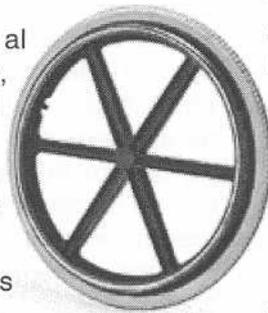


Fig. 6 Rin de plástico

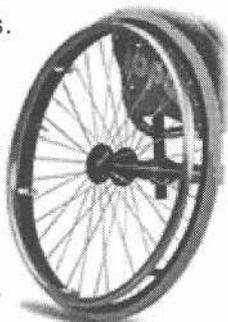


Fig. 7 Rin de rayos de aluminio

Rin

Rin de plástico. apenas requieren mantenimiento, pero pesan más que las ruedas de rayos.

Rin de rayos de aluminio. Resulta más ligero que el de plástico, y absorbe mejor las rugosidades del terreno, siendo ideal para la silla de ruedas de uso en exteriores.



Fig. 8 Aro con proyecciones

Aros propulsores

Pueden ser de aluminio, acero, titanio o recubiertos de plástico. Además del material, existen aros con proyecciones para facilitar el agarre por parte de personas con poca movilidad en las manos.

Aros simples de acero (sin dispositivo alterno para facilitar el desplazamiento) cubren las necesidades de los pacientes con movilidad total en el tronco, son pesados pero resbalan menos y son más económicos.



Fig. 9 Frenos de tijera

Frenos

Frenos de tijera. Se suelen utilizar para sillas muy ligeras o deportivas. Este tipo de frenos pueden ser de montaje alto o montaje bajo (según se fijen en el tubo superior o inferior del cuadro). Estos frenos quedan recogidos por debajo del asiento cuando no se utilizan, por lo que están más protegidos de impactos y no molestan en los traslados a y de la silla de ruedas.

Frenos de tambor. Son frenos que no son activados por el usuario sino por el acompañante. El paciente no está en la capacidad de valerse por sí mismo. Este tipo de freno sirve para reducir la velocidad de la silla cuando esté en marcha.

Frenos con zapata, utilizados en la mayoría de las sillas de ruedas para uso en exteriores. Son de montaje alto (se fijan al tubo que queda por debajo del asiento), y pueden ser de dos tipos, los que se activan empujando hacia delante o tirando hacia atrás.



Fig. 10 Frenos de tambor

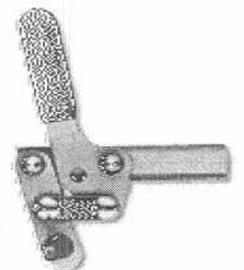


Fig. 11 Frenos con zapata

Apoya-brazos

Pueden ser desmontables o abatibles hacia atrás con distintas longitudes de almohadilla (normal o larga).

Ajustables en altura: la almohadilla puede colocarse en varias alturas para ajustarse a las necesidades del usuario.

De escritoria: con forma que permite el acercamiento a mesas.

Tubulares: pesan menos pero tiene superficie de apoyo inferior.

Para gente activa se suelen eliminar los apoya-brazo y colocar unos protectores laterales para impedir que las ruedas ensucien la ropa.

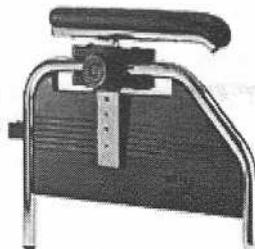


Fig. 12 Apoya-brazos ajustables



Fig. 13 Apoya-pies plataformas

Apoya-pies

Pueden ser fijos o desmontables. Para acortar la longitud de la silla en espacios reducidos como ascensores, es mejor que sean desmontables. Si no hay problemas de espacio es más aconsejable que sean fijos.

Elevables: Elevan el conjunto de la pierna, para adoptar posturas más cómodas. Se utilizan mucho en sillas con respaldo reclinable.

Plataformas: pueden ser dobles o bien una plataforma única (estructura tubular) con o sin cintas taloneras.

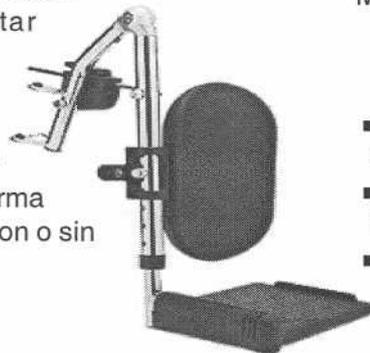


Fig. 14 Apoya-pies elevables

Respaldo

El respaldo podrá ser reclinable o no, alto o bajo, en atención a las posiciones prescritas, eligiendo siempre el que posibilite la apertura posterior. La apertura puede realizarse mediante botones o sierras automáticas ubicados lateralmente, en consideración al lado de mayor posibilidad de movimiento. Respaldares altos se utilizan en pacientes con poca o ninguna movilidad en la parte superior del cuerpo, reservando los respaldares cortos o bajos para personas con control normal del tronco.

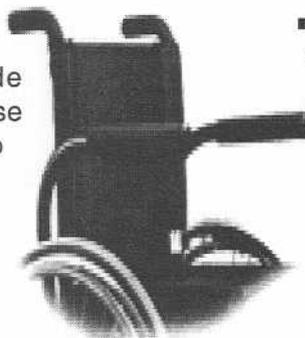


Fig. 15 Respaldo alto

1.3 Selección de componentes de una silla de ruedas para uso en exteriores

- ✓ Plegabilidad del cuadro
- ✓ Ruedas delanteras de 150 mm de diámetro (6")
- ✓ Ruedas traseras de 650 mm de diámetro (26")
- ✓ Cauchos neumáticos
- ✓ Rin de rallos de aluminio
- ✓ Aros propulsores simples
- ✓ Frenos con Zapata
- ✓ Protectores laterales con opción a apoya-brazos ajustables
- ✓ Respaldo corto
- ✓ Apoya pie de estructura tubular

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo General

Propuesta de diseño mecánico y análisis del proceso productivo de sillas de ruedas bajo un enfoque que integre la Ingeniería de Diseño y la Ingeniería de Manufactura.

2.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar la oferta y la demanda nacional de sillas de ruedas.
 - Documentar las diversas filosofías para el desarrollo de productos.
 - Selección de las características de las diferentes filosofías, que mejor se adapten al desarrollo del modelo.
 - Seleccionar el modelo a estudiar.
 - Desarrollo Paramétrico del Modelo.
 - Desarrollo del Análisis Cinemático del Modelo.
 - Desarrollo del Análisis de Elemento Finito del Modelo.
 - Estudiar los requerimientos de materia prima, materiales y equipos para la fabricación.
 - Investigar los procesos de manufactura que se ajusten a estos requerimientos de materia prima, materiales y equipos.
 - Análisis técnico-económico de la alternativa de producción.
- Selección de la alternativa de producción.

Desarrollo del producto

3.1 Identificar la necesidad

En Venezuela el crecimiento urbanístico no ha sido planificado, las ciudades son arquitectónica y socialmente no preparadas para quienes tienen deficiencias motoras. Son pocas las edificaciones que cuentan con la infraestructura adecuada para permitir el fácil acceso de las personas con impedimentos físicos.

Esta condición le impide a la población discapacitada potencialmente activa formar parte de un equipo de trabajo que le proporcione bienestar social, crecimiento personal y estabilidad económica, convirtiéndose en individuos totalmente dependientes de su entorno.

Una alternativa se presenta a la hora de adquirir un silla de ruedas para uso en exteriores, que por sus características de diseño es la que mejor se ajusta a la problemática.

3.2 Definición del problema

El mercado venezolano no ofrece sillas de ruedas para uso en exteriores con precios accesibles a la mayor parte de la población discapacitada. Esto lleva al discapacitado a adquirir modelos económicos de sillas de ruedas que no cumplen con los requisitos básicos para ser usadas en exteriores, limitando su desplazamiento y creando dependencia con el medio que lo rodea.

3.3 Recolección de información:

Un efectivo proceso de diseño considera las características del producto y las necesidades del usuario. Es por tanto imprescindible realizar un estudio de las actividades rutinarias del paciente en silla de

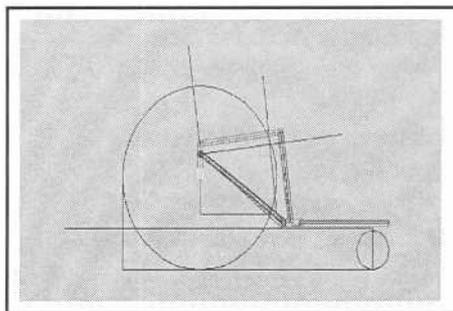


Fig. 16 Idea inicial. Bosquejo

ruedas, con el fin de diseñar un mecanismo que considere las necesidades del usuario y su entorno.

Así como las necesidades del paciente son tomadas en cuenta, es necesario considerar las características Biomecánicas y las medidas

Ergonómicas de la silla de ruedas, con el fin de diseñar un mecanismo que cumpla con los requisitos apropiados para la satisfacción y comodidad del paciente.

3.4 Generación de la idea

A partir de las medidas Ergonómicas y las características Biomecánicas de una silla de ruedas, se inició el desarrollo de un bosquejo que considera una estructura plegable, encargada de soportar el peso del paciente y cuatro ruedas que facilitan el desplazamiento.

3.5 Desarrollo del modelo.

Con la idea inicial en mente, se comienza la fase de Modelado de Sólidos, interactuando con los departamentos encargados del Análisis Dinámico, el Análisis Cinemático y el Análisis Estático Lineal, a fin de lograr un diseño funcional.

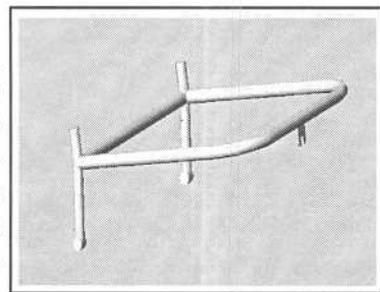


Fig. 17 Elemento Básico. Asiento

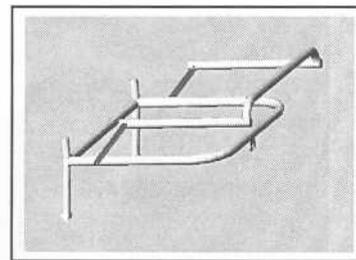
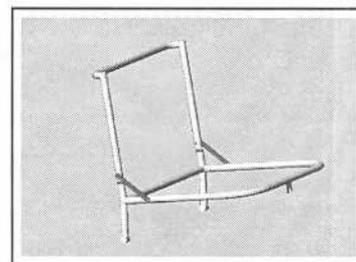


Fig. 18 Elemento básico. Respaldar

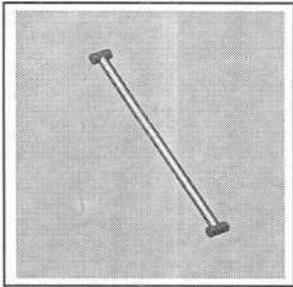


Fig. 19 Elemento básico.
Barra central

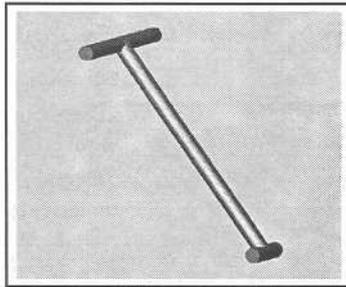


Fig. 20 Elemento básico.
Barra frontal

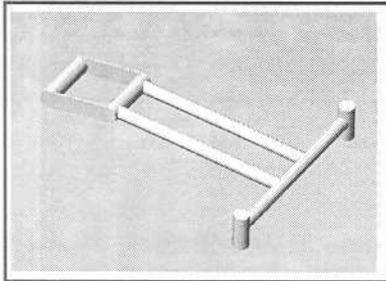


Fig. 21 Elemento básico.
Barra inferior

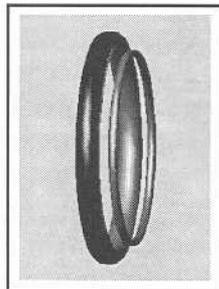


Fig. 22
Elemento básico.
Rueda trasera

3.5.1 Modelado de sólidos (I).

El primer paso a seguir dentro del Modelado de Sólidos es la construcción de los elementos básicos del modelo inicial de la silla de ruedas: el cuadro, la rueda trasera y la rueda delantera, para luego ser ensamblados.

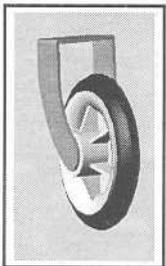


Fig. 23
Elemento básico.
Rueda
delantera

El cuadro: compuesto por el Asiento, el Respaldo, una Barra central, una Barra frontal y una Barra inferior.

- **Asiento:** estructura rígida tubular que considera el soporte para el respaldo y el soporte para el eje de la rueda trasera.
- **Respaldo:** estructura tubular articulada con pernos en ambos laterales del asiento para permitir el plegado.

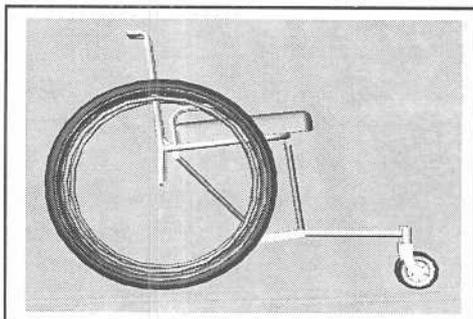


Fig. 24
Primer
modelo para
simulación.
Ensamble de
elementos
básicos

Barra central: encargada de armar la estructura completa. Este elemento se articula en la parte superior con el asiento y en el otro extremo con la barra inferior, permitiendo el plegado.

Barra frontal: articulada a la Barra inferior y sujeta por la parte superior al Asiento, con la finalidad de armar la estructura de la silla.

Barra inferior: constituye el soporte de las ruedas delanteras, se utiliza como apoya-pie y es punto de pivote de la Barra frontal y la Estructura central.

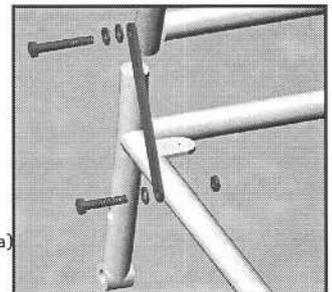
Rueda trasera: Con diámetro de 660 mm (26"), compuesta por el Rin, el Caucho y el Aro propulsor.

Rueda Delantera: Con diámetro de 150 mm (6"), compuesta por el rin, el caucho y la horquilla.

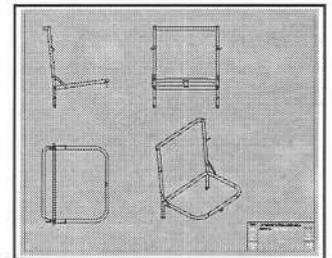
Ensamble: Una vez generadas las piezas básicas se procede a ensamblar el modelo de la silla, con la finalidad de exportarlo al ambiente de simulación, realizar el análisis dinámico y determinar las reacciones generadas en las uniones de las piezas.

Al mismo tiempo se desarrollaron los planos de las piezas modeladas en forma general (sin considerar detalles), así como la lista de materiales y vistas explotadas de cada una de las partes de la silla de ruedas.

Igualmente se modelan a detalle los componentes y accesorios de la silla.

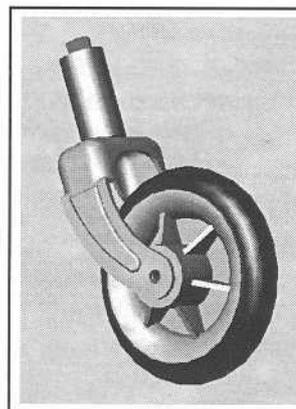


(a)



(b)

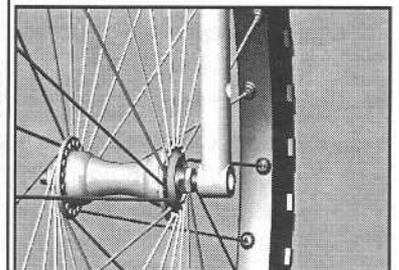
Fig. 25 Estructura Asiento-Respaldo: (a) Vista explotada, (b) Plano.



(a)



(b)



(c)

Fig. 26 Modelo detallado: (a) Horquilla, (b) Eje desmontaje rápido de la rueda trasera, (c) Rueda trasera.

Fi. 27
Distribución
de fuerzas
sobre la
silla de
ruedas

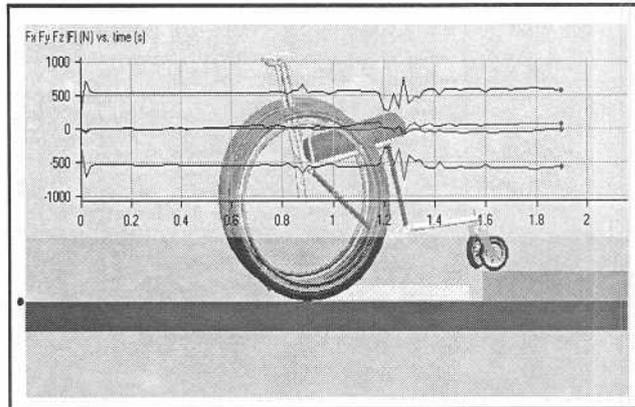
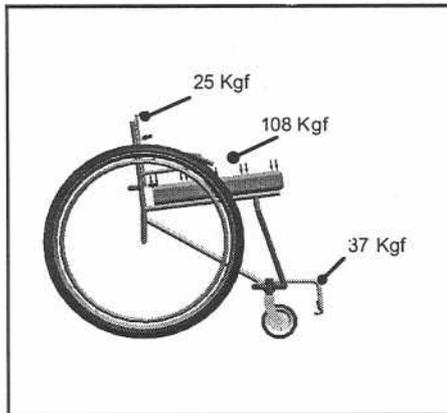


Gráfico 1
Fuerza
resultante
sobre el eje
de la Rueda
trasera
(primera
interacción)

3.5.2 Modelado de sólidos – Análisis Dinámico (Primera interacción)

Para el Análisis Dinámico se creó un escenario que simula el descenso de la silla de ruedas por escalones, con la finalidad de llevar el mecanismo a condiciones extremas y verificar la fuerza resultante en puntos críticos (Eje de la rueda trasera).

En este análisis se consideró un sistema de fuerzas aplicadas sobre la silla de ruedas que representa el peso estándar de un hombre perteneciente al percentil 95% y la fuerza ejercida sobre el aro propulsor que se requiere para lograr el movimiento.

Se utilizó un factor de seguridad de 1.8 asignado al peso de la persona, resultando una fuerza aplicada sobre la silla de 170 Kgf distribuida sobre los puntos de apoyo: Asiento, Respaldo y Apoya-pié. Fig 27

La fuerza resultante obtenida del análisis dinámico sobre el eje de la rueda trasera, se encuentra dentro de los valores esperados. En el estado inicial (antes de bajar el escalón) la fuerza sobre el eje se aproxima al valor de 544 N, permaneciendo cercana a este valor para el intervalo de tiempo $0.02 < t(s) < 1.16$. Justo antes de recibir el impacto de la caída, la fuerza se reduce a su valor mínimo aproximado de 282.76 N ($t=1.26s$), incrementándose hasta el valor máximo aproximado de 775.5 N al momento del impacto ($t=1.28s$). Cuando las ruedas delanteras se mantienen sobre el escalón (Gráfico 1) el valor aproximado de la fuerza sobre el eje permanece cercano a 595 N ($1.38 < t(s) < 1.84$).

El valor máximo de la fuerza sobre el eje se utilizará para realizar un estudio detallado de los esfuerzos que se producen sobre éste (Análisis estático lineal), una vez aplicada la carga máxima resultante.

3.5.3 Modelado de sólidos – Análisis Estático Lineal (Primera interacción)

En esta primera interacción se verifican los esfuerzos combinados sobre los elementos básicos del modelo con el uso de Análisis Estático Lineal. Si el esfuerzo resultante sobre el elemento es menor que el límite de fluencia del material, se aprueba el diseño y se procede al análisis del siguiente. De no ser así, es necesario rediseñar el componente.

El estudio de los esfuerzos se realizó bajo el mismo escenario del Análisis Dinámico. Los resultados que se reportan a continuación, representan el esfuerzo sobre cada elemento en el instante en que toma su valor máximo.

Análisis Estático Lineal. Barra Frontal.

El esfuerzo sobre la barra frontal alcanza un valor máximo de 181.38 MPa, manteniéndose por debajo del límite de fluencia del material.

Cumpliendo con el criterio de diseño se analiza el próximo elemento.

Análisis Estático Lineal. Barra Central.

El esfuerzo sobre la estructura central alcanza un valor máximo de 60 MPa, manteniéndose por debajo del límite de fluencia del material (248 MPa).

Cumpliendo con los requerimientos de diseño se analiza el próximo elemento.

Análisis Estático Lineal. Barra inferior.

El esfuerzo sobre la Barra inferior alcanza un valor máximo de 381.8 MPa, sobrepasando el límite de fluencia del material (248 MPa).

El elemento no cumple con los requerimientos de diseño. Se hace necesario rediseñar el modelo a fin de solventar el problema.

Fig. 28 Análisis
Estático lineal.
Barra Frontal
(Primera
interacción)

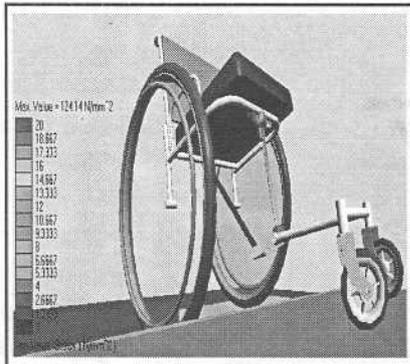


Fig. 29 Análisis
Estático Lineal.
Barra Central
(Primera
interacción)

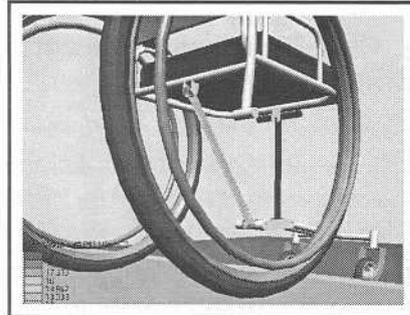
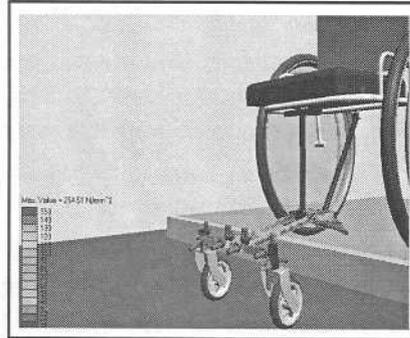


Fig. 30 Análisis
Estático Lineal.
Barra inferior
(Primera
interacción)



A la vez que se analizan los esfuerzos en los componentes de la silla de ruedas, se prepara el escenario que servirá de fondo para el fotorealismo del modelo.

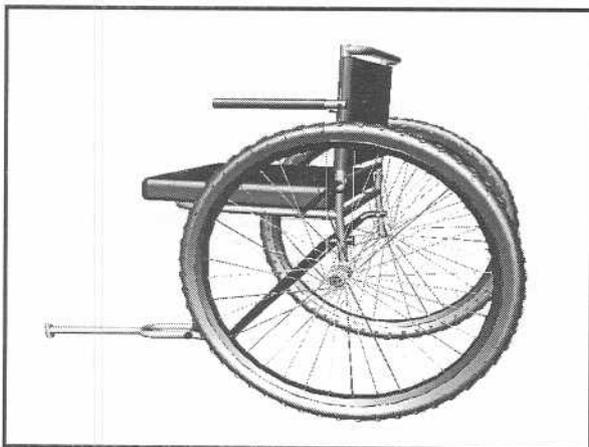


Figura 31. Interacción Modelado de Sólidos - Fotorealismo (I).

3.5.4 Modelado de sólidos (II)

Para solventar el problema de la Barra inferior, se propone reducir la distancia entre el Eje de la rueda delantera y el Eje de la rueda trasera. Este cambio origina modificaciones en cadena que afectan a la Barra central y a la Barra frontal, eliminando la Barra inferior del modelo original.

Las modificaciones se realizan sobre el modelo paramétrico original, obteniendo en poco tiempo la estructura básica del nuevo modelo que servirá una vez más para verificar las fuerzas y esfuerzos sobre la estructura. El asiento y las ruedas no sufren modificaciones.

Modificaciones en el diseño:

- Barra frontal: articulada por la parte superior al Asiento y por la parte inferior a la barra soporte de los Apoya-pie. Considera el soporte del eje para las ruedas delanteras.
- Barra Central: Articulada en la parte superior al Asiento, se conecta a la Barra frontal y arma el cuadro de la silla.
- Ensemble: Una vez generadas las piezas básicas del nuevo modelo se ensamblan, con la finalidad de exportarlo nuevamente al ambiente de simulación, realizar el análisis dinámico y determinar las reacciones generadas en las uniones de las piezas.

3.5.5 Modelado de sólidos - Análisis Dinámico (Segunda interacción)

Con los resultados del Modelado de Sólido se estudia la Dinámica del modelo rediseñado.

La fuerza resultante obtenida del análisis dinámico sobre el eje de la rueda trasera, se encuentra dentro de los valores esperados. En el estado inicial (antes de bajar el escalón) la fuerza sobre el eje se aproxima al valor de 431 N, permaneciendo cercana a este valor para el intervalo de tiempo $0.16 < t \text{ (s)} < 3.11$. Justo antes de recibir el impacto de la caída, la fuerza se reduce a su valor mínimo aproximado de 140.08 N ($t=3.13\text{s}$), incrementándose hasta el valor máximo aproximado de 1059.48 N al momento del impacto ($t=3.17\text{s}$). Cuando las ruedas delanteras se mantienen sobre el escalón, (Gráfico 2) el valor aproximado de la fuerza sobre el eje permanece cercano a 4960.05 N ($3.19 < t \text{ (s)} < 3.87$).

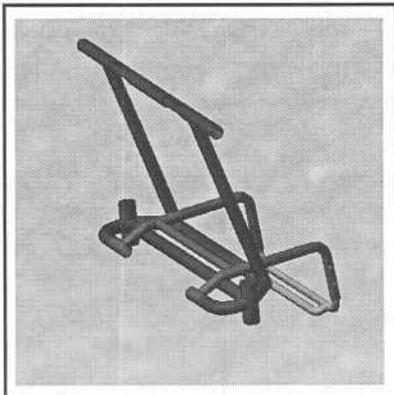


Figura 32. Elemento Básico. Barra frontal, Apoya-pies. Rediseño

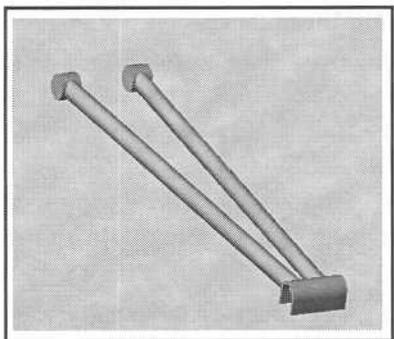


Figura 33. Elemento Básico Barra central. Rediseño

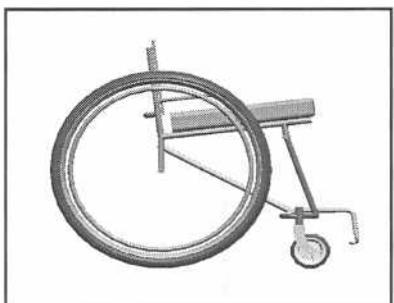


Figura 34. Segundo modelo para simulación. Ensamble de elementos básicos.

La fuerza resultante obtenida del análisis dinámico sobre el eje de la rueda delantera, se encuentra dentro de los valores esperados. En el estado inicial (antes de bajar el escalón) la fuerza sobre el eje se aproxima al valor de 520 N, permaneciendo cercana a este valor para el intervalo de tiempo $0.02 < t (s) < 0.94$. Justo antes de recibir el impacto de la caída, la fuerza se reduce a su valor mínimo aproximado de 229.37 N ($t=1.02s$), incrementándose hasta el valor aproximado de 1233.06 N al momento del impacto ($t=1.08s$). Es importante señalar que en el segundo impacto la fuerza se incrementa a 1306.27 N, considerando este valor como la fuerza máxima sobre el eje de la rueda delantera.

3.5.6 Modelado de sólidos – Análisis Estático Lineal (Segunda interacción)

En esta etapa se debe verificar que los elementos básicos del nuevo modelo cumplan con los requerimientos de diseño.

Análisis Estático Lineal. Barra Central

El esfuerzo sobre la Barra central alcanza un valor máximo aproximado de 105.15 MPa, permaneciendo por debajo del límite de fluencia del material (248 MPa).

Cumpliendo con los requerimientos de diseño se analiza el próximo elemento.

Análisis Estático Lineal. Barra Frontal

El esfuerzo sobre el Asiento alcanza un valor máximo aproximado de 195 MPa, permaneciendo por debajo del límite de fluencia del material (248 MPa).

Cumpliendo con los requerimientos de diseño se analiza el próximo elemento.

Análisis Estático Lineal. Asiento.

El esfuerzo sobre el Asiento alcanza un valor máximo aproximado de 219 MPa, permaneciendo por debajo del límite de fluencia del material (248 MPa).

Cumpliendo con los requerimientos de diseño se analiza el próximo elemento.

Análisis Estático Lineal. Horquilla.

El esfuerzo sobre la Horquilla alcanza un valor máximo aproximado de 109.35 MPa, permaneciendo por debajo del límite de fluencia del material (248 MPa).

Los elementos básicos del nuevo modelo aprueban el Análisis Estático Lineal. Inmediatamente se ordena la construcción del prototipo físico que se utilizará en la fase de prueba y se procede al análisis detallado de los componentes adquiridos (Eje ueda delantera, Eje rueda trasera, Soporte eje rueda delantera, Soporte eje rueda trasera.) con el fin de verificar su funcionalidad dentro del diseño propuesto.

Análisis Estático Lineal. Eje rueda trasera.

El diámetro mayor del eje es de 13 mm, con un espesor de pared de 2.5 mm. Contiene un mecanismo interno que permite el desmontaje del eje, a fin de retirar las ruedas del cuadro y completar el plegado.

El esfuerzo sobre el eje de la rueda trasera, producto de una carga máxima aplicada de 1059,48 N, alcanza un valor máximo aproximado de 176 MPa, permaneciendo por debajo del límite de fluencia del material (345 Mpa).

Análisis Estático Lineal. Soporte eje rueda trasera.

El esfuerzo sobre el eje de la Rueda trasera, de 53 mm de largo y 3 mm de espesor de pared, alcanza un valor máximo aproximado de 67.8 MPa, permaneciendo por debajo del límite de fluencia del material (235 Mpa).

Análisis Estático Lineal. Eje rueda delantera.

Un tornillo de 8 mm de diámetro y 65 mm de largo sirve de eje en la Rueda delantera.

El esfuerzo sobre este eje, producto de una carga máxima aplicada de 1306 N, alcanza un valor máximo aproximado de 152 MPa, permaneciendo por debajo del límite de fluencia del material (275 MPa).

Análisis Estático Lineal. Soporte eje rueda delantera.

El esfuerzo sobre el Soporte de la rueda delantera, de 32 mm de diámetro, un espesor de pared de 2 mm en la zona de los rodamientos y 3mm en la zona central, alcanza un valor máximo aproximado de 151 MPa, permaneciendo por debajo del límite de fluencia del material (235 MPa).

De esta forma se corrobora la funcionalidad de los elementos adquiridos, dentro del modelo de silla de ruedas que se propone.

3.6 Cinemática del plegado.

El análisis de cinemática se realizó con el propósito de estudiar el plegado de la silla, la interferencia de los componentes en el plegado y el espacio que ocupa luego de ser plegada. Para completar el plegado se retiran las ruedas del cuadro.

Del análisis se encuentra que la silla pliega sin ningún problema, no existen interferencias entre los elementos que la componen y ocupa un espacio de 45 cm de ancho x 50 cm de largo x 25 cm de alto, lo que resulta un volumen de 0.0562 m³.

3.6.1 Interacción Modelado de Sólidos – Foto realismo (II)

Aprovechando el ambiente creado en el modelo inicial se desarrolla el foto realismo del segundo modelo, obteniendo un prototipo virtual que contiene toda la información necesaria para el análisis y producción del modelo además de recrear el acabado final del producto.

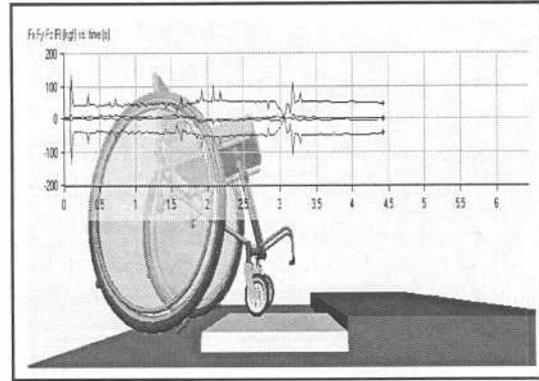


Gráfico 2: Fuerza resultante sobre el eje de la Rueda trasera. (Segunda interacción)

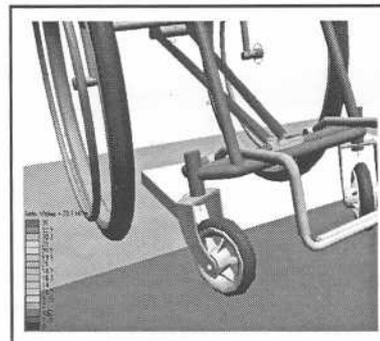


Figura 35. Análisis Estático Lineal. Barra Central. (Segunda interacción)

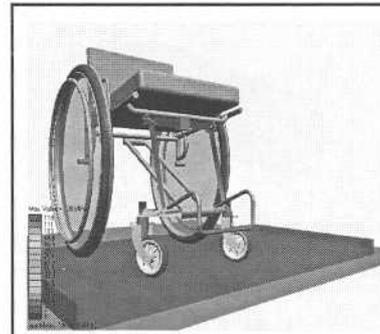


Figura 36. Análisis Estático Lineal. Barra frontal. (Segunda Interacción)

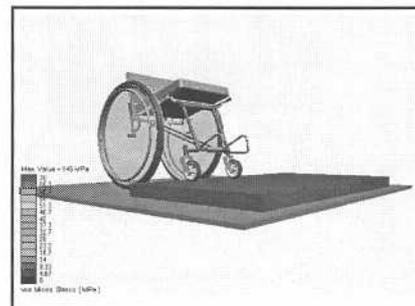


Figura 37. Análisis Estático Lineal. Asiento (Segunda interacción)

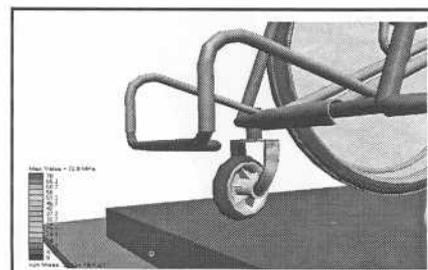


Figura 38. Análisis Estático Lineal. Horquilla. (Segunda interacción)

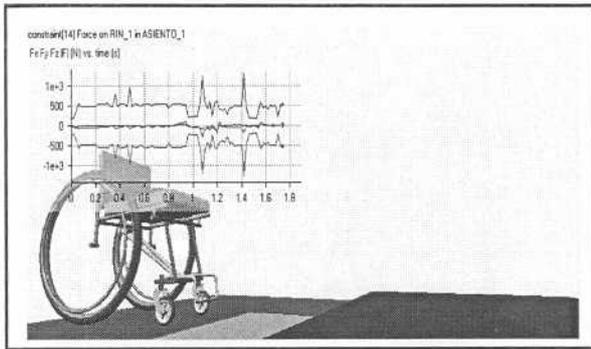


Gráfico 3: Fuerza resultante sobre el eje de la Rueda delantera. (Segunda interacción)

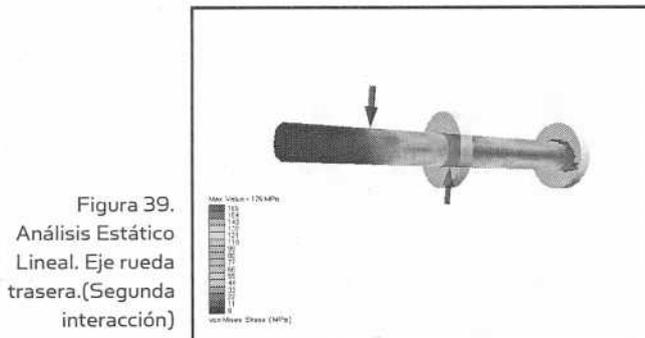


Figura 39. Análisis Estático Lineal. Eje rueda trasera. (Segunda interacción)

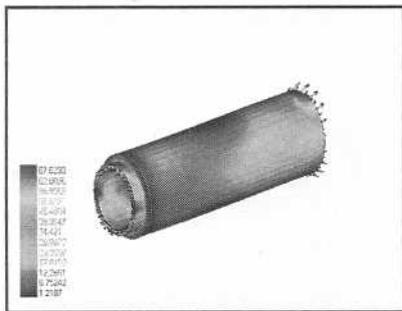


Figura 40. Análisis Estático Lineal. Soporte eje rueda trasera. (segundas interacción)

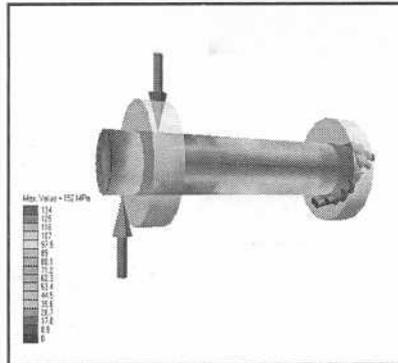


Figura 41. Análisis Estático Lineal. Eje rueda delantera. (Segunda interacción)

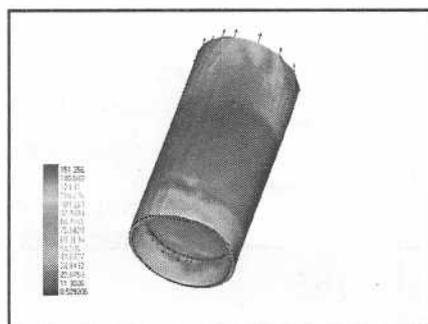


Figura 42. Análisis Estático Lineal. Soporte eje rueda delantera. (Segunda interacción)

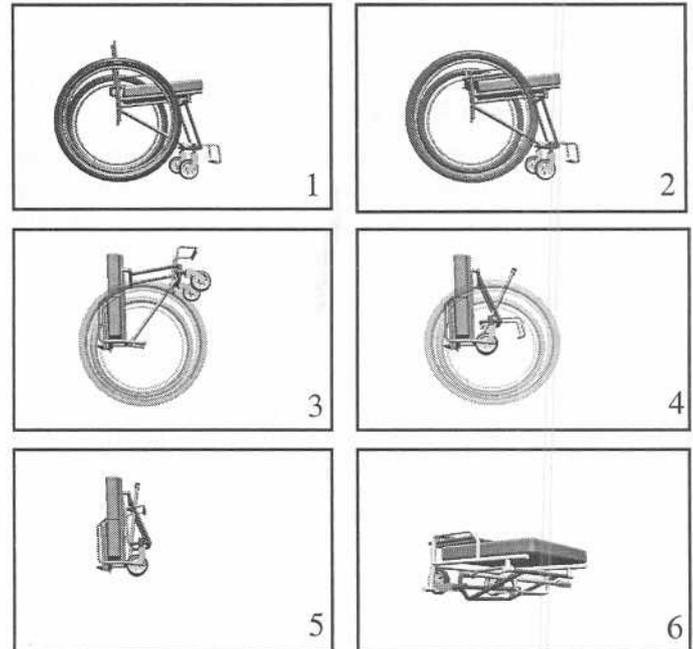


Figura 43. Cinemática de plegado

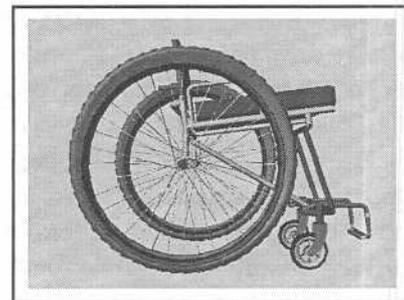


Fig 44. Interacción modelado de Sólidos – Foto realismo (II)

3.7 Tolerancia

Con la finalidad de determinar las dimensiones límite de los componentes de la silla de ruedas y corroborar si el sistema de producción que se propone es capaz de cumplirlo, se le asigna a cada componente el margen de tolerancia recomendado por la Norma DIN 7168 (Discrepancias admisibles) para longitudes y ángulos, asumiendo un grado de exactitud medio.

3.8 Construcción del prototipo

La construcción del prototipo ratificó la estabilidad del modelo, la plegabilidad de sus componentes y la factibilidad de manufactura, cumpliendo con la última etapa del proceso del diseño para manufactura.



Fig.45 Prototipo

3.9 Especificaciones del diseño final.

La siguiente tabla reporta las dimensiones finales del modelo y el peso total de la silla. El diseño cumple con las dimensiones globales establecidas por la Norma Venezolana COVENIN 2906-92 (ISO 7193-85).

Tabla 1. Medidas finales de la Silla de ruedas.

Silla de ruedas para uso en exteriores	
Dimensión	cm
 Ancho del asiento	43
 Ancho de la silla	67
 Distancia eje rueda trasera- cuadrante de la rueda trasera	75
 Largo de la silla	98
 Alto del respaldar	39
 Alto de la silla	93
 Largo del asiento	43
 Peso de la silla (kgf)	16.5

3.10 Diseño para Manufactura

A continuación se describe la evolución del respaldar bajo el enfoque de Diseño para Manufactura.

Para hacer funcional la idea inicial del respaldar se requería de dos barras pivote en los laterales del asiento, fijadas por 3 pernos en cada extremo y pivotantes en la parte inferior.

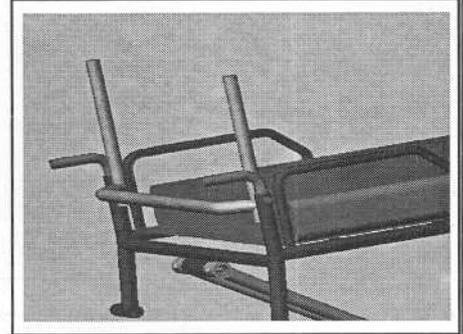


Fig.46 Tercer rediseño. Respaldar

A éste se le sumaban 2 pernos más, encargados de sostener los Apoya-brazos y una barra central con la función de armar la estructura.

Desde el punto de vista de manufactura, se pensó en reducir los 8 pernos de la estructura, así como las 16 perforaciones que se requerían.

Con el objetivo en mente, el departamento de diseño ideó un punto de soporte natural bajo el asiento, eliminando las barras laterales del modelo anterior y conservando 2 pernos que facilitan el plegado del respaldar.

En esta fase se diseñan los seguros posteriores, que impiden que el respaldar salga de posición, cuando se ayuda al paciente a salvar un obstáculo en la vía.

Este modelo de respaldar cuenta con 4 dobleces, 2 en la parte superior y 2 en la parte inferior, 2 pernos laterales sujetos al asiento, 4 pernos posteriores que sostienen el seguro, 10 perforaciones, además de la barra central que une la estructura del respaldar.

El departamento de Manufactura plantea la posibilidad de reducir ahora el número de dobleces que se necesitan en este modelo.

Para lograrlo se diseña un tope natural que no requiere del doblez del modelo anterior. Soldado al tubo del respaldar, una pletina en forma de L topa con el tubo del Asiento, manteniendo el respaldar en el ángulo requerido.

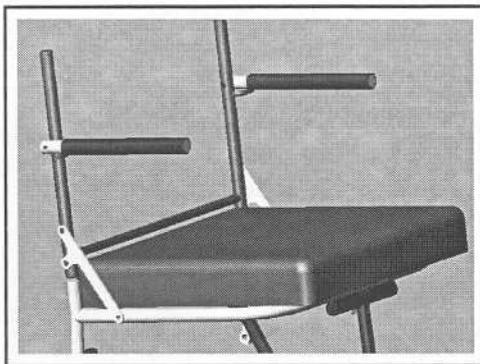


Fig.47 Idea Inicial.
Respaldar

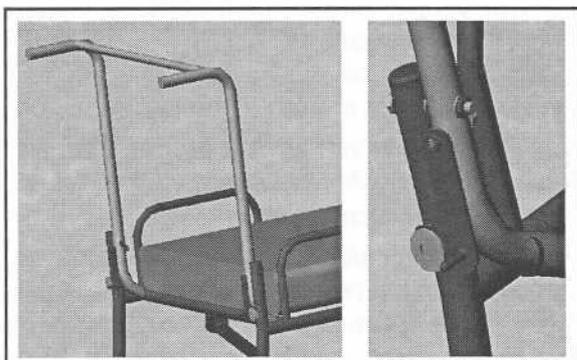


Fig.48
Primer
rediseño.
Respaldar

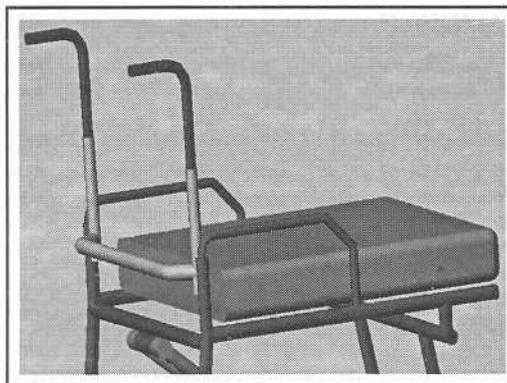


Fig.49
Segundo
rediseño.
Respaldar

Por último el departamento de Manufactura le propone el reto al departamento de Diseño, de disminuir aún mas el número de piezas, pernos y perforaciones que se requieren.

Como resultado se tiene un modelo de respaldo que cuenta solo con 2 pernos, 4 perforaciones y dos dobleces, considerando un tope natural contra el asiento.

Los manubrios se colocaron en la parte baja del asiento, cumpliendo con dos funciones: 1) Ayudar al paciente a salvar algún obstáculo y 2) reforzar el tubo que sostiene el perno lateral.

Bajo este concepto ya no se requiere el seguro posterior.

El resto de los componentes de la silla de ruedas se trabajó bajo el mismo enfoque, obteniendo los resultados que se reflejan en el prototipo final.

CONCLUSIONES

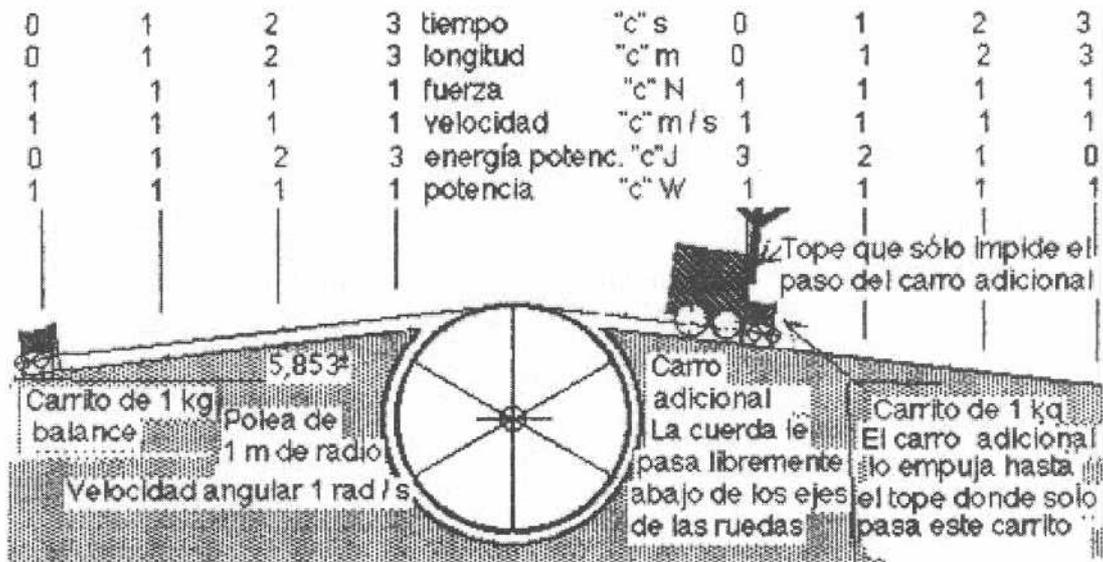
- 1 De las filosofías investigadas, la Ingeniería Concurrente es la que mejor se adapta a los requerimientos de la producción de sillas de ruedas, integrando el desarrollo del producto bajo la metodología de *Diseño para Manufactura*, sin la necesidad de un alto nivel tecnológico y el manejo de un elevado volumen de información.
- 2 La elaboración de productos alternos del mismo ramo, bastones médicos, muletas, andaderas, camas clínicas, barandas para camas clínicas, representan una alternativa a la hora de aumentar el porcentaje de utilización de las máquinas y diversificar la cartera de producto de la empresa.
- 3 La silla de ruedas para uso en exteriores le brinda al discapacitado potencialmente activo (con movilidad total en la parte superior del tronco) la oportunidad de formar parte de un equipo de trabajo que le proporcione bienestar social, crecimiento personal y estabilidad económica.
- 4 El modelo que se propone cumple con los requerimientos de una silla de ruedas para uso en exteriores: plegabilidad, estabilidad, apoya-pies desmontables y apoyabrazos bajos, convirtiéndose en un mecanismo que le permite a la persona discapacitada poder desplazarse de un lugar a otro.
- 5 El desarrollo concurrente del modelo de la silla de ruedas, bajo un enfoque que integra el Diseño y la Manufactura, permite detectar errores de diseño en etapas tempranas, minimizar el número de partes y simplificar el diseño
- 6 El precio de venta en fábrica es de 185.022,00 Bs., recuperando la inversión en un periodo aproximado de 7 meses, con un volumen de producción de 595 sillas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Enciclopedia Microsoft Encarta 2000
- [2] PARRA, J., *Guía de Anatomía Dinámica y Funcional del sistema nervioso y órganos de los sentidos*
- [3] PALACIOS, L., *Principios esenciales para realizar proyectos*, 2^{da} Edición. Publicaciones Universidad Católica Andrés Bello, 2000
- [4] BACA, G., *Evaluación de Proyectos*, 3^a Edición. Editorial Mc Graw Hill, 1995
- [5] GROOVER, M., *Fundamentos de Manufactura Moderna*, Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., 1997



MÁQUINA DE CARLOS AGUERREVERE



Aunque la concepción de mi máquina sigue siendo la misma que George Atwood inventó, aspiro a que me la califiquen como invento porque en mi investigación le capté méritos extras que debió haber tenido y la transformé para que pueda tener esos méritos. *También aspiro a que recomienden difundir mi máquina, por ser una ayuda pedagógica para la comprensión del Sistema Internacional de Unidades.*

■ Ing. Carlos Aguerrevere Ruiz

OBJETIVO

Aspiro a que se me califique como invento el Trabajo de Investigación que he hecho sobre la filosofía en la cual se fundamentan los sistemas de unidades, lo cual me encauzó a concebir una Máquina inspirada en la Máquina de Atwood, a la cual la considero que se le puede calificar como el Equipo Modelo para ayudar en la comprensión del Sistema Internacional de Unidades (SI).

Aspiro a que en el veredicto de mi Trabajo de Investigación se recomiende **difundirlo**, de tal forma que todos los Laboratorios de Enseñanza de Física que lo deseen puedan disponer de máquinas construidas libremente de acuerdo con las figuras de este trabajo de investigación. *Todo esto es con el OBJETIVO de facilitarle al público la comprensión de los conceptos de las unidades del SI y la comprensión de la interrelación física que existe entre las unidades.*

Toda la argumentación que presento en este trabajo de investigación se deriva del refrán: "Al que a buen árbol se arrima buena sombra lo cobija".

PRÓLOGO

Considero que mi Trabajo de Investigación es muy **ORIGINAL Y NOVEDOSO**. Por lo tanto debo relacionar desde este Prólogo dos puntos que considero pueden resultar ser controversiales:

El primer punto que puede resultar ser controversial es el trabajo en sí mismo, porque presento **mi opinión** de que al SI le vendría bien anexarle una Máquina de mi invención que reafirma en forma física la coherencia abstracta que existe entre sus unidades.

Estoy en total conocimiento de que **el SI no tiene ninguna Máquina Especial, y además estoy en conocimiento de que nadie había osado "desvirtuar" la naturaleza abstracta del SI proponiendo anexarle una máquina.**

La palabra **desvirtuar** la he escrito entre comillas porque mi posición es que solamente estoy presentando algo **DISTINTO A LO TRADICIONALMENTE ESTABLECIDO**, pero a lo que lo considero que es, **ADEMÁS DE COMPATIBLE CON LO ESTABLECIDO**, una ayuda pedagógica para la comprensión de los conceptos de las unidades, lo cual a la vez produce la comprensión de la sistematización que existen entre ellas, determinada por las Leyes de la Física.

Esta posición la baso en que considero que una cosa es la **comprensión** de los conceptos de las unidades y otra cosa es la **pasión** por la precisión en sus medidas. Con mi máquina se **comprenden** adecuadamente los conceptos de las unidades, **y todo queda compatible con el hecho de que para precisar a los conceptos haya que remitirse a los documentos tradicionales.**

La "herramienta" que sistemáticamente uso en mi exposición es la de las aproximaciones asintóticas. Esto me permite concentrar la atención en la filosofía relacionada con los conceptos de las unidades **sin que hayan muchas distracciones relacionadas con cálculos precisos.** La precisión numérica es imprescindible en la mayoría de otros documentos, pero considero que para el presente Trabajo de Investigación se puede obviar.

Resumiendo todo lo que he expresado, quiero reafirmar que a la **unión física** que con mi máquina produzco entre las unidades, considero que no quede reñida con la **unión de carácter solamente lógico** que aparece en los documentos tradicionales; y como lo **concreto** es siempre mucho más fácil de comprender que lo **abstracto**, creo que he producido un documento pedagógico que resultará del aprecio del público.

El otro punto que puede resultar ser controversial en este Trabajo de Investigación es mi explicación del porqué todos los cuerpos caen con la misma aceleración. Espero que a mi argumentación para este otro punto también se la califique como aceptable, en ella expreso **mi opinión** de que el equilibrio acelerado de D'Alembert no solamente es algo matemático sino que además es un hecho físico. Debo señalar que **no** estoy de acuerdo con lo que se suele hacer de calificar a la fuerza de inercia como una **fuerza "ficticia"**. Yo considero que la fuerza de inercia es realmente una **fuerza FÍSICA, y precisamente al considerar que esta fuerza es real es que derivo mi explicación del por qué todos los cuerpos caen con la misma aceleración.**

De acuerdo con las reglas establecidas para procurar ser novedoso, acepto que podría suceder que cuando se examine mi argumentación sobre la caída de los cuerpos no se le encuentre aceptable. Por lo tanto, en ese supuesto caso ruego consideren que el **enquadre** de mi argumentación, con el cual propongo mi máquina, sigue siendo probablemente adecuado, porque después de todo, el argumento de la caída con la misma aceleración que tienen todos los cuerpos, es un hecho experimental. Por lo tanto, sólo

en el texto de este trabajo sostengo mi idea de lo citado en este punto, pero cuando presento la conclusión en lo relacionado con mi máquina no expongo más comentarios sobre la caída de los cuerpos.

RESUMEN

Creo demostrar que la Máquina que George Atwood inventó en 1784 DEBIO HABER SIDO el Equipo Modelo para ayudar en la comprensión de un Sistema Mundial Perfecto de Unidades. Propongo que por las circunstancias a una máquina que he concebido inspirándome en la Máquina de Atwood, que la llamo la MAQUINA DE CARLOS AGUERREVERE, se la califique como el Equipo Modelo para ayudar en la comprensión del Sistema Internacional de Unidades (SI).

Esta proposición sólo la puedo sustentar con lo que espero podrán calificar como un muy buen gusto, lo cual no es un argumento científico. Pero como los asuntos científicos son también los asuntos humanos, donde el buen gusto es muy importante, me permito solicitar la consideración de la idea que presento en este Trabajo de Investigación, que creo se me podrá calificar como invento.

El caso es que dentro del criterio del SI está la coherencia matemática de sus unidades, esto es que según se sintetizan los conceptos y por tanto sus unidades de medida agrupándose de acuerdo con las leyes de la Física, siempre lo hacen con cantidades unitarias de las unidades que participan. Pero el punto es que sólo se tiene coherencia matemática y por lo tanto abstracta de sus unidades, y pienso que puede ser del gusto de la comunidad humana el tenerse (sólo para los efectos de la comprensión de los conceptos) el caso particular de la máquina que sea la más sencilla que reafirme que la coherencia matemática viene de la coherencia física, e incluso pienso que se calificará como feliz idea el que la máquina que propongo particularmente funciona con cantidades unitarias de las unidades del SI.

En el texto hago ver que la máquina que en principio cumpliría con el propósito de este Trabajo de investigación es la Máquina de Atwood, pero explico la circunstancia por la cual esta Máquina no se puede aplicar para el gusto particular de que se puedan encajar las unidades del SI.

Oportunamente detallaré que la razón por la cual la Máquina de Atwood no se puede aplicar para sintetizar las unidades del SI **es que la concepción**

de este sistema es solamente inercial. Si a los humanos se nos hubiese ocurrido tener un sistema de unidades que sea inercial (como es el SI) **pero que a la vez tenga una coincidencia gravitacional** (particularmente en el Campo Gravitacional Estándar), se tendría que las unidades más notables de la Disciplina Mecánica de la Física encajarían perfectamente bien en la Máquina de Atwood. Se tendría lo que se podría llamar el Sistema **Perfecto** de Unidades, el cual tendría añadido, sólo para los efectos pedagógicos, un Equipo Modelo que reafirme que se tiene un sistema físico de unidades.

Para cumplir con el objetivo de que se tenga una máquina que funcione con cantidades unitarias de las unidades del SI, tomé el concepto de la Máquina de Atwood y luego lo **transformé** para desarrollar una máquina que por las circunstancias es **un poco complicada**, pero tiene la particularidad de que la componente activa del Campo Gravitacional Estándar es unitaria. **Por lo tanto, en forma artificiosa logro que el SI tenga una coincidencia gravitacional.**

Ahora es conveniente comentar que relacionado con el tema de las unidades se tienen dos tipos de problemas. El menos grave de los problemas es que no se tenga sólo una unidad para cada concepto, por ejemplo, para medir el concepto de longitud se tiene el metro, al pie y muchas más unidades (esto sólo origina problemas principalmente comerciales que no son el tema de este ensayo). **El más grave de los problemas es que hay varias formas de sistematizar a las unidades, lo cual determina que las ecuaciones de la Física suelen ser distintas según el sistema con el cual se las conciba.**

Básicamente sólo se han concebido cuatro sistemas de unidades que hayan tenido gran aceptación. Ninguno es perfecto pero en todos se logran hacer maniobras para que se tenga gran alcance en el estudio de la Física.

Los sistemas de unidades se pueden agrupar en gravitacionales, donde a la unidad de fuerza se la concibe como la que sostiene a la unidad de masa, e inerciales donde a la unidad de fuerza se la concibe como la que acelera a la unidad de masa. Dentro de los sistemas inerciales también se tiene la clasificación de sistemas coherentes y sistemas no coherentes.

Para lograr la compatibilidad entre los sistemas inerciales del tipo coherente y los sistemas gravitacionales, baso la argumentación en el fenómeno de la caída de los cuerpos. Para esto presento experimentos con las explicaciones del caso por medio de los cuales **se comprende por qué du-**

rante la caída de los cuerpos son iguales en magnitud pero opuestas en sentido la fuerza gravitacional y la fuerza inercial que participan en el fenómeno.

Para la argumentación de este Trabajo de Investigación es muy importante destacar que para el común de los humanos la mejor de las fuerzas es la fuerza gravitacional. Se debe hacer el contraste de indicar que el fundamento de la fuerza inercial es la aceleración, pero ¡quién de buenas a primeras puede pensar bien sobre objetos acelerados!; mientras que

en el ámbito común humano muchas veces a la fuerza gravitacional se la puede considerar como una constante correspondiente a la unidad de masa que se seleccione.

La Máquina que propongo **funciona** conciliando la concepción inercial del Sistema Internacional de Unidades con la concepción gravitacional que tiene el Sistema Ingenieril de Unidades.

El mérito final de mi Máquina es reafirmar que el SI es un sistema de unidades **y no una simple yuxtaposición de unidades.**

INTRODUCCION

DESCRIPCION Y COMENTARIOS DE LA MAQUINA DE ATWOOD

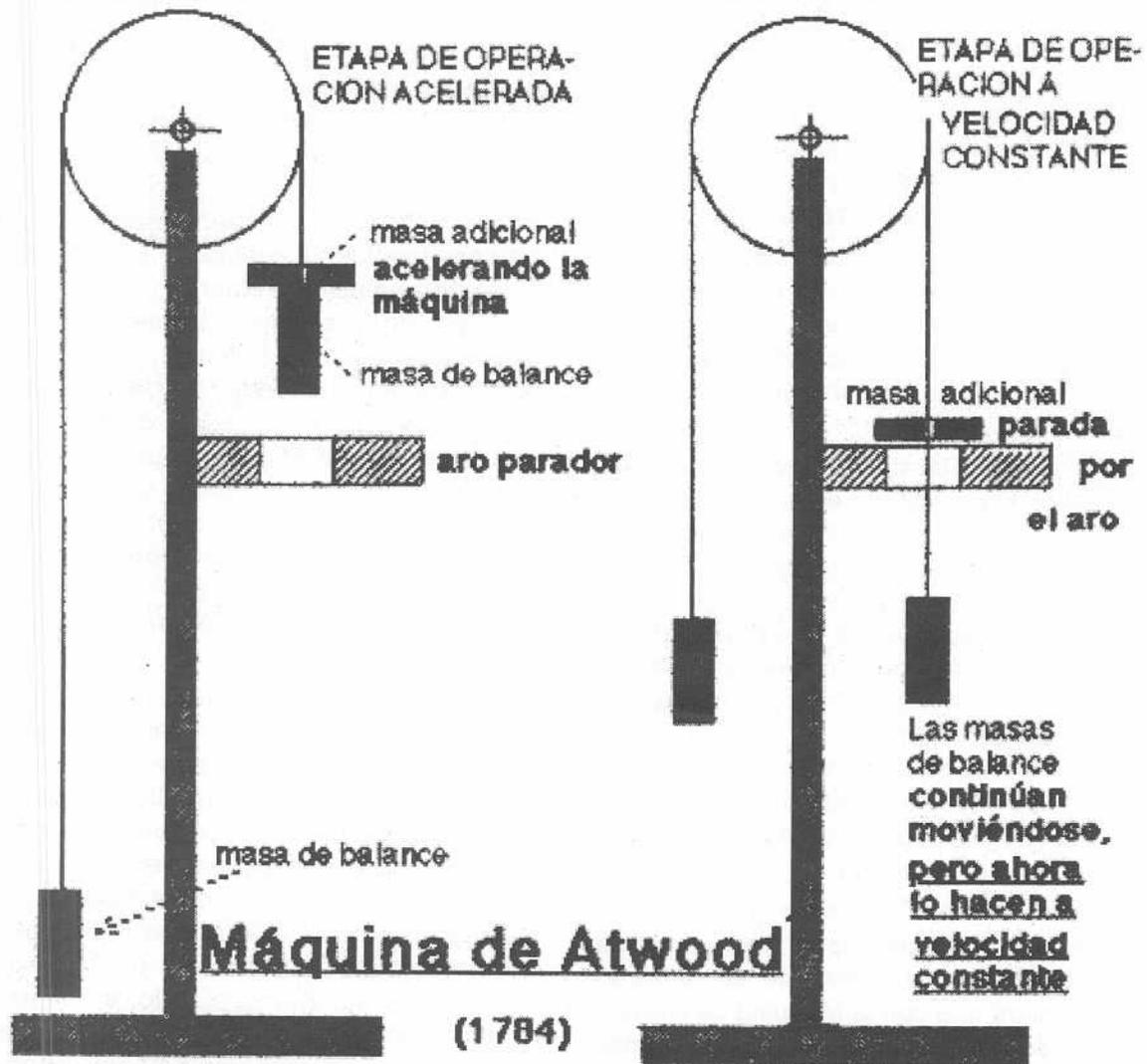


Figura 1

INTRODUCCIÓN

Como se indica en la Figura 1, la Máquina de Atwood es una simple polea (considerada sin masa) con una cuerda en su garganta, y en cada uno de los dos extremos de la cuerda se cuelgan masas iguales, a las cuales se las llama masas de balance. Además, insertada en la cuerda y dispuesta sobre la masa de balance de uno de los lados de la cuerda se tiene una masa adicional. El detalle es que esta masa adicional tiene un hueco central por el cual pasa libremente la cuerda.

Esta disposición determina que el equipo se acelera en el sentido de caer la masa de balance que tiene arriba la masa adicional, y por supuesto, la otra masa de balance se acelera en el sentido de subir. Pero en un sitio hacia debajo de la carrera que siguen la masa adicional y su masa de balance, se tiene un aro dimensionado de tal forma que logra pasar la masa de balance pero queda parada la masa adicional. Cuando la masa adicional resulta parada, **la máquina sigue funcionando pero de forma más sencilla, pues lo hace a velocidad constante.**

La operación de esta máquina termina cuando las masas de balance concluyan su recorrido de la distancia que les corresponda de acuerdo con las dimensiones de construcción del aparato. Pero es muy interesante “jugar” con la máquina una vez que ha terminado de operar.

Cuando la máquina termina de operar, la masa adicional está quieta parada por el aro y no participa en el equipo. En esta condición se puede disponer el equipo de tal forma que las dos masas de balance queden a la misma altura como correspondería a una balanza común. Pero este equipo no es una balanza común, y por lo tanto, se pueden situar las masas de tal forma que una quede hacia arriba y la otra quede hacia abajo. Y lo más importante de todo, podemos empujar un rato a una de las masas con lo cual el equipo quedará operando a velocidad constante, igual a como sucedía en la etapa de operación a velocidad constante anteriormente indicada.

En el cuerpo de este Trabajo de Investigación destacaré que las “leyes del juego” anteriormente indicadas son la tercera y la primera de las Leyes de Newton, y reafirmaré que con la Máquina de Atwood se las comprende en su forma más sencilla, y además destacaré que la Ley de la Conservación de la Energía también participa en este equipo en su forma más sencilla.

Todo lo anteriormente citado lo detallaré oportunamente, pero lo importante es comentar que la Máquina de Atwood no solamente sirve para comprender a la segunda Ley de Newton, lo cual en muchas oportunidades es lo único que se hace, sino que **esta máquina reúne todas las Leyes de la Disciplina Mecánica de la Física en la forma más sencilla posible.**

Además, hay que adelantar que la Máquina de Atwood permite hacer comentarios muy interesantes sobre la Ley de Gravitación Universal.

En muchos de los libros donde se incluye a la Máquina de Atwood no se indican todos sus detalles constructivos y sólo se la muestra con masas diferentes en los extremos de la cuerda. Pero para el presente Trabajo de Investigación **aprovecho todos los detalles con los cuales George Atwood inventó esta máquina.**

Los estudios que se suelen hacer con la Máquina de Atwood comienzan con una aproximación asintótica que pronto se indicará. **El objetivo es comprender la segunda Ley de Newton**, y todo sería perfecto si se prescinde de la masa adicional y entonces **con algún artificio que fuera más adecuado** se le aplicase una fuerza constante en el sentido de bajar a una de las masas de balance, con lo cual la máquina adquiriera una determinada aceleración; y si en el experimento sucesivo se aplica por ejemplo una fuerza de doble magnitud, se tiene que la aceleración será el doble de la aceleración del experimento anterior. El problema es que el artificio para aplicar la fuerza constante con el valor deseado sobre algo que se está acelerando no es muy sencillo, y entonces **el desenvolvimiento se hace con la masa adicional pero con manejos que minimizan otras circunstancias que participan en la operación de la máquina.**

La aproximación asintótica que se suele usar es muy hábil: se procura que la segunda ley de Newton sólo se aplique donde se desee y se la procure *evitar donde no se la quiere*. Para ello a la masa adicional se la escoge mucho menor que a las masas de balance. Así, la aceleración del equipo resulta ser tan pequeña que en lo práctico la masa adicional sólo supone añadirle al equipo una fuerza gravitacional constante que determina el desbalance para el funcionamiento. Por supuesto, si en el siguiente experimento se escoge una masa adicional que sea el doble de la del experimento anterior, se tiene que la aceleración resulta casi duplicada.

En usos más precisos de la Máquina de Atwood se tiene en cuenta que la masa adicional no le aplica

al resto de la máquina toda la fuerza que el Campo Gravitacional determina sobre ella, porque parte de esta fuerza se usa para la aceleración de la propia masa adicional.

Al presente Trabajo de Investigación lo fundamento en el otro extremo de aproximación asintótica que permite la Máquina de Atwood. Para lo cual considero que la masa adicional sea MUCHÍSIMO MAYOR que las masas de balance. De esta forma se tiene que la aceleración con que cae la masa adicional cuando se la inserta en la máquina es prácticamente la misma que la que se tiene cuando a esta masa adicional se la suelta libremente. Así, al punto de vista que se suele tener, que es ver las aceleraciones que experimentan las masas cuando se les aplican fuerzas, le agrego el **punto de vista que permite ver las fuerzas con las cuales las masas se oponen a ser aceleradas.** Este es el punto de vista complementario a la segunda Ley de Newton que D'Alembert introdujo para avanzar en la comprensión del pilar fundamental de la mecánica.

¿POR QUÉ LA ACELERACIÓN DEBIDA A LA GRAVEDAD NO DEPENDE DE LA CANTIDAD DE MASA DE LOS CUERPOS?

Debo comenzar indicando que en muy pocas publicaciones he visto la respuesta para esta pregunta. La que más me gusta está en la página 35 del libro de Stephen W. Hawking, titulado HISTORIA DEL TIEMPO Del big bang a los agujeros negros (A Brief History of Time From the Big Bang to Black Holes). En muchos de los libros de Física y de Mecánica Racional esto *casí* se dice, porque explican perfectamente bien el equilibrio acelerado de D'Alembert, de donde se origina la explicación del caso. (Cabe acusar que muchos libros se refieren al experimento de Galileo, **pero lo dejan como algo experimental a lo cual no le añaden la explicación del caso**).

Me permito citar la explicación de Hawking: "Se puede ver ahora por qué todos los cuerpos caen con la misma rapidez: un cuerpo que tenga doble peso sufrirá una fuerza gravitatoria doble, pero al mismo

tiempo tendrá una masa doble. De acuerdo con la segunda Ley de Newton, estos dos efectos se cancelarán exactamente y la aceleración será la misma en ambos casos".

Con la explicación de Hawking ya todo este punto está dicho, pero de todas formas me permito agregar mi explicación basada en tres intervenciones de la Máquina de Atwood, con las cuales destaco el complemento que D'Alembert le añadió a la Segunda Ley de Newton para avanzar en la comprensión del pilar fundamental de la Mecánica. Con estas intervenciones de la Máquina de Atwood creo que se aumenta la comprensión de este asunto tan importante.

Como se indica en la Figura 2.1, en vez del aro de la Máquina de Atwood se puede colocar un gran electroimán, el cual se lo sitúa al comienzo de la carrera de bajada de la gran masa adicional, con lo cual se puede sostener a esta masa en el tope para soltarla en el momento oportuno. Además para este experimento hay que enlazar entre sí la gran masa adicional con la masa de balance que le queda abajo.

A la otra masa de balance, que para este experimento se llama **masa en estudio**, se le instala un primer resorte.



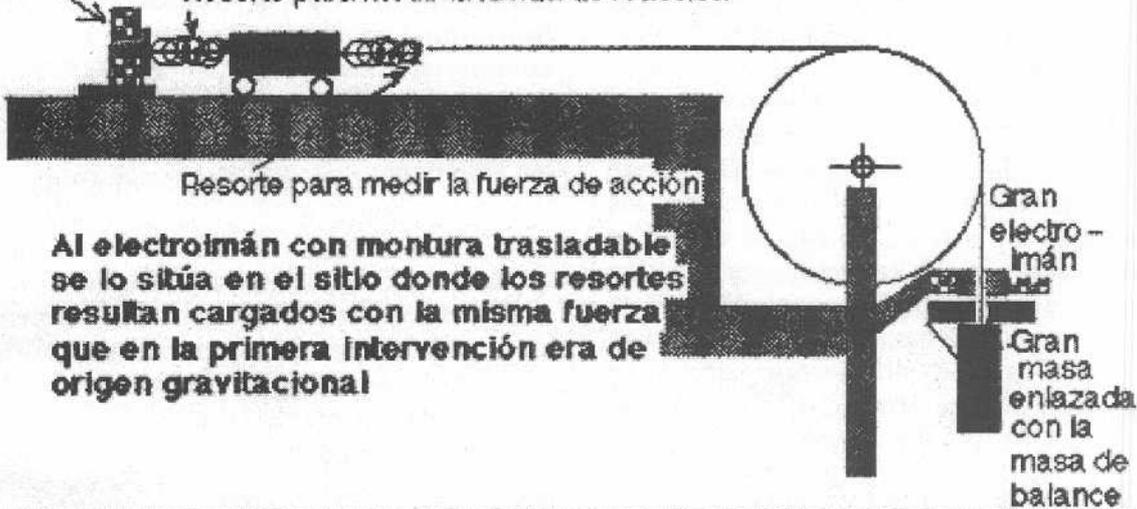
Figura 2.1

El detalle es que el estiramiento del resorte indica cuál es la fuerza que se aplica a la masa en estudio para contrarrestar a la fuerza que el campo gravitacional le aplica.

Segunda intervención

ETAPA DE ARMADO DEL EXPERIMENTO

Eléctroimán con montura que permite trasladarlo y luego fijarlo
Resorte para medir la fuerza de reacción

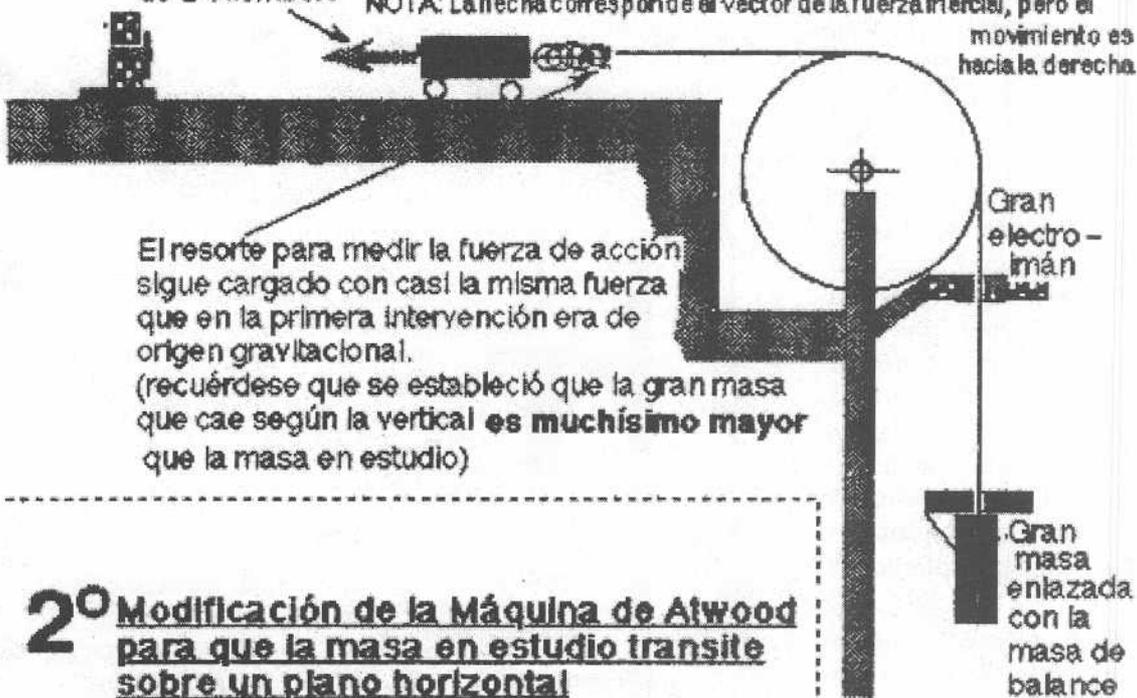


Al electroimán con montura trasladable se lo sitúa en el sitio donde los resortes resultan cargados con la misma fuerza que en la primera intervención era de origen gravitacional

EXPERIMENTO AL DESENERGIZAR LOS ELECTROIMANES, MOSTRADO A MITAD DE CARRERA

La masa crea por sí misma la fuerza inercial para el equilibrio acelerado de D'Alembert

NOTA: La flecha corresponde el vector de la fuerza inercial, pero el movimiento es hacia la derecha



El resorte para medir la fuerza de acción sigue cargado con casi la misma fuerza que en la primera intervención era de origen gravitacional.
(recuérdese que se estableció que la gran masa que cae según la vertical es muchísimo mayor que la masa en estudio)

2º Modificación de la Máquina de Atwood para que la masa en estudio transite sobre un plano horizontal

Figura 2.2

Si ahora al aparato se lo modifica como se muestra en las figuras 2.2 Armado y 2.2 Desenergizar, y particularmente se lo organiza como se muestra en la **Etapas de Armado del Experimento**, de tal forma que la **masa en estudio** ahora transite sin roce sobre un plano horizontal, **y además se le agrega otro resorte pero del lado opuesto al anteriormente indicado**, el cual tenga una pieza de acople a un electroimán que esté montado en un sistema que se fije después de trasladarlo a discreción, **se tiene que se puede ajustar la máquina de tal forma que los resortes acusen la misma fuerza que en la primera intervención era de origen gravitacional.**

Ahora, mirando la misma Figura 2.2 Desenergizar, donde destaca el **Experimento al Desenergizar los Electroimanes**, se tiene que si se desenergizan los dos electroimanes a la vez, la gran masa adicional cae con casi la aceleración gravitacional y arrastra con esta misma aceleración, pero en dirección horizontal, **a la masa en estudio**. Lo importante es que el resorte intercalado entre la cuerda y la masa en estudio **sigue acusando durante todo el tiempo en que dure el experimento, que es mientras lo permitan las dimensiones de la construcción del aparato, casi la misma fuerza de acción que se tenía en el caso estático, la cual es la misma fuerza que en la primera intervención era de origen**

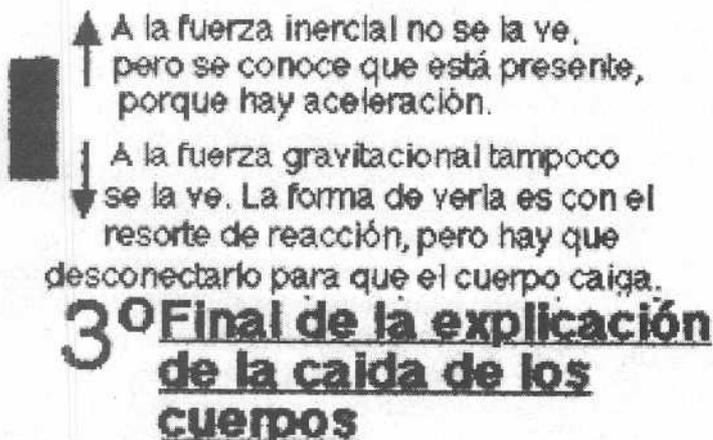
gravitacional. Lo notable es que esto es así aunque el otro resorte, que es el cercano al electroimán, no acusa fuerza de reacción, pues se le soltó su punto de apoyo al desenergizarse el electroimán.

La explicación de este fenómeno, **siguiendo la idea de D'Alembert**, es que la **masa en estudio** crea y se **aplica** por sí misma la cantidad de fuerza de reacción que acusaba el resorte cercano al electroimán, y esto ella lo hace para oponerse **a la aceleración** que se le está aplicando. A esta nueva fuerza se la llama **fuerza inercial**¹. (Algunos la llaman fuerza **ficticia**², otros la llaman fuerza de D'Alembert).

Para reafirmar las explicaciones se puede colocar desde la primera intervención una cantidad de masa en estudio que sea el doble de la considerada anteriormente, con lo cual se tendrá una fuerza gravitacional de cantidad doble a la anterior. Al seguirse los mismos pasos ya indicados, se tendrá que **la aceleración del aparato seguirá siendo casi la gravitacional**³, pero la cantidad de **fuerza inercial también será de casi el doble** de la cantidad de la fuerza inercial del experimento anterior.

Se concluye que cada masa en consideración se opone a la aceleración gravitacional creando una cantidad de fuerza inercial igual a la cantidad de fuerza que sobre ella determina el Campo Gravitacional.

Tercera intervención



Nota: Aunque se suele dibujar solamente a la fuerza gravitacional, considero que tanto la fuerza gravitacional como la fuerza inercial participan en el fenómeno de la caída de los cuerpos.

Figura 2.3

Ahora, según se indica en la Figura 2.3, se puede soltar en el vacío a la masa en estudio **o a cualquier otra masa**. Con todo lo anterior resulta evidente la comprensión de la razón por la cual la aceleración de caída de los cuerpos no depende de su cantidad de masa, **porque al participar la cantidad de masa de tanto la fuerza gravitacional de acción para la caída como de la fuerza inercial contra la caída**, se tiene por consecuencia que el resultado del experimento no dependa de la cantidad de masa.

Pero la explicación anterior exige ratificar que aunque se tiene igualdad de fuerzas opuestas se produce el fenómeno de la caída. Para esto lo que hay que comprender es que la fuerza inercial funciona oponiéndose a la aceleración. **El punto es que al permitirse la aceleración gravitacional se completa la fuerza inercial necesaria para el equilibrio**.

Cabe ratificar que el común de los hombres comprende lo que es un equilibrio estático. Para el caso se puede considerar una masa colgada por medio de un resorte. En este caso a la fuerza gravitacional que apunta hacia abajo se la equilibra por medio de la fuerza del resorte, la cual apunta hacia arriba. **Una vez que se ha producido el alargamiento correspondiente del resorte**, se produce el equilibrio, porque se tiene la fuerza elástica para el caso, **que funciona en forma estática**.

La diferencia conceptual entre el equilibrio estático y el equilibrio acelerado es que para el caso del equilibrio estático, **la fuerza en consideración funciona en forma estática, permitiéndose sólo la traslación que para cada caso se necesite**, pero para el caso del equilibrio acelerado, **la fuerza en consideración funciona en forma acelerada, permitiéndose sólo la aceleración que para cada caso se necesite**.

Se puede ratificar que el común de los hombres intuye y comprende lo que es un equilibrio estático. Pero D'Alembert introdujo la forma de pensar en la cual equilibrio significa solamente igualdad de fuerzas contrapuestas, y por lo tanto, lo del caso estático o lo del caso acelerado son detalles extras que aplican según las circunstancias. Además, se debe comentar que D'Alembert produjo una síntesis entre la tercera y la segunda de las Leyes de Newton. La tercera Ley es la relacionada con el equilibrio, y la segunda Ley es la relacionada con la aceleración; la reunión es el equilibrio acelerado de D'Alembert.

Es interesante comentar que durante la caída de los cuerpos a las fuerzas participantes se las conoce por lógica, pero no se las conoce por medio de mediciones concretas realizada por medio de resortes. No se puede organizar un resorte que acuse directamente las fuerzas que participan, porque si se fija el resorte se impide la caída del cuerpo.

Cabe extenderse para comentar que la fuerza gravitacional es evidente en el caso estático, **pero la fuerza gravitacional sigue siendo exactamente la misma cuando el cuerpo está cayendo**. Recuérdese que la fuerza gravitacional viene de la Ley de Gravitación Universal, que establece que esta fuerza es igual al producto de las masas dividido por el cuadrado de la distancia entre sus centros, y no hay participación de otros conceptos, como por ejemplo sería el concepto de aceleración. (La aceleración está relacionada con la otra fuerza participante en la caída de los cuerpos, que es la fuerza inercial).

Si se quiere ser muy preciso, hay que informar que el único concepto relacionado con la Ley de Gravitación Universal que cambia durante la caída de los cuerpos es la distancia entre los centros de las masas participantes, pero en lo práctico no se altera la distancia entre el centro de la Tierra y el centro del cuerpo en consideración, porque el radio de la Tierra es muchísimo mayor que la altura del experimento en consideración.

Para el concatenamiento de argumentos de este Trabajo de Investigación es de fundamental importancia remarcar que durante la caída de cualquier cuerpo son iguales en magnitud y dirección aunque opuestas en sentido, la fuerza gravitacional y la fuerza inercial que participan en el fenómeno²².

También estoy en conocimiento de que como el adjetivo **FICTICIA** es el más generalizado entre los autores, puede ser que se considere algo muy discutible lo que yo afirmo, de que en la caída de los cuerpos son iguales la fuerza gravitacional y la fuerza inercial. Además tengo que comentar que muchos consideran que **el concepto de fuerza solamente es algo que puede existir cuando es aplicado tanto por contacto como a distancia**, pero yo considero que el concepto de fuerza también es algo que las masas pueden producir por sí mismas.

NOTA ¹: Según los diccionarios, a lo que yo llamo fuerza inercial se lo debe llamar fuerza de inercia. Pero deseo se considere que el lenguaje es algo evolutivo. Al propio SI nadie le agrega un calificativo, pero yo lo llamo el sistema inercial SI, porque me resultaría una redacción muy enredada referirme al SI indicando que es el sistema donde a la fuerza se la concibe como fuerza de inercia. De la misma forma, a lo que llamo fuerza gravitacional en lo estricto se lo debe llamar fuerza de la gravedad.

NOTA ² y NOTA ²²: Yo no estoy de acuerdo con el nombre **Fuerza FICTICIA** y quiero insistir en que a este concepto se lo debe llamar **fuerza inercial**.

Se debe considerar que todo el mundo está de acuerdo con el funcionamiento de los resortes. En estos instrumentos la masa produce por sí misma a la fuerza elástica y ésta funciona al multiplicarse la constante de elasticidad por la variación de tamaño del resorte; pues bien, yo considero que las masas producen por sí mismas a la fuerza inercial, y ésta funciona al multiplicarse a la masa por la aceleración a la cual se las someta. Yo sé que a los resortes **se les aplican fuerzas por ambos extremos**, y sé que en el estudio relacionado con la caída de los cuerpos todo el mundo piensa que **sólo se les aplica la fuerza gravitacional a distancia**; pero insisto en que la causa que explica que la aceleración de caída sea la misma para todos los cuerpos es que ellos se producen y **aplican** por sí mismos la fuerza inercial para el equilibrio, que funciona en forma acelerada. Me repito, yo sé que el procedimiento acordado para resolver los problemas de mecánica es considerar solamente las fuerzas aplicadas al cuerpo, no teniéndose en cuenta las reacciones del cuerpo; pero considero que para el caso de la fuerza inercial se la debe considerar como una fuerza automáticamente aplicada cuando se aplica la fuerza de acción.

Todavía otro punto que quiero comentar es que sé que en la Tercera Ley de Newton se establece que las fuerzas mutuas **entre dos cuerpos** son siempre iguales y dirigidas en sentidos opuestos. Yo estoy de acuerdo en que los cuerpos participantes en **la fuerza de acción** gravitacional para la caída de los cuerpos son el cuerpo en consideración y el cuerpo de la Tierra; pero pienso que el otro cuerpo relacionado con **la fuerza inercial** es todo el sistema de referencia inercial.

En resumen, quiero comentar que muchos consideran al equilibrio acelerado de D'Alembert *sólo como algo matemático*; pero yo considero que este equilibrio es algo que es tanto matemático como **físico**, y por lo tanto considero que por medio de este equilibrio se complementa en forma muy elegante la explicación del porqué todos los cuerpos caen con la misma aceleración. Por todo esto es que en mi Figura 2.3 aparece tanto la fuerza inercial como la fuerza gravitacional, a pesar de que todo el mundo sólo dibuja la fuerza gravitacional.

Espero que a mi argumentación se la considere aceptable, pero de acuerdo con las reglas establecidas para procurar ser novedoso, acepto que podría suceder que la calificación sea contraria. Pero como

la explicación que presentaré del porqué funciona mi Máquina se fundamenta en lo expuesto en este punto, ruego se considere que en cualquier caso mi máquina **experimentalmente funciona (y esto es igual al hecho de que es experimental lo de la caída de los cuerpos)**. Además creo que la máquina que presentaré cumple con su razón de ser, a lo cual también lo tendré que explicar con muchos detalles.

LOS PROBLEMAS DE LOS SISTEMAS DE UNIDADES Y COMO DEBIO HABER SIDO EL SISTEMA MUNDIAL DE UNIDADES

Los humanos "hacemos camino al andar" y algunas veces no nos quedan perfectos, y hay que desenvolverse con ellos. Una vez que nos desenvolvemos con los caminos no perfectos, es fácil darse cuenta de cuál hubiese sido el camino ideal, que es el que resuelve todos los problemas o concilia los gustos involucrados.

El sistema *Mundial* de unidades debió haber sido inercial del tipo coherente **y a la vez haber tenido una coincidencia gravitacional**.

Los sistemas inerciales del tipo coherente son, en cuanto a lo coherente, aquellos donde al sintetizarse los conceptos y por tanto sus unidades de medida agrupándose de acuerdo con las leyes de la Física, siempre lo hacen con cantidades unitarias de las unidades que participan. Y en cuanto a lo inercial, los sistemas correspondientes a esta clasificación son los que se fundamentan en la principal síntesis que tiene la Naturaleza, la cual es la correspondiente a la segunda Ley de Newton. **Todo esto determina que la unidad de fuerza le debe imprimir a la unidad de masa justamente una unidad de aceleración**.

Lo de la **COINCIDENCIA GRAVITACIONAL ES EL GUSTO QUE YO DESEO SOMETER A CONSIDERACIÓN** en este Trabajo de Investigación.

Pienso que al tenerse en cuenta lo que espero se me acepte como hecho de que en la caída de los cuerpos son iguales pero opuestas la fuerza gravitacional y la fuerza inercial, se desprende que la unidad de fuerza debería ser la que es capaz de sostener a la unidad de masa, o lo que es lo mismo, la unidad de fuerza le debe imprimir a la unidad de masa una cantidad de aceleración igual a la aceleración debida a la Gravedad en el Campo Gravitacional Estándar. **Pero como se está tomando**

NOTA ³: Recuérdese que en el párrafo de Descripción de la Máquina de Atwood establecí que la asíntota que uso en este Trabajo de Investigación es la correspondiente a que la denominada gran masa adicional tiene una cantidad de masa MUCHÍSIMO MAYOR que las otras masas que participen en el experimento. A la aproximación asintótica la considero suficiente para el alcance del presente Trabajo de Investigación.

en consideración que los sistemas deben ser coherentes, se deben escoger las unidades de medida de tal forma que esta aceleración sea unitaria.

El sistema de unidades que finalmente está adoptando la humanidad es el Sistema Internacional de Unidades SI, que es la versión moderna del Sistema Métrico. Este sistema es inercial y del tipo **absolutamente** coherente, **pero no tiene coincidencia gravitacional**.

Ahora se ha agregado la palabra **absoluto**, y entonces se tiene que explicar que lo que se entiende por sistema inercial y del tipo absolutamente coherente es que, particularmente en el SI, **se tiene absoluto respeto por la unidad de longitud, el metro, y la unidad de tiempo, el segundo, que se habían escogido**. Así, coherentemente la unidad de fuerza, el newton N, le imprime a la unidad de masa, el kilogramo Kg., justamente la aceleración de 1 m/s^2 .

En nuestro alcance humano no se nos podía ocurrir que no debimos escoger a la unidad de longitud sólo pensando en el concepto de longitud, y de la misma forma, no debimos escoger a la unidad de tiempo sólo pensando en el concepto de tiempo. **Para la escogencia de estas unidades, además de considerarlas en sí mismas, debimos haber considerado que con su síntesis correspondiente al concepto de aceleración resulte ser medida como unitaria la aceleración debida a la Gravedad en el Campo Gravitacional Estándar**.

La Ley más grave que tenemos los humanos es nuestro caso particular de la Ley de la Gravedad. El SI es un sistema que no complace esta Ley. Nótese que la medida de la aceleración debida a la Gravedad en el Campo Gravitacional Estándar es de $9,806650 \text{ m/s}^2$, o lo que es lo mismo, **nótese que se necesitan 9,806650 newton para sostener a 1 kilogramo**.

En un Sistema Mundial de unidades se debió conciliar la característica denominada inercial del tipo absolutamente coherente que tiene el SI **con una coincidencia gravitacional, lo cual implica quitar la característica de absoluto para hacerlo relativo al caso particular del Campo Gravitacional Estándar**. Esto tiene infinitas soluciones, pero para explicar la idea nótese que se podría escoger dejar inalterada a la unidad de tiempo, el segundo, pero escoger para la unidad de longitud digamos la "culebra". Si se estableciera que la "culebra" sea $9,806650$ veces el metro actual, se tendría que la unidad coherente de aceleración sería la "culebra"/ s^2 ,

y además se tendría que la medida de la aceleración debida a la Gravedad en el Campo Gravitacional Estándar sería de justamente $1 \text{ "culebra"/}\text{s}^2$. Por lo tanto, la unidad de fuerza sería tanto la que acelera coherentemente a la unidad de masa como la que particularmente es capaz de sostener a la unidad de masa en el Campo Gravitacional Estándar. **Se complacería de esta forma a la Ley más grave que tenemos los humanos, sin quitarse la característica de tenerse un sistema inercial del tipo coherente**.

Ahora es conveniente comentar que el primer sistema de unidades que se hizo corresponde a nuestra intuición y así **a los cuerpos los llamamos pesos**, y a este sistema se lo denomina gravitacional y también se lo denomina sistema práctico. En este sistema la fuerza contrapuesta al peso es la que sostiene a los cuerpos, (al peso y a la fuerza en muchos aspectos se los considera sinónimos); **a la masa se la conceptualiza como el peso sobre la gravedad y este sistema no tiene ninguna unidad para su medida**; a la fuerza inercial que participa en la caída de los cuerpos se la calcula al multiplicar la conceptualización de la masa por la aceleración debida a la gravedad, y el sistema no es coherente.

Si bien este sistema es muy respetable quiero informar que no lo consideraré en la argumentación de este Trabajo de Investigación, porque considero que los cuerpos son físicamente masas, y en todo caso mi trabajo es sobre el SI, donde a los cuerpos se los considera masas.

En los otros sistemas de unidades **A LOS CUERPOS SE LOS CONSIDERAN FÍSICAMENTE MASAS**. En una primera versión que se suele llamar **Sistema Ingenieril**, que es un híbrido entre el concepto gravitacional y el concepto inercial, la unidad de fuerza es la misma que antes equilibrada a la unidad de peso, **sólo que al mismo cuerpo que se llamaba peso ahora se lo reconoce como masa**, y entonces la unidad de fuerza es la que sostiene a la unidad de masa en el Campo Gravitacional Estándar; pero después se prefiere definir a la unidad de fuerza en forma inercial, y se le define como la que le imprime a la unidad de masa una aceleración igual a la aceleración debida a la Gravedad en el Campo Gravitacional Estándar. Particularmente con unidades métricas el kilogramo-fuerza le imprime a la masa del kilogramo la aceleración de $9,806650 \text{ m/s}^2$. Y hay que repetir que debido a la circunstancia de que con las unidades escogidas la medida de la aceleración debida a la Gravedad no es unitaria, **resulta que este sistema no es coherente**.

En este Trabajo de Investigación tácitamente le entrego más atención al Sistema Ingenieril que al SI, **porque el Sistema Ingenieril tiene coincidencia gravitacional.**

Dentro del criterio donde los cuerpos son físicamente masas, después apareció la especificación de que los sistemas deben ser coherentes. **A esta especificación se la considera tan importante que para cumplirla se permitió sacrificar la coincidencia gravitacional que tiene el Sistema Ingenieril.** Dentro de este lineamiento hubo un sistema que se usó poco, donde se mantuvo como unidad de fuerza a la que sostiene a la unidad original de masa (la cual unidad de masa luego desaparece), y se agregó otra unidad de masa que en el sistema métrico era la Unidad Técnica de Masa U.T.M., también llamada geokilo, y también llamada slug métrico. La U.T.M. es 9,806650 veces el kilogramo; así, el kg-f acelera a la U.T.M. a 1 m/s^2 .

Al sistema que tiene la U.T.M. no lo consideraré en este trabajo. Simplemente este es un sistema que pudo competir contra el SI, pero el gusto internacional está en el SI.

Dentro del criterio donde los cuerpos son físicamente masas y el sistema debe ser inercial del tipo coherente, después apareció el SI, el cual lo comenté al comienzo de este punto, y se debe repetir que en el SI la fuerza del newton le imprime a la masa del kilogramo la aceleración de 1 m/s^2 , y por lo tanto, la fuerza de un newton no es capaz de sostener a la masa de 1 kg en nuestro Campo Gravitacional Estándar. **Pero es conveniente hacer notar que siempre hay muchas formas para acometer los problemas.**

La forma en que los partidarios del Sistema que tiene la U.T.M. resuelven la falta de coherencia que tiene el Sistema Ingenieril es estableciendo una unidad de masa que es **mayor** que el kilogramo; pero la forma en que en el SI se resuelve este mismo problema es estableciendo una unidad de fuerza que es menor que el kilogramo-fuerza.

Si las soluciones fuesen sólo de carácter intelectual, es decir, se pudiese aislar la circunstancia de que en lo práctico las soluciones nunca deben ser atroces, se resolvería el problema de la falta de coherencia que tiene el Sistema Ingenieril, cambiando el conjunto unidad de longitud con unidad de tiempo con el criterio que anteriormente se estableció, **y se mantendría intacta su característica de tener coincidencia gravitacional.** Por lo tanto, se tendría el sistema perfecto de unidades, al cual se lo podría llamar el Sistema Mundial de unidades.

En resumen:

Los humanos tendremos que continuar nuestros caminos soportando el problema de que nuestro Sistema Internacional de unidades no tiene coincidencia gravitacional.

Después del próximo párrafo presentaré un paliativo para este problema, lo cual es la razón de ser de este Trabajo de Investigación.

Por lo pronto hay que repetir que aunque la concepción inercial de la unidad de fuerza **tiene alcance universal**, se tiene que para el común de los humanos en muchas oportunidades nos resulta más adecuada la concepción gravitacional de la unidad de fuerza. La fuerza inercial depende de la aceleración, pero ¡quién puede pensar bien de buenas a primeras sobre objetos acelerados!. Y cabe comentar que si bien la fuerza gravitacional que se aplica sobre la unidad de masa varía según la coordenada de latitud, se tiene que se la suele considerar constante en cualquier latitud medida al nivel del mar, e incluso se suele considerar que mantiene su mismo valor a la altura en que vuelan los aviones comerciales o se sumergen los submarinos. **Por lo tanto, la fuerza gravitacional no suele depender de la altura, y además la fuerza gravitacional no depende de la velocidad ni de la aceleración.** La fuerza gravitacional suele ser realmente una constante en el desenvolvimiento normal humano.

¿CÓMO HUBIESEN ENCAJADO LAS UNIDADES DE UN SISTEMA PERFECTO EN LA MÁQUINA DE ATWOOD?

Un sistema de unidades hecho con la concepción del Sistema Perfecto anteriormente indicado (sistema **Mundial** de unidades) encajaría perfectamente bien en la Máquina de Atwood. **En particular, si al Sistema Ingenieril se le cambiase el conjunto formado por la unidad de longitud con la unidad de tiempo con el criterio de que se mida como unitaria la aceleración debida a la Gravedad en el Campo Gravitacional Estándar, se cumpliría con este objetivo. Pero sería una atrocidad proponer unidades nuevas.**

En este Trabajo de Investigación no desarrollaré cómo sería el encaje de las unidades de un sistema perfecto de unidades en la Máquina de Atwood, porque la explicación tendría que ser largamente abstracta para que sirva para cualquier realidad concreta.

En todo caso, más adelante indico como encajan las unidades del SI en una Máquina inspirada en la

Máquina de Atwood. **Las explicaciones del presente punto corresponderían a no tenerse la complicación de los planos inclinados, por tenerse unidades adecuadas.**

Espero que a esta excusa se la pueda considerar adecuada.

COMIENZO DE LA IDEA DEL PRESENTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Ya he explicado que un sistema perfecto de unidades sería inercial del tipo coherente **y a la vez tendría una coincidencia gravitacional.** Como para que se tenga el sistema del caso se tendrían que alterar tanto el metro como el segundo, todo lo cual sería una atrocidad, la solución que propongo es **estudiar** al SI considerando que las masas no están libremente cayendo o colgadas según la vertical, sino que transitan sobre planos inclinados, donde se verifique que la fuerza de 1 N sí es la fuerza activa de origen gravitacional con lo cual la masa de 1 kg tiende a caer. **Con esto propongo agregarle, sólo para los efectos explicativos, una coincidencia gravitacional artificial a al SI.**

Por medio del equilibrio acelerado de D'Alembert se constató que en la caída de los cuerpos son iguales en magnitud y dirección pero opuestas en sentido la

fuerza gravitacional y la fuerza inercial que participan en el fenómeno.

Como para el común de los humanos la fuerza gravitacional es la mejor de las fuerzas, considero conveniente organizar un artificio donde la resultante del Campo Gravitacional Estándar sea unitaria.

Se sabe por trigonometría que la componente de la fuerza por medio de la cual los cuerpos tienden a caer por un plano inclinado es la fuerza verticalmente aplicada multiplicada por el seno del ángulo entre la horizontal y el plano inclinado. Para el campo de fuerzas se aplica el mismo concepto.

Como el Campo Gravitacional Estándar es de 9,806650 N / kg, y como sólo se desea un campo de fuerzas de 1 N / kg, se tiene:

$$1 \text{ N / kg} = 9,806650 \text{ N / kg} * \text{seno del ángulo}$$

Por lo tanto, con la idea de agregarle al SI una coincidencia gravitacional artificial, **el ángulo de los planos inclinados donde se montarán las masas de la máquina que propondré es de 5,853°.**

IDEA DEL PRESENTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Como indico en la Figura 3, la idea de mi presente Trabajo de Investigación viene de transformar o

IDEA DEL PRESENTE TRABAJO DE INVESTIGACION

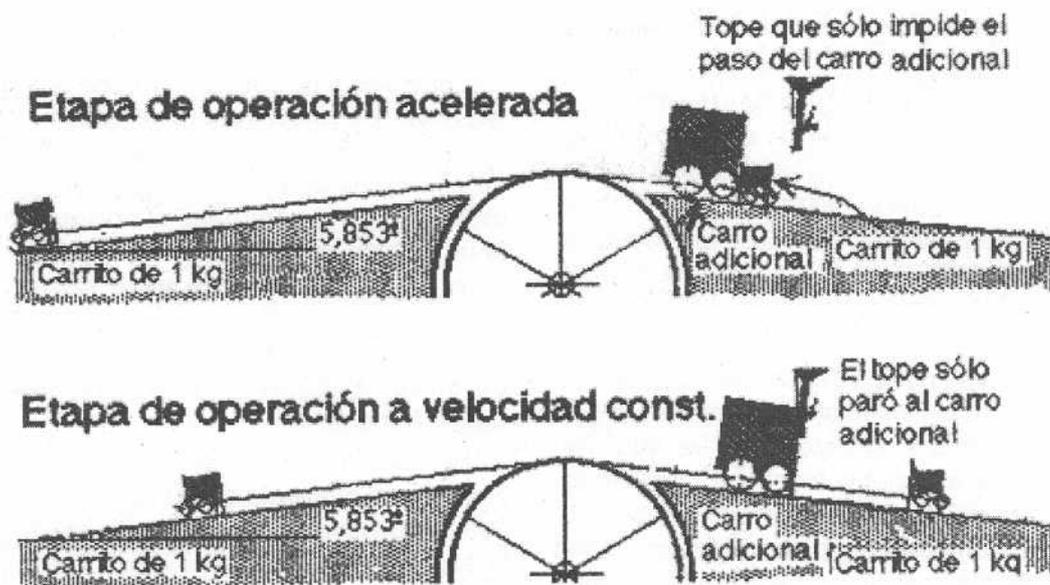


Figura 3

complicar por las circunstancias la concepción de la Máquina de Atwood.

Como reporté en la Figura 1, las masas de la Máquina de Atwood están sencillamente colgadas y transitan según la vertical. En la idea que propongo las masas siguen estando colgadas pero se tiene la complicación de que transitan sobre planos inclinados, cuya pendiente es de $5,853^\circ$. Esto cumple con el propósito de que la resultante del Campo Gravitacional Estándar sea de 1 N / kg . Así, a 1 kg se le aplica la fuerza activa gravitacional de 1 N , a 2 kg se le aplica la fuerza activa gravitacional de 2 N , y así sucesivamente.

El aparato que propongo funciona igual a como lo hace la Máquina de Atwood, sólo que con la complicación de los planos inclinados en primera instancia el funcionamiento no es evidente. Nótese que a las masas las monto sobre carros que transitan sin roce sobre los planos inclinados, y nótese que la gran masa adicional ahora es el gran carro adicional, y las masas de balance particularmente son carritos de 1 kg cada uno, concatenados por medio de una cuerda, la cual pasa libremente abajo del carro de la gran masa adicional. **También nótese que en vez del aro de la Máquina de Atwood he puesto un tope que cumple con la misma función que tenía el aro, porque por él pasa libremente el carrito de la masa de balance de 1 kg , pero este tope impide el tránsito del carro de la gran masa adicional.**

Conocido todo esto se comienza a arrancar mi máquina, **véase etapa de operación acelerada**, situando y sosteniendo al carro de la gran masa adicional en el tope de su plano inclinado y situando al carrito de 1 kg de la masa de balance que transita sobre el mismo plano inclinado juntándolo con el carro de la gran masa adicional. **El otro carrito de balance de masa de 1 kg resulta situado al pie de su plano inclinado, y esto es debido al concatenamiento que tiene con el primer carrito de balance.**—Si se desea aclaración adicional, léase este párrafo refiriéndose a la máquina original de Atwood, ver Figura 1, y suponga que se elimina el nombre plano inclinado—.

Después se suelta al carro de la gran masa adicional, con lo cual todos los carros de la máquina se mueven en forma acelerada. Pero pronto, al chocar el carro de la gran masa adicional con el tope, se detiene sólo el movimiento de este carro, siendo lo más importante que los carritos de balance continúan moviéndose y lo hacen a velocidad constante. Particularmente en la figura mostrada, **véase etapa de operación a velocidad constante**, la masa de balance de la izquierda queda subiendo y la masa de

balance de la derecha queda bajando. Si no se tuviesen roces y además los dos planos inclinados de la máquina fuesen de longitud infinita, esta etapa del experimento se continuaría siempre a la velocidad que se haya adquirido al final de la etapa acelerada.

Como **me responsabilizo** por mi máquina la he llamado MAQUINA DE CARLOS AGUERREVERE.

MANIOBRA PARA QUE LA MÁQUINA DE CARLOS AGUERREVERE QUEDE OPERANDO EN SU ETAPA DE FUNCIONAMIENTO A VELOCIDAD CONSTANTE CON LA VELOCIDAD DE 1 m/s

Antes de comenzar este punto quiero indicar que en este Trabajo de Investigación y en futuros trabajos que sobre el mismo tema oportunamente ojalá pueda presentar, no utilizo la simbología tradicional para las ecuaciones. Por ejemplo para la ecuación de la segunda Ley de Newton, yo no escribo: $F = M \cdot A$, o según otros gustos no escribo: $f = m \cdot a$. Me desenvuelvo aprovechando que en cuanto a unidades **el SI tiene una simbología perfecta**, y entonces simplemente no utilizo ninguna simbología para lo que unos llaman cantidades (*quantity* en inglés), pero otros llaman magnitudes (*grandeur* en francés) e incluso otros llaman dimensiones. Con todo esto, para la ecuación de la segunda Ley de Newton yo directamente escribo: " c " $\text{N} = "c" \text{ kg} \cdot "c" \text{ m} / \text{s}^2$. Y lo único que tengo que aclarar es que " c " significa "cantidad" (con sentido sinónimo al de "número").

Así, para medir la magnitud de una fuerza yo simplemente escribo: " c " N . Esto significa la "cantidad" de veces en que se toma la magnitud de la unidad de fuerza newton para completar la magnitud de la fuerza en consideración. De la misma forma " c " kg significa la "cantidad" de veces en que se toma la magnitud de la unidad de masa kilogramo para completar la magnitud de la masa en consideración. Y " c " m / s^2 significa la "cantidad" de veces en que se toma la magnitud de la unidad de aceleración m / s^2 para completar la magnitud de la aceleración en consideración.

Con este punto comienzo en firme a presentar el propósito de este Trabajo de Investigación, **que es encajarle a la MAQUINA DE CARLOS AGUERREVERE las unidades del SI**. Se debe indicar que en puntos anteriores ya le encajé a mi máquina la unidad de masa del SI, pues cada uno de los carritos de las masas de balance son de 1 kg . Además, ya le

encajé a mi máquina la unidad del SI para medir el campo de fuerzas, pues con el plano inclinado de $5,853^\circ$ la componente activa del Campo Gravitacional Estándar es de 1 N / kg . Lo mejor de todo es que automáticamente le encajé a mi máquina la unidad de aceleración del SI, porque cualquier cantidad de masa que corra libremente sobre el plano inclinado de $5,853^\circ$ lo hace con la aceleración de 1 m / s^2 .

En la *Máquina de Carlos Aguerrevere*, como la masa adicional **es muchísimo mayor** que las masas de balance, se tiene la aproximación asintótica por lo cual la aceleración es de casi 1 m/s^2 . El alcance del presente Trabajo de Investigación es sólo conceptual; por lo tanto, para simplificar el desenvolvimiento, me permito la maniobra de considerar que la aceleración es de justamente 1 m/s^2 .

Como la cantidad de velocidad es igual a la cantidad de aceleración multiplicada por la cantidad de tiempo, se tiene:

$"c" \text{ m / s} = "c" \text{ m / s}^2 \cdot "c" \text{ s}$ Despejando la cantidad de tiempo, y de paso considerando que se desea la velocidad de 1 m / s y se tiene la aceleración de 1 m / s^2 , resulta:

$$"c" \text{ s} = \frac{1 \text{ m / s}}{1 \text{ m/s}^2}$$

Por lo tanto, la cantidad de tiempo es de 1 s .

Se sabe que la cantidad de espacio es igual a la cantidad de aceleración multiplicada por el cuadrado de la cantidad de tiempo y dividido por 2.

$"c" \text{ m} = "c" \text{ m / s}^2 \cdot ("c" \text{ s})^2 \cdot \frac{1}{2}$ y sustituyendo valores, se tiene:

$"c" \text{ m} = 1 \text{ m / s}^2 \cdot (1 \text{ s})^2 \cdot \frac{1}{2}$ Por lo tanto, **la cantidad de espacio es de $0,5 \text{ m}$** .

En resumen, antes de arrancar a la MÁQUINA DE CARLOS AGUERREVERE hay que subir y dejar agarrado al carro de la gran masa adicional, juntándole el carrito de la masa de balance que transita sobre el mismo plano inclinado, hasta que la distancia entre el carro de la gran masa adicional y el tope que lo parará sea de $0,5 \text{ m}$. Después de soltar al carro de la gran masa adicional, al cabo de 1 s , éste habrá chocado con el tope, pero el concatenamiento de los carritos de las masas de balance quedará moviéndose **a la velocidad constante de 1 m / s** .

Nota: **Aspiro a que la MAQUINA DE CARLOS AGUERREVERE llegue a los laboratorios comunes de enseñanza.** Así deseo que se considere que sería muy engorroso que la gran masa adicional sea de por ejemplo 1000 kg para que se tenga una buena

aproximación de la aceleración de 1 m / s^2 , y así sugiero que en muchas oportunidades se **sacrifique el gusto por la aceleración unitaria** y sólo se cumpla con el objetivo particular del presente punto, que es el concatenamiento de las masas de balance **quede operando a 1 m / s** .

Para no hacer demasiado largo este trabajo, sólo informo pero no presento los cálculos correspondientes al hecho de que **si se selecciona que la masa adicional sea de sólo 10 kg** , se tiene que para el arranque la distancia entre el carro de la masa adicional y el tope que lo parará es de casi $0,6 \text{ m}$, y se tiene una aceleración de $0,833 \text{ m / s}^2$ y se tiene un intervalo de tiempo antes del choque de $1,2 \text{ s}$. **Lo importante es que el concatenamiento de las masas de balance queda operando a 1 m / s** .

Cuando la MÁQUINA DE CARLOS AGUERREVERE queda operando a velocidad constante, ver Figura 4, y particularmente lo hace a la velocidad de 1 m / s , se tiene lo siguiente:

Se constata la tercera Ley de Newton, porque al estar concatenadas las masas de balance por medio de una cuerda, que es un transmisor de fuerzas, resulta que la fuerza de acción para la caída de la una es igual a la fuerza de reacción para el sostenimiento de la otra. Ya he indicado que en mi máquina la fuerza de acción para la caída de cada masa de 1 kg es de 1 N ; de este mismo valor de 1 N es la fuerza de reacción transmitida por medio de la cuerda.

Cabe comentar que mucha gente comprende mejor esta Ley cuando el equipo está estático, **pero la tercera Ley de Newton se sigue aplicando cuando el equipo funciona a velocidad constante**. En esta circunstancia esta Ley es especialmente útil.

Se constata la primera Ley de Newton, porque al aplicarse sobre cada masa tanto la fuerza de acción de 1 N como la fuerza de reacción de 1 N **no se tiene resultante de fuerza**, con lo cual sucede que el equipo puede quedar tanto estático como operando a velocidad constante. Con el manejo indicado el equipo queda operando a la velocidad constante de 1 m / s .

Se constata de la forma más sencilla posible la primera Ley de la Física. En la MÁQUINA DE CARLOS AGUERREVERE se tiene que la energía potencial que paulatinamente va dejando de estar relacionada con la masa de balance que le haya tocado estar bajando **se transforma (o se transfiere)** en la energía potencial que paulatinamente va adquiriendo la masa de balance que le haya tocado estar subiendo.

ENCAJE DE LA UNIDAD DE POTENCIA, QUE ES EL VATIO, Y DE OTRAS UNIDADES DEL SI EN LA MAQUINA DE CARLOS AGUERREVERE, Y CONSTATAION MUY SENCILLA DE ALGUNAS LEYES DE LA FISICA

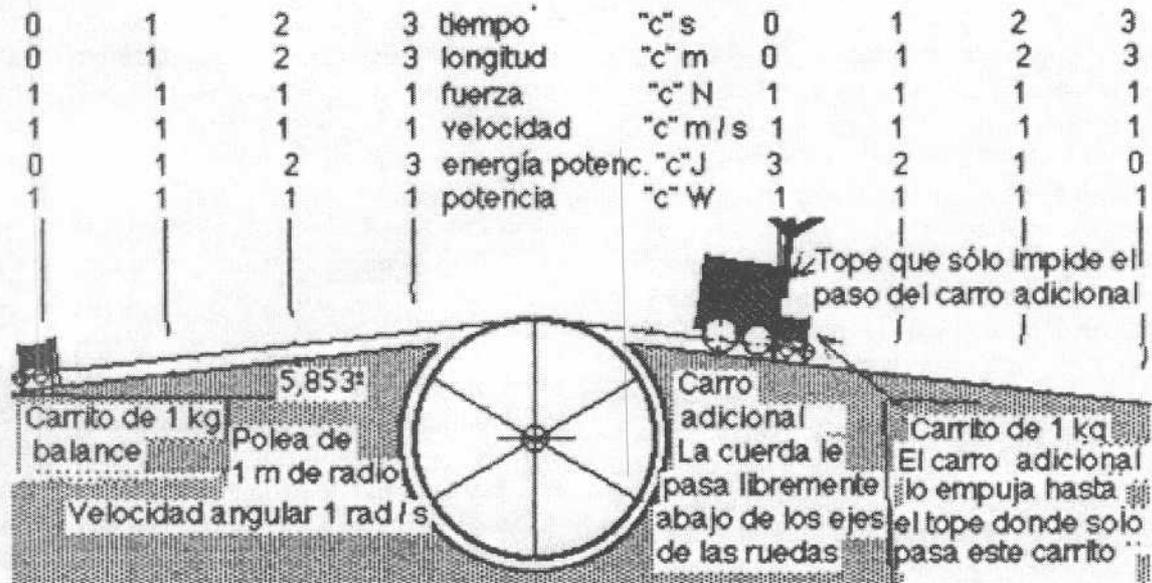


Figura 4

—Cabe exclamar: ¡Todo sería mejor con la máquina de Atwood!. Y mi respuesta es que si bien esta afirmación es contundente, porque todo se comprende mejor con su máquina, todavía tengo ánimo para solicitar se considere que se tiene la circunstancia de que a esta máquina, que es la mejor de las máquinas, no se le pueden encajar las unidades del SI.

Mi objetivo es que se tenga una máquina donde sí se puedan encajar las unidades del SI. Espero estar presentando argumentación adecuada para que se pueda tener aprecio cuando alcance este objetivo—.

En la MÁQUINA DE CARLOS AGUERREVERE, cuando queda operando a la velocidad de 1 m/s, particularmente se tiene que la energía potencial transfiriéndose entre las masas es de un julio por segundo, 1 J/s, lo cual es un vatio, 1 W. Esto es así porque ya he indicado que sobre cada masa de balance se tiene la fuerza activa de 1 N, pero además como transita a la velocidad de 1 m/s, se tiene que

según se va completando cada intervalo de tiempo 1 s, se traslada la fuerza de 1 N en la distancia de 1 m, lo cual corresponde a realizarse el trabajo de 1 J, y como este trabajo se completa continuamente cada segundo se tiene la potencia constante de 1 W.

En la Figura 4 reporto todo lo indicado en este punto. El dibujo corresponde al instante en que justamente comienza la etapa de operación a velocidad constante, pero además reporto por medio de cantidades con sus unidades correspondientes lo que va sucediendo según las masas de balance se trasladan sobre los planos inclinados. Obsérvese que en la columna de datos de la mitad indico los conceptos participantes más sus unidades de medida según el SI. Por lo tanto, primero indico el tiempo en cantidad de segundos "c" s; luego indico la longitud en cantidad de metros, "c" m; luego indico la energía potencial en cantidad de julios, "c" J; luego indico la potencia en cantidad de vatios, "c" W.

De acuerdo con lo que he organizado, **mi máquina queda operando a la velocidad constante de 1 m/s**. Por lo tanto, en la cuarta fila de datos, del lado de la masa de balance de la izquierda aparecen nada más que unos, porque esta masa queda subiendo a la velocidad constante de 1 m/s. Del lado de la masa de balance de la derecha aparece también continuamente siempre lo mismo, velocidad de 1 m/s.

También organicé que las fuerzas aplicadas a cada una de las masas de balance son de un newton, 1 N. Por lo tanto, en ambos lados de la tercera fila de datos sólo se reporta constantemente la fuerza de 1 N.

Si refiriéndose a la masa de la izquierda, que es la que queda subiendo, se ven a la vez la primera, la segunda y la quinta fila de datos, se tiene que las cantidades de tiempo son de 0, 1, 2 y 3 segundos; y se tiene que las cantidades de longitud son de 0, 1, 2 y 3 metros; y lo más importante, se tiene que al principio no se le ha agregado a esta masa ninguna energía potencial y se reporta 0 J, pero al cabo de 1 s, que es cuando ella ha recorrido 1 m, se le ha agregado la energía potencial de 1 J; con la secuencia indicada, luego se le ha agregado la energía potencial de 2 J y finalmente se le ha agregado la energía potencial de 3 J. Esto no continúa porque en la figura sólo he dibujado planos inclinados de 3 m de longitud.

Para la masa de la derecha aplica conceptualmente lo mismo indicado para la masa de la izquierda, sólo que la cantidad de energía comienza siendo de 3 J, y luego va bajando, 2 J, 1 J, 0 J, **porque esta masa es la que paulatinamente le cede energía potencial a la masa de la izquierda**.

Además, la velocidad angular de la polea es de 1 radián/s.

Lo más bonito de todo es que en la sexta fila reporto, de acuerdo con lo que organicé, que constantemente para ambas masas la potencia relacionada con el movimiento de ellas es de 1 W. **La masa de la derecha corresponde a cualquier motor que está entregando la potencia de 1 W; la masa de la izquierda corresponde a cualquier equipo que está siendo accionado con la potencia de 1 W.**

Uno de los experimentos adicionales que se pueden hacer con la MÁQUINA DE CARLOS AGUERREVERE es que al estar la masa adicional parada por el tope, se desenganche uno cualquiera de los carritos de balance. Si el operario **agarra** la cuerda por el gancho palpa la fuerza de 1N que viene desde la otra masa de balance de 1Kg.; si el operario se traslada 1m en el sentido de subir la masa de balance, él comprende lo que es hacer el trabajo de 1J

(entregando la energía de 1J); y lo mejor de todo es que si el operario se estabiliza trasladándose a la velocidad de 1 m/s, **él comprende a la vez** lo que es la fuerza de 1N, el trabajo de 1J completado cada segundo, **la potencia de 1W**, y la velocidad angular de 1 radián / s. Y si después el operario se “fastidia” y suelta la cuerda, comprende lo que es la aceleración de 1 m/s².

En fin, el operario además de constatar y aprender que se tiene un sistema de unidades comprende como las Leyes de la Física determinan la aglutinación correspondiente.

¿POR QUÉ LA ACELERACIÓN DE LOS CUERPOS QUE CAEN SIN ROCE SOBRE EL PLANO INCLINADO DE 5,853° ES UNITARIA?

El experimento que muestro por medio de la Figura 5 es conceptualmente igual al experimento que presenté por medio de la Figura 2.2 en el párrafo que titulé: **¿POR QUÉ LA ACELERACIÓN DEBIDA A LA GRAVEDAD NO DEPENDE DE LA CANTIDAD DE MASA DE LOS CUERPOS?** Ahora sólo se tiene la complicación física de que la gran masa adicional, que ahora es el carro adicional de 1000 Kg., no cae según la vertical sino que cae transitando sobre el plano inclinado de 5,853°. Esto determina que la aceleración de la máquina es de casi 1 m/s².

Por asuntos de espacio, a la Figura 5 no la detallé en lo que sería la Figura 5.1, Figura 5.2 y Figura 5.3. **Porque basta con indicar que ahora se tiene la ventaja de estudio concreto acompañado de unidades de medida; pero se tiene la complicación del plano inclinado.**

Así es suficiente que indique que se comienza disponiendo por un momento al carrito de la masa de 1 Kg. sobre el plano inclinado de 5,853°, y al sostenerlo por medio de un medidor de fuerza del tipo resorte con escala graduada, se verifica que se acusa la fuerza de 1 N. —Luego al carrito se lo coloca donde se indica en la figura—.

Luego se arma el experimento como se indica en la Figura 5, y sólo tengo que repetir que al electroimán trasladable se lo mueve hasta que la fuerza acusada por ambos resortes sea de 1N. Después, al desenergizar los electroimanes, se produce el equilibrio acelerado de D’Alembert, porque aparece la fuerza inercial de 1 N que equilibra la fuerza de acción de 1 N.

página 34

POR QUE LA ACELERACION DE LOS CUERPOS QUE CAEN SIN ROCE SOBRE EL PLANO INCLINADO DE 5,853° ES UNITARIA

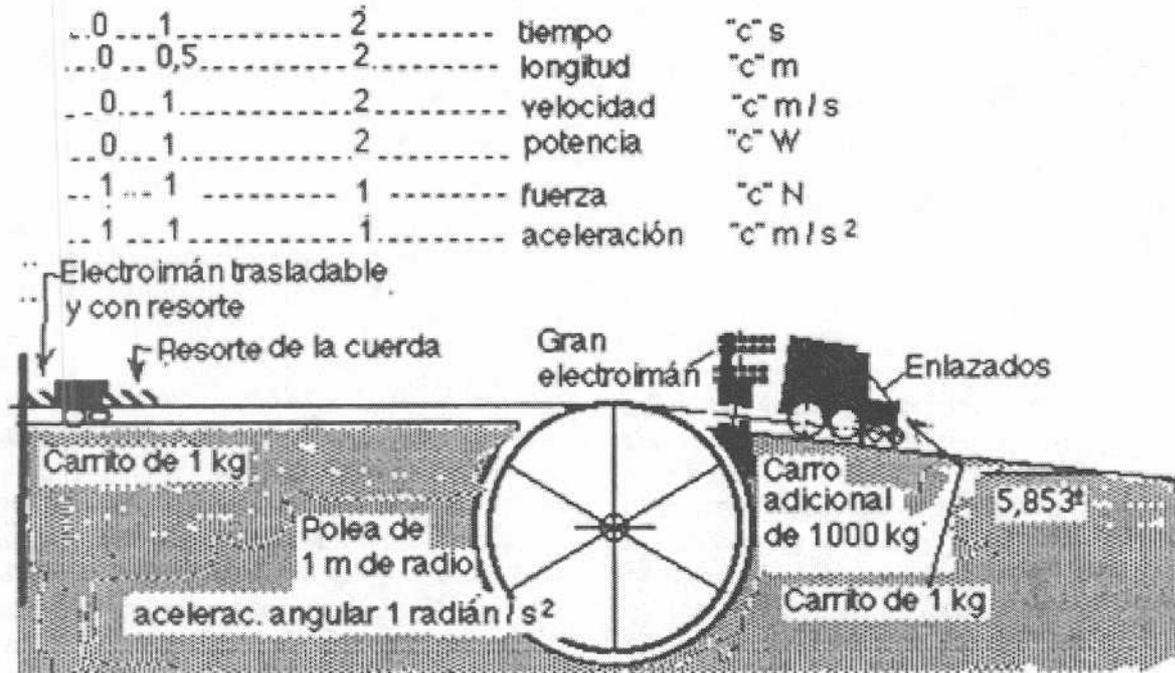


Figura 5

Si se realiza la secuencia anteriormente indicada pero con una masa de 2 Kg., finalmente se constata y comprende que le corresponde una fuerza inercial de 2 N.

Con todo esto se concluye que **ante la aceleración de 1 m/s² las masas crean una fuerza inercial de 1 N por cada kilogramo que de masa tengan, y esto equilibra a la componente de la fuerza de acción gravitacional que se tiene sobre el plano inclinado de 5,853°, que también es de 1 N/kg.** Por lo tanto, en el plano inclinado de 5,853° se tiene que, además de que cualquier cantidad de masa cae con la misma aceleración, sucede que particularmente esta aceleración es de 1 m/s².

En la presente Figura 5, además de reportar que durante todo el experimento se tiene la fuerza constante de 1 N y la aceleración constante de 1 m/s², indico cómo según varía la cantidad de tiempo

varía la cantidad de longitud, más cómo varía la cantidad de velocidad y cómo varía la cantidad de potencia. Todo esto se deriva de las ecuaciones correspondientes, las cuales considero no hace falta repetir en este Trabajo de Investigación. **Pero cabe comentar que es muy bonita la secuencia de la cantidad de potencia con la cual se acciona al movimiento de la masa en estudio: 0 W al inicio, 1 W cuando ha transcurrido el tiempo de 1 s, 2 W a los 2 s, 3 W a los 3 s, y así sucesivamente mientras las dimensiones de construcción del aparato lo permitan.**

Además, la aceleración angular de la polea es de 1 radian/s².

Me permito ratificar que la MAQUINA DE CARLOS AGUERREVERE es realmente un aparato de laboratorio para constatar y comprender a la segunda Ley de Newton, porque en forma concreta

se tiene el resorte que acusa la fuerza de acción sobre la masa en estudio, y *lo bonito es que este resorte se lo traslada con aceleración para que siga acusando constantemente la misma fuerza durante todo el experimento. A esto lo considero como un complemento pedagógico para la figura tradicional que aparece en los libros de Física, donde se indica una fuerza abstracta actuando sobre la masa.*

—Cabe exclamar que: ¡No se debería tener el plano inclinado; la gran masa adicional debería transitar según la vertical!. De nuevo mi respuesta es **afirmativa**, pero para el objetivo de este Trabajo de Investigación, que es tenerse una máquina donde las unidades del SI encajen, **se necesita hacer el sacrificio** correspondiente—.

CONCLUSIÓN

Creo haber llegado al objetivo aunque no lo haya hecho con la mejor de las máquinas. —Perdóneseme la redundancia: “uní a las unidades”—. ***Pero ahora tengo que lograr que guste la forma que he trazado para llegar al objetivo. El problema no es tanto la máquina que estoy proponiendo sino demostrar que todo lo que propongo es compatible con la concepción TRADICIONAL del SI, o dicho en forma más directa, debo demostrar que no desvirtúo este sistema.***

Antes de demostrar que no desvirtúo al SI, quiero comenzar indicando que creo haberle añadido dos tipos de virtudes a este sistema; y además quiero indicar que considero que a la MÁQUINA DE ATWOOD se la debe calificar como LA MÁQUINA DE LAS MÁQUINAS. Como al que a buen árbol se arrima buena sombra lo cobija, quiero indicar lo siguiente:

El primer tipo de virtudes que tiene la MÁQUINA DE CARLOS AGUERREVERE

Para explicar el primer tipo de las virtudes de mi máquina deseo que se considere el siguiente ejemplo:

Imagínese lo difícil que sería enseñar lo que es el metro ateniéndose a la literatura de la definición que aparece en los documentos tradicionales sobre el SI. **Si bien esta definición es intelectualmente perfecta**, es prácticamente imposible captar, o mejor dicho comprender, el concepto del metro **sin agarrar** una cinta de medir, vara, **o cosa por el estilo**. Pues bien, pienso que a la potencia del vatio se la comprende mejor si a la definición precisa que aparece en los documentos tradicionales, **se le añade la forma**

o cosa concreta que he propuesto para agarrar al vatio.

Con la MÁQUINA DE CARLOS AGUERREVERE y con los complementos de esta máquina que oportunamente aspiro a presentar como otros Trabajos de Investigación, se le añaden al SI formas concretas o por lo menos formas más pedagógicas para comprender los conceptos de prácticamente todas las unidades de **todas** las disciplinas de este sistema, y siempre se resalta que la sistematización entre las unidades se deriva de las Leyes de la Física.

¿Por qué el primer tipo de virtudes que tiene la MÁQUINA DE CARLOS AGUERREVERE no desvirtúa al SI?

Con mi máquina no desvirtúo al SI; **lo que hago es continuar una vía que todo el mundo pensaba que terminaba con el establecimiento de los patrones de las unidades básicas.**

Cabe reafirmar que los patrones de las unidades básicas del SI son cosas concretas lo más precisas posibles. La continuación que yo estoy proponiendo es que para el resto de las unidades del SI se tengan también cosas concretas **aunque no sean precisas.**

Las cosas concretas que propongo sólo sirven para ayudar en la comprensión de los conceptos. Esto es perfectamente compatible con el hecho de que **para precisar a los conceptos** haya que remitirse a las definiciones que aparecen en los documentos tradicionales.

Remarcando mi proposición quiero comentar lo siguiente: Todo el mundo está de acuerdo con la longitud del metro, tanto en cuanto a su tamaño como a la precisión; **ahora con la ayuda de mi máquina todo el mundo podrá comentar que la potencia del vatio es “diminuta”, y quien necesite precisar lo relacionado con la palabra “diminuta” se remite a los documentos tradicionales sobre el SI.**

La segunda virtud que tiene la MÁQUINA DE CARLOS AGUERREVERE

La otra de las virtudes que tiene mi máquina es reafirmar que se tiene un sistema de unidades. Respecto de esto me atrevo a comentar que en los documentos tradicionales sobre el SI, **lo que se aprecia es tenerse solamente una yuxtaposición de unidades**, pues sólo se hace un listado agrupando a las unidades clasificándolas como básicas, suplementarias, derivadas como nombres especiales, derivadas comunes; y más aún, cabe comentar que en algunos documentos se ordenan las unidades en orden alfabético. Con mi máquina las unidades quedan **ligadas** por medio de las **Leyes** de la Física,

reafirmandose de esta forma que se tiene un sistema de unidades.

En resumen, creo demostrar que mi máquina **concreta** no desvirtúa la concepción **abstracta** del SI, y más bien lo que mi máquina produce **son ayudas pedagógicas para la comprensión de los conceptos.**

¿POR QUÉ A LA MÁQUINA DE ATWOOD SE LE DEBE CALIFICAR COMO LA MÁQUINA DE LAS MÁQUINAS?

Me permito repetir que el aporte que considero le estoy entregando al SI es el de anexarle formas **concretas** de facilitar la comprensión de sus conceptos.

Con este mismo orden de ideas quiero comentar que a las Leyes de la Física, a cuenta de que sirven para las infinitas máquinas, **no se las habían resaltado con ninguna máquina en particular. Creo que el público expresará su aprecio por la forma en que ayudo a la comprensión de las Leyes de la Física al explicarlas por medio de la MÁQUINA DE ATWOOD.**

¡George Atwood inventó su máquina en 1784! Me tocó repetir la forma de APROVECHARLA plenamente.

LA MÁQUINA ARRIMADA A LA MÁQUINA DE LAS MÁQUINAS

Creo aceptarán que las circunstancias expuestas determinaron la transformación o complicación que he propuesto se le aplique al invento de George Atwood, y creo que a la máquina que originé al insertarle la complicación de los planos inclinados a ese invento lo podrán calificar como un nuevo invento. Como soy el originador de esta nueva máquina, deseo consideren que no sería bueno llamarla particularmente Máquina de Atwood N° 2, porque lo que tuve que hacer fue **complicar** al invento original, **y como además me responsabilizo por mi máquina** deseo me lo confirmen con mi nombre y también aspiro a que **la difundan con alcance internacional.**

MÁQUINA DE CARLOS AGUERREVERE

Nota: Aunque aspiro a presentarles otros Trabajos

de Investigación con los cuales creo ayudaré a la comprensión sistemática de prácticamente todas las unidades de **todas** las disciplinas del SI, deseo repetirles mi solicitud de que al presente Trabajo de Investigación me lo califique como invento, y oportunamente se consideraría la calificación de esos Trabajos complementarios que de Investigación sobre este mismo tema les presentaré cuando convoquen al próximo concurso.

En resumen, la presentación actual corresponde exclusivamente a aprovechamientos derivados de la Máquina de Atwood. **Las futuras presentaciones que les enviaré corresponderán a desarrollos derivados de la filosofía de ese invento.**

BIBLIOGRAFÍA

MARCELO ALONSO (1957). Física Curso Elemental 1 Mecánica. Publicaciones Cultural, S.A. —En la página 104 se tiene la Fig. 6.5 de la Máquina de Atwood con todos los detalles con los cuales George Atwood la inventó. Particularmente en esta figura **aparece el aro** que ha sido tan útil en este ensayo. Me permito comentar que en **ninguno** de los demás libros que he consultado se tiene este aro—.

STEPHEN W. HAWKING (1989). Historia del Tiempo del Big Bang a los agujeros negros. Grupo Editorial Grijalbo Editorial Crítica. —En la página 35 se explica por qué todos los cuerpos caen con la misma aceleración. En la página 34 se indica la pendiente en la cual los cuerpos caen con aceleración unitaria—.

LUIS ALBERTO MACHADO (1975). La Revolución de la Inteligencia. Seix Barral. —**Traza el “entreligare” que he procurado usar en este Trabajo de Investigación.** En la página 120 dice: “Toda obra de la inteligencia es el fruto acabado de un proceso en el que se van cubriendo etapas que pueden ser sistematizadas, entre otras muchas, en la siguiente forma:...”. Dentro de las formas que Machado reporta yo tomé la de **TRANSFORMAR**. En la página 136 define esta forma de la siguiente manera: **“Convertir un ser en otro ser, sin que, de alguna manera, ese ser deje de ser ese mismo ser.”**—.

Cabe incluir en esta Bibliografía al *“Letrero”*: **PROHIBIDO NO TOCAR**, que está en el MUSEO DE LOS NIÑOS, Caracas-Venezuela. —Todos comenzamos siendo niños. El caso es que ahora todos podremos tener la **osadía de tocar al vatio**—.



CORRELACIÓN ENTRE FALLA DE SUELO Y CONDICIONES DEL SUELO EN LA CIUDAD DE ADAPAZARI, TURQUÍA*

■ Rodolfo B. Sancio¹, Jonathan D. Bray², Jonathan P. Stewart³, T. L. Youd⁴, H.T. Durguno_lu⁵, Akin Önalp⁶, Curt Christensen⁷, M. B. Baturay⁸, Turhan Karadayilar⁹ and Raymond B. Seed²

INTRODUCCIÓN

El sismo "Kocaeli" ($M_w = 7.4$) que ocurrió el 17 de agosto de 1999 en Turquía causó grave daño a cientos de edificaciones en la ciudad de Adapazari. De acuerdo a información suministrada por el Gobierno Federal de Turquía, 5.078 edificios (27 % del total existente) fueron severamente dañados o destruidos (Bray y Stewart, 2000). Un gran número de edificaciones modernas con estructura de concreto armado, generalmente entre 3 y 5 pisos de altura, penetraron el suelo adyacente o se inclinaron debido en parte a licuación o reblandecimiento del suelo.

En un esfuerzo conjunto de la Universidad de California en Berkeley, la Universidad de California en Los Ángeles, la Universidad Brigham Young, la Universidad de Sakarya, la Corporación ZETAS, y la

¹ Candidato Doctoral, Universidad de California, Berkeley, EEUU (Ing. Civil UCAB).

² Profesor, Universidad de California, Berkeley, EEUU

³ Profesor Asociado, Universidad de California, Los Angeles, EEUU

⁴ Profesor, Universidad Brigham Young, Provo, Utah, EEUU

⁵ Profesor, Universidad del Bósforo, Estambul, Turquía

⁶ Profesor, Universidad de Sakarya, Adapazari, Turquía

⁷ Candidato Doctoral, Universidad Brigham Young, Provo, Utah, EEUU

⁸ Candidato Doctoral, Universidad de California, Berkeley, EEUU

⁹ Vice-Presidente, Corporación ZETAS, Estambul, Turquía

* artículo presentado en la X Conferencia Internacional de Dinámica de Suelos e Ingeniería Sísmica, Universidad Drexel, Philadelphia, PA. Octubre, 2001. Traducido al español por Rodolfo B. Sancio.

Universidad del Bósforo, se llevó a cabo un extenso programa de investigación que incluyó la documentación del subsuelo y la estructura en determinados sitios de la ciudad en donde ocurrió falla del suelo (Bray et al. 2001a, 2001b). La caracterización del subsuelo se llevó a cabo mediante la prueba de penetración estándar ("Standard Penetration Test", SPT) y la prueba de penetración del cono ("Cone Penetration Test", CPT).

Un total de 135 CPTs y 46 perforaciones con múltiple SPT (a menudo separados 80 cm) se realizaron en la ciudad de Adapazari, Turquía, con el fin de documentar las condiciones del subsuelo en sitios de interés. La mayoría de la investigación se limitó a una profundidad de 10 m., sin embargo 28 CPTs y 5 perforaciones se extendieron para caracterizar suelos a una profundidad de hasta 30 m. La prueba de penetración estándar se realizó de acuerdo a las normas estipuladas en ASTM D6066-98. Aparte de esto, se realizaron mediciones directas de la energía impartida por el sistema al muestreador en cada golpe del martillo usando el "SPT Analyzer™". Gracias a ello se obtuvieron valores confiables de N_{60} , los cuales difieren significativamente de aquellos obtenidos por compañías locales usando martillos anulares y procedimientos que no cumplen con las especificaciones de la prueba.

Este artículo se concentra en los hallazgos preliminares de este estudio, aun en desarrollo, en el cual la penetración de la fundación en el suelo, así como la ausencia de este fenómeno, está relacionado con las condiciones del subsuelo. En esta etapa inicial las condiciones del subsuelo se han clasificado en cuatro categorías generales. La falla de suelo y potencial de licuación de cada una de estas categorías es descrito en detalle.

LA CIUDAD DE ADAPAZARI

Adapazari, la capital de la provincia de Sakarya, tiene una población de aproximadamente 180.000 habitantes. El corazón de la ciudad se encuentra en una fértil planicie formada por la actividad fluvial de los ríos Sakarya y Çark, los cuales le dan a la ciudad su nombre "la isla mercado".

La mayoría de la ciudad se encuentra sobre depósitos aluviales profundos. Una reciente perforación profunda realizada

por la Agencia Federal de Embalses (D.S.I.) en el distrito Yenigün no alcanzó roca a una profundidad de 200 m. Los suelos a poca profundidad ($z < 10$ m) fueron recientemente depositados por los ríos Sakarya y Çark, los cuales frecuentemente inundaban la ciudad antes de que se construyeran presas para controlar su caudal. El periódico desbordamiento del cauce del río dejaba atrás limos, arenas limosas y arcillas. Depósitos ricos en arcilla se depositaban en áreas llanas en donde se estancaba el agua (Onalp, et al. 2001).

Gran parte de la ciudad está densamente desarrollada, principalmente por edificios de concreto armado de 3 a 5 pisos de altura y pequeñas estructuras de madera y ladrillo de 1 y 2 pisos de altura. Las estructuras de concreto armado son principalmente no-dúctiles y su fundación consiste en una losa rígida de concreto armado a poca profundidad, típicamente a 1.5 m debido a la poca profundidad de la mesa freática.

RECuento DEL DAÑO CAUSADO POR EL SISMO KOCAELI DE 1999

Los edificios en Adapazari fueron fuertemente sacudidos por el sismo Kocaeli. La estación sismográfica de Sakarya registró una aceleración horizontal pico ("Peak Ground Acceleration", PGA), velocidad, y desplazamiento de 0.41 g, 81 cm/s, y 220 cm, respectivamente en la dirección este-oeste. La estación sismográfica de Sakarya está localizada en el suroeste de la ciudad, a una distancia de 3.3 km de la expresión superficial de la falla. Está situada sobre el piso de una pequeña edificación de 1 piso (sin sótano) y las condiciones subyacentes consisten de suelo rígido sobre roca (V_s promedio ~ 470 m/s en los primeros 30 m del perfil, Rathje y Stokoe, 2001). El Centro de la ciudad está localizado a 7 km de la expresión superficial de la falla. Debido a que las condiciones del subsuelo allí son más blandas se

Índice	Descripción	Interpretación
GF0	No se Observó Falla de Suelo	No hay movimiento vertical, inclinación, movimiento lateral, o volcanes de arena
GF1	Falla de Suelo Menor	movimiento vertical, $\Delta < 10$ cm; inclinación de edificios > 3 pisos $< 1^\circ$; no hay movimiento lateral
GF2	Falla de Suelo Moderada	$10 < \Delta < 25$ cm; inclinación entre $1^\circ - 3^\circ$; desplazamiento lateral pequeño (< 10 cm)
GF3	Falla de Suelo Significativa	$\Delta > 25$ cm; inclinación de $> 3^\circ$; desplazamiento lateral > 25 cm

Tabla 1. Sistema de Clasificación de Índice de Falla de Suelo (Bray and Stewart, 2000)

espera que haya habido amplificación de los componentes de largo período de las ondas sísmicas. Registros del sismo localizados en depósitos de suelo similares y a distancias similares, sugieren que las aceleraciones máximas en Adapazari han debido estar entre 0.3 g y 0.4 g.

Se realizaron inspecciones de daño a lo largo de cuatro líneas de reconocimiento que atraviesan la ciudad (Bray y Stewart, 2000). En total 719 estructuras fueron inspeccionadas en Adapazari, aproximadamente 4% del total de edificios existentes en la ciudad. El sondeo del daño estructural se realizó de acuerdo al sistema descrito por Coburn y Spence (1992), en el que a cada edificio se le asigna un Índice de Daño Estructural que varía entre D0 (no se observó daño) a D5 (colapso total o de un piso del edificio). La información sobre el desplazamiento vertical de la estructura o penetración relativa al suelo adyacente, inclinación, desplazamiento lateral, y erupción de volcanes de arena fue compilado por investigadores usando el Índice de Falla de Suelo que se muestra en la Tabla 1. GF0 corresponde a la condición en la que no se observó falla de suelo, y GF3 corresponde a penetración significativa del suelo por el edificio de más de 25 cm o 3° de inclinación (Bray y Stewart, 2000).

Peritaje detallado del daño a edificios a lo largo de varias líneas permitió establecer tendencias generales concernientes a la relación entre la falla del suelo y el daño sufrido por los edificios. La densidad y altura de la construcción era consistente a lo largo de las líneas, de forma tal que variaciones en la intensidad del daño son estadísticamente significativas. Algunas localidades con falla de suelo severo sufrieron también daño estructural significativo, a la vez que otras



Figura 1 Plano de 4 distritos en el Centro de Adapazari y ubicación de las líneas de reconocimiento

localidades sólo sufrieron daño estructural moderado. No obstante, no se observaron áreas con falla de suelo y sólo ligero daño estructural. Se observaron volcanes de arena dentro de ciertas áreas en las cuales hubo falla de suelo, sin embargo éstas no eran muy extensas y en otras éstos estuvieron ausentes. La información compilada indica que la severidad del daño estructural generalmente incrementa junto con el nivel de falla de suelo (Bray y Stewart, 2000).

La Figura 1 muestra en plano cuatro distritos localizados en el área del centro de la ciudad. En la misma figura también se muestra las líneas de reconocimiento, de la 1 a la 4, a lo largo de las cuales se anotaron índices de daño en los días que siguieron al sismo. Las condiciones del subsuelo fueron obtenidas a lo largo de estas líneas a través del análisis e interpretación de 59 CPTs y 15 perforaciones con SPT ejecutadas a lo largo de estas líneas (Bray et al., 2001b).

De acuerdo a las estadísticas compiladas por el Gobierno Federal de Turquía (Bray y Stewart, 2000), los cuatro distritos mostrados en la Figura 1 están entre aquellos que sufrieron más daño

Distrito	Colapso/ Grave Daño	Daño Medio	Daño Ligero	Sin Daño	Total Edificios
Cumhuriyet	22%	13%	26%	39%	837
Semerciler	33%	9%	23%	35%	1855
Orta	35%	29%	27%	9%	774
Tigclar	54%	17%	12%	17%	348

Tabla 2. Estadísticas de Daño en los Distritos Centrales de Adapazari (fuente: Gobierno Federal de Turquía, Bray and Stewart, 2000)

(ver Tabla 2). En total, 1.249 edificios colapsaron o fueron fuertemente afectados, lo cual constituye 33% del número total de edificios en estos distritos. Sin embargo, dentro de estos distritos también se observaron áreas con bajo daño estructural y ausentes de falla de suelo (Bray y Stewart, 2000).

En total, 196 edificios fueron evaluados a lo largo de las líneas mostradas en Figura 1. Índices de daño estructural entre D4 (colapso parcial) y D5 (colapso total) se reportaron en 48 edificios, ó 25% del total. De estas 196 estructuras, 134 (68%) son edificios de 3 a 5 pisos, 43 (22%) son edificios de 1 a 2 pisos y los últimos 19 (10%) tienen 6 pisos. De los 48 edificios que sufrieron colapso parcial o total (índice de daño estructural entre D4 y D5, respectivamente), 34 (71%) son edificios con 3 a 5 pisos, 11 (23%) tienen entre 1 y 2 pisos, y los 3 restantes (6%) son edificaciones de 6 pisos.

De la misma forma, de los 48 edificios que sufrieron falla de suelo entre moderada y significativa (GF2 y GF3), 37 edificios (77%) tienen entre 3 y 5 pisos, 3 (6%) entre 1 y 2 pisos, y los 8 restantes (17%) tienen 6 pisos. Estadísticamente, los edificios con 3 a 5 pisos mostraron mayor falla de suelo. Sin embargo, estos valores sólo son representativos si los edificios inspeccionados son representativos de las áreas de la ciudad en las cuales la falla de suelo fue identificada y en donde existen edificios con variedad de número de pisos.

ESTUDIOS Y CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS EN ADAPAZARI

Durante el verano de 2000, 135 pruebas de penetración del cono (CPT) y 46 perforaciones con la implementación de la prueba de penetración estándar (SPT) fueron ejecutadas en la ciudad de Adapazari con el fin de investigar las condiciones del subsuelo en sitios en donde se observó falla de suelo así como en sitios en donde no se observó este fenómeno. Detalles sobre este programa de investigación, incluyendo perfiles de CPT y planillas de perforación están disponibles en la página web del Centro de Investigación de Ingeniería Sísmica del Pacífico (PEER): <http://peer.berkeley.edu/turkey/adapazari> (Bray et al., 2001b).

Los criterios delineados por ASTM D5778-95, D1586 y D6066-98 fueron cuidadosamente seguidos para así garantizar la calidad de la información. Aparte de esto, la energía suministrada por el sistema du-

rante la prueba de penetración estándar fue medida para así obtener valores de N_{60} más precisos. Los procedimientos y equipo usados en este estudio están descritos en más detalle por Bray et al., 2001a.

Después de revisar cuidadosamente los perfiles de suelo obtenidos del análisis e interpretación de los CPTs y de las muestras de suelo obtenidas del SPT, se desarrollaron cuatro categorías generales de condiciones del subsuelo mostradas en la Figura 2. Estos tipos de condiciones de subsuelo se describen a continuación:

Suelo Tipo 1: Esta categoría de sitio está caracterizada por la presencia de limo y limo arenoso suelto de baja plasticidad en los primeros 4 m de profundidad. Este limo es de color marrón rojizo. El espesor de este estrato oscila entre 0.5 m y 2.5 m. El valor del límite líquido (LL) varía entre 25% y 35% y la relación entre el contenido natural de agua (w_n) y el LL es generalmente mayor que 0.9. El contenido de finos (FC) de las muestras de suelo obtenidas en este estrato oscila entre 52% y 97% y por lo general es mayor que 75%. El porcentaje de partículas menores que 5mm varía entre 10% y 35%, normalmente está entre 20% y 30%. La resistencia a la penetración corregida de este estrato, $(N_1)_{60}$, varía entre 3 y 15 (golpes/30 cm), y por lo general se encuentra entre 7 y 10. Una muestra de materia orgánica obtenida a una profundidad de 4 m data de hace 1.000 años, lo cual indica que los limos superiores son depósitos recientes que tienen alta susceptibilidad a la licuación (Youd y Perkins, 1978).

Depósitos de arcillas de baja plasticidad y estratos de limo y limo arenoso medianamente denso a denso se encuentran interestratificados debajo del limo marrón previamente descrito. El color de estos suelos es transicional de marrón a gris a aproximadamente 5 m de profundidad. A profundidades mayores de 9 m el suelo consiste en arcillas, limos y arenas interestratificados.

Suelo Tipo 2: Aunque muy similar al Suelo Tipo 1, esta categoría difiere de la Tipo 1 en que el suelo localizado directamente bajo el limo marrón suelto consiste en arena gris densa ($q_{c1N} > 160$ y $(N_1)_{60} > 30$) hasta una profundidad de aproximadamente 9 m. Por lo general, las muestras de esta arena contienen menos de 5% de partículas finas (< 75 mm) y menos de 5% de partículas gravosas. Sin embargo, en ciertas localidades las muestras recabadas contenían hasta 27% de grava fina. El tamaño promedio de partículas (D_{50}) de este estrato varía entre 0.4 mm y 1.7 mm.

Suelo Tipo 3: El suelo entre aproximadamente 1.5 m y 4 m de profundidad de este perfil es arcilla limosa

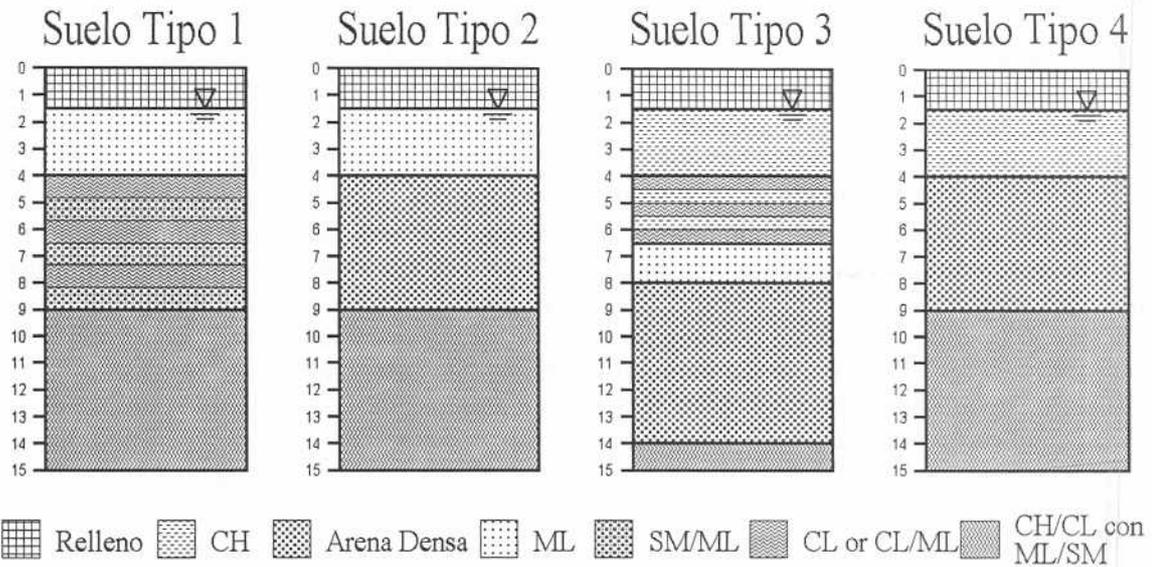


Figura 2 Perfiles de suelo Tipo en el Centro de Adapazari

marrón de alta plasticidad, debajo de la cual se encuentran lentes, vetas y depósitos de poco espesor de limo arcilloso y arcilla limosa. Estos sedimentos plásticos continúan a profundidades de hasta 7 m. El color del suelo es transicional de marrón a gris a una profundidad de aproximadamente 5 m. El valor del LL oscila entre 29% y 65%, sin embargo la mayoría son mayores que 35%. Algunos de estos suelos tienen contenido de agua natural cerca de, o en exceso del límite líquido. El espesor de los estratos de limo es generalmente menor que 25 cm, pero algunos miden hasta 50 cm. El espesor combinado de estos estratos varía entre 1 m y 3 m. La resistencia a la penetración de estos limos y mezclas de limos y arcillas es baja ($q_c < 2$ MPa, $q_{c1N} < 15$ y $(N_1)_{60} < 10$). Desde aproximadamente 7 m hasta una profundidad de 8 m a 9 m, el suelo es generalmente limo arenoso a arena limosa gris medianamente densa ($40 < q_{c1N} < 90$, $12 < (N_1)_{60} < 22$) con vetas de arcilla limosa. Estos limos no plásticos de mayor profundidad se encuentran sobre arena y arena limosa densa ($q_{c1N} > 160$ y $(N_1)_{60} > 30$) de color gris hasta una profundidad de 14 m. Muestras de suelo de este estrato contienen entre 5% y 25% de partículas finas. D_{50} de estas muestras varía entre 0.1 mm y 0.6 mm, pero por lo general oscila entre 0.2 mm y 0.3 mm. A profundidades mayores, el suelo consiste en arcillas, limos y arenas interestratificados.

Suelo Tipo 4: Esta categoría es similar al Suelo Tipo 2, pero difiere en que el limo marrón que se encuentra a poca profundidad y que es característico del Tipo 2, es reemplazado por entre 1.5 m y 4 m de arcilla limosa de mediana a alta plasticidad. Se contempla la existencia de depósitos de poco espesor

(espesor < 50 cm) de limo arcilloso de baja plasticidad en los primeros 4 m a 5 m de este perfil.

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUACIÓN

El movimiento del suelo en Adapazari fue suficientemente intenso como para inducir valores de la relación de esfuerzo cíclico ("Cyclic Stress Ratio", CSR) entre 0.35 y 0.4 en los primeros 5 m del perfil de suelo. En este intervalo de profundidad, las curvas de resistencia al esfuerzo cíclico (CRR) basadas en SPT y CPT son aproximadamente rectas y casi verticales (Youd et al., 2001). Es por ello que cualquier incertidumbre en la estimación de CSR o solicitaciones impuestas por el sismo de 1999, no afecta significativamente la evaluación del potencial de licuación del suelo.

La mayoría de los suelos en Adapazari contienen un porcentaje significativo de partículas finas (i.e. > 35% pasantes del tamiz #200). La base de datos en la cual está basado el método de Seed et al. (1985) está dominado por casos de licuación de arenas sin partículas finas y arenas limosas con menos de 35% de partículas finas. Solamente 13 casos con más de 35% de partículas finas estaban disponibles cuando se construyó la curva de CRR a mediados de los 80's.

La evaluación de la susceptibilidad a la licuación de los suelos en Adapazari se llevó a cabo usando los criterios recomendados por Youd et al. (2001). De acuerdo con éstos, un suelo es susceptible a licuación si el índice de respuesta del suelo, I_c , ("soil behavior

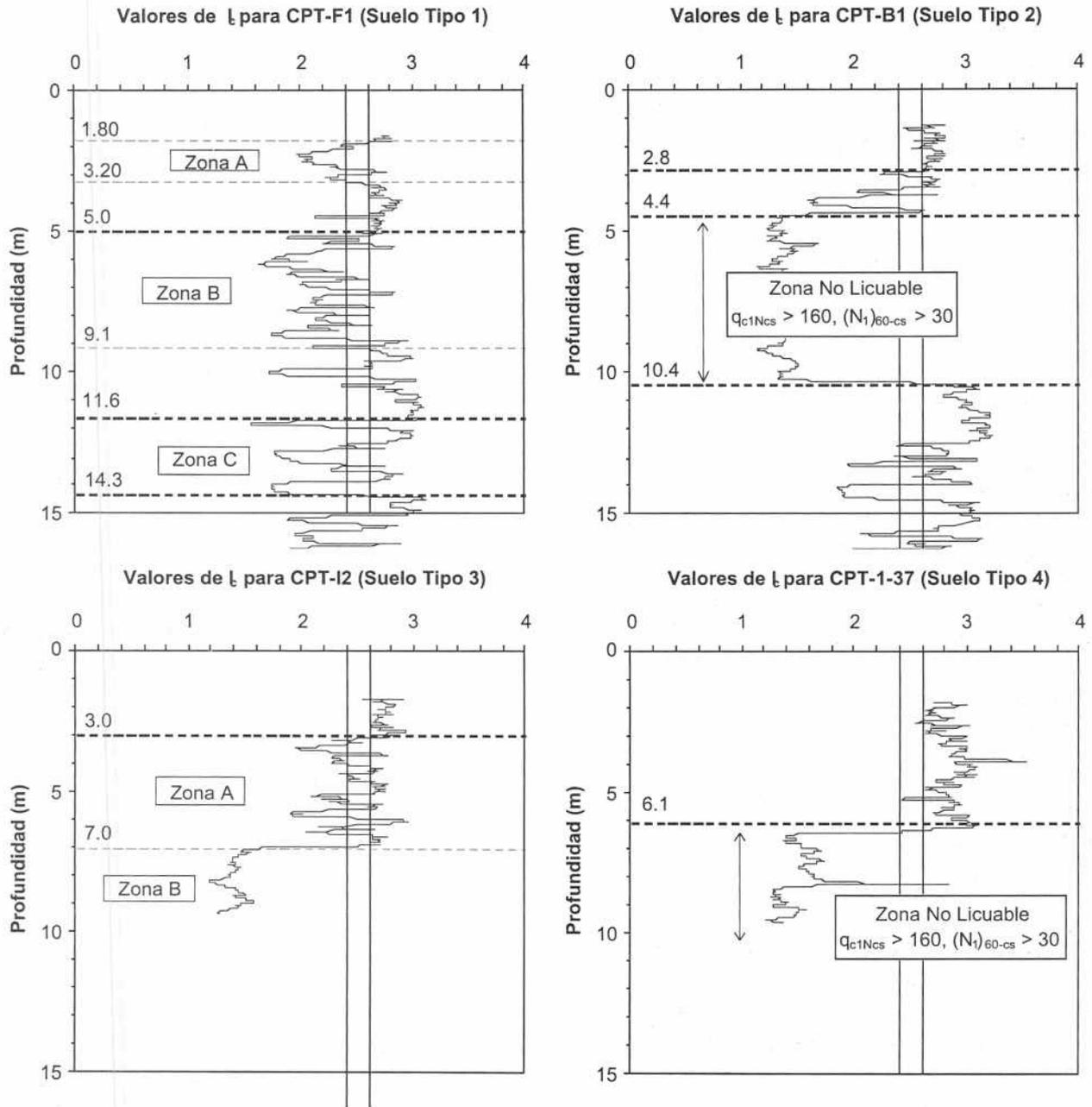


Figura 3 Valores representativos del índice de respuesta del suelo (I_r) para a) Perfil de suelo Tipo 1, b) Perfil de suelo Tipo 2, c) Perfil de suelo Tipo 3, y d) Perfil de suelo Tipo 4

index", Robertson y Wride, 1997), el cual está basado en el CPT, es < 2.6 , o si se cumple el Criterio Chino ("Chinese Criteria"). Este criterio, definido por Seed e Idriss (1982), y confirmado por las recomendaciones de Youd et al. (2001), especifica que licuación sólo puede ocurrir si se cumplen todas las siguientes condiciones: (1) menos de 15% de partículas menores de 5 mm en diámetro, (2) el límite líquido (LL) es menor que 35%, y (3) el contenido de agua (w_n) es mayor que 0.9LL.

Las Figuras 3a a 3d muestran los valores de I_c para perfiles representativos de las condiciones del subsuelo en suelos de Tipo 1 a 4, respectivamente. También se muestra la profundidad para la cual $I_c < 2.6$. Tres zonas son identificadas en la Figura 3a (Suelo Tipo 1) con valores de I_c por debajo de 2.6; éstas están entre 1.8 m y 3.2 m (Zona A), entre 5.0 m y 9.1 m (Zona B), y desde 11.6 m a 14.3 m (Zona C). Muestras de suelo obtenidas en las inmediaciones de este CPT. indican que el suelo de la Zona A es limo marrón de baja plasticidad. Aunque las características de las muestras cumplen con las condiciones de LL y w_n/LL del criterio Chino (i.e. $LL > 35\%$ y $w_n > 0.9LL$), este suelo no se consideraría licuable si nos apegáramos estrictamente al criterio, ya que la cantidad de partículas menores que 5 mm es generalmente más de 15%. Sin embargo, para este estudio la condición del tamaño de partículas no será considerado a la hora de establecer la susceptibilidad a la licuación de un estrato de suelo y un criterio Chino abreviado basado únicamente en las condiciones de límite líquido e índice de liquidez. Bray et al. (2001a) encontraron que el uso de estas dos condiciones para identificar suelos susceptibles a licuación es consistente con las observaciones de campo y que el uso de la condición de 5 mm del criterio Chino clasificaba de forma errónea suelos licuables como no licuables.

Este estrato (Zona A) tiene una baja resistencia a la penetración, por lo tanto exhibe un bajo valor de la resistencia al esfuerzo cíclico (CRR) y puede licuarse en el campo bajo los valores de aceleración que se estiman que ocurrieron en Adapazari ($0.3 g < PGA < 0.4 g$).

Los suelos de la Zona B con valores de $I_c < 2.6$ consisten en arena limosa y limo de baja plasticidad. Muestras de limo obtenidas a esta profundidad tienen LL entre 28% y 31%, contenido de agua natural (w_n) cerca del LL, y contenido de partículas de 5 mm cerca de o menor que 15%. La resistencia a la penetración

de este material es muy variable y por ello algunos de estos estratos pueden haberse licuado durante el sismo y haber contribuido junto con los suelos de la Zona A a la falla de suelo observada. Finalmente, las arenas localizadas en la Zona C tienen alta resistencia a la penetración ($q_{c1N} > 160$ y $(N_1)_{60} > 30$) y son muy densas como para licuarse.

El suelo entre 2.8 m y 4.4 m ($I_c < 2.6$) en la Figura 3b (Suelo Tipo 2) tiene límites de consistencia y resistencia a la penetración similares al suelo de la Zona A del perfil de suelo Tipo 1. Las muestras del potencialmente licuable limo marrón obtenidas en este depósito generalmente cumplen las condiciones de LL y w_n/LL del criterio Chino, mientras que la cantidad de partículas de tamaño menor que 5 mm es generalmente mayor que 15%. El análisis de este perfil también indica que los suelos entre 4.4 m y 10.4 m son susceptibles a licuación ya que $I_c < 2.6$. Sin embargo dada la alta resistencia a la penetración, este estrato no debe de haberse licuado durante el sismo.

Los limos y arcillas que están interestratificados entre 3 m y 7 m, Zona A de la Figura 3c (Suelo Tipo 3), son los únicos sedimentos en la parte superior de este perfil de suelo que son potencialmente licuables ($I_c < 2.6$). Adicionalmente, esta sección de la columna de suelo tiene una resistencia a la penetración para la cual la resistencia al esfuerzo cíclico (CRR) es menor que el esfuerzo cíclico aplicado (CSR) por el sismo. Algunas muestras de suelo obtenidas en este estrato tienen $LL < 35\%$ y $w_n/LL > 0.9$. Aunque la cantidad de partículas menores que 5 mm es generalmente mayor que 15%, es posible que este suelo se haya licuado durante el sismo. El estrato de arena gris mal gradada, Zona B en la Figura 3c, tiene alta resistencia a la penetración caracterizada por $q_{c1N} > 160$ y $(N_1)_{60} > 30$ y es considerado muy denso como para haberse licuado.

Con la excepción de los finos lentes localizados a 2.5 m y 5 m de profundidad, el valor de I_c para el perfil de suelo mostrado en la Figura 3d (Suelo Tipo 4) es mayor que 2.6. Esto indica que el contenido de arcilla en el suelo es muy alto como para licuarse. Otras perforaciones en sitios similares indican que estos suelos no son susceptibles al fenómeno de licuación debido a su alto índice de plasticidad. Sin embargo, suelos arcillosos débiles, que no son propensos a la licuación, podrían aún ser susceptibles a una disminución significativa de su resistencia al corte cuando se les imponen sollicitaciones cíclicas, es así como no se puede excluir falla de suelo en estos sitios.

CORRELACIÓN ENTRE FALLA DE SUELO Y CONDICIONES DEL SUBSUELO

Las Figuras 4a a 4d muestran la distribución del Índice de Falla de Suelo a lo largo de las líneas de reconocimiento 1 a 4 mostradas en la Figura 1. Como se puede ver, la falla de suelo es predominante en donde las condiciones del subsuelo consisten en perfiles de suelo Tipo 1, 2 y 3. La falla de suelo estaba ausente o fue de menor grado en sitios con perfil de suelo Tipo 4. Una barra oblicua (/) indica una transición entre tipos de suelo.

Aparentemente la falla de suelo es frecuente en donde existen condiciones de suelo Tipo 1 y 2, i.e. entre aproximadamente 3.75 km y 4.2 km a lo largo de la Línea 1 y 0.4 km y 1.1 km a lo largo de la Línea

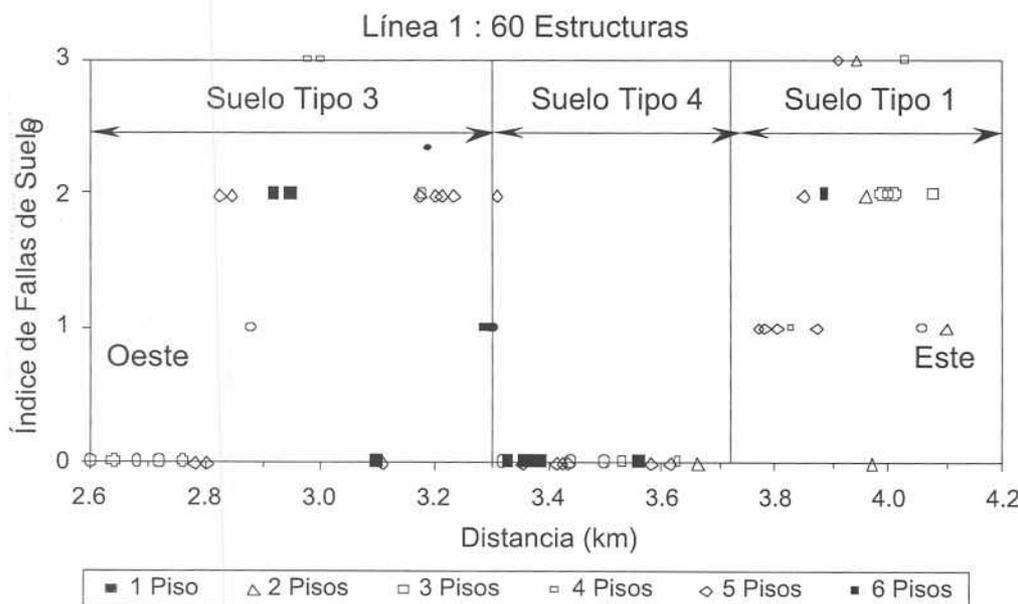


Figura 4 a) Distribución del Índice de Falla de Suelo y tipo de perfil a lo largo de la Línea 1

4. Se cree que la presencia de limo suelto de baja plasticidad, de color marrón rojizo y a poca profundidad en los perfiles suelo Tipo 1 y 2 tuvo gran influencia en la falla de suelo. Se cree que la variabilidad del espesor y plasticidad del estrato de limo son las causantes de la ausencia de falla de suelo en áreas en donde las condiciones del suelo son de Tipo 1 y 2. Como se describió previamente, el límite líquido de este material oscila entre 25% y 35% y el espesor entre aproximadamente 0.5 m y 2.5 m. Es posible que el mayor daño se haya concentrado en zonas en las

cuales el limo exhibe menor plasticidad y tiene un mayor espesor. Otro factor que pudo haber contribuido al daño es la variabilidad del espesor y resistencia a la penetración de los limos y arenas que se encuentran entre 5 m y 9 m de profundidad.

El pequeño número de edificios para los cuales se registró falla de suelo a lo largo de la Línea 3 mostrada en la Figura 1 (ver Figura 4c) se debe al alto número de edificios con alto índice de daño estructural (colapso total). El desempeño de la fundación no puede ser evaluado en edificios colapsados (Bray y Stewart, 2000). A lo largo de esta porción de la Línea 3, 11 edificios de un total de 24 inspeccionados sufrieron daño estructural catalogado como D4 (colapso parcial) o D5 (colapso total), lo cual representa 46% del total de edificios peritados.

La distribución del índice de falla de suelo presentado en la Figura 4 ha sido también catalogado según el número de pisos de la estructura encuestada. En general, se puede notar que el tipo de suelo sobre el cual está fundado el edificio parece tener una influencia más pronunciada en la severidad de la falla de suelo. En sitios donde se presentaban suelos susceptibles a la licuación (predominantemente perfiles de suelo Tipo 1 y 2), se encontró que la altura (o peso) de la edificación contribuye a la severidad de la falla de suelo. Este tópico se discutirá en los párrafos siguientes.

Como se mencionó anteriormente, el índice de falla de suelo reportado es principalmente una función del desplazamiento vertical del edificio y del grado de inclinación de la estructura. Figura 5 muestra el desplazamiento vertical promedio de los edificios fundados en perfiles de suelo Tipo 1 y 2 en función del número de pisos de la estructura, lo cual está directamente relacionado con la presión de contacto ejercida. Aquellos edificios que se inclinaron excesivamente no fueron incluidos en la figura.

Estudios empíricos anteriores han mostrado que el desplazamiento vertical inducido por sismos en edificios fundados sobre suelos granulares está relacionado, entre otros factores, con el ancho de la

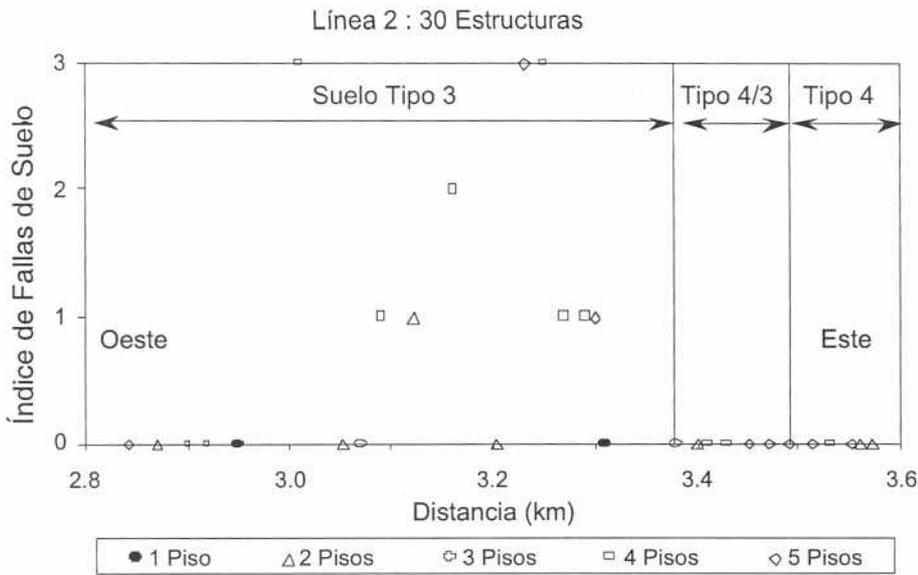


Figura 4 b) Distribución del Índice de Falla de Suelo y tipo de perfil a lo largo de la Línea 2

Figura 4 c) Distribución del Índice de Falla de Suelo y tipo de perfil a lo largo de la Línea 3

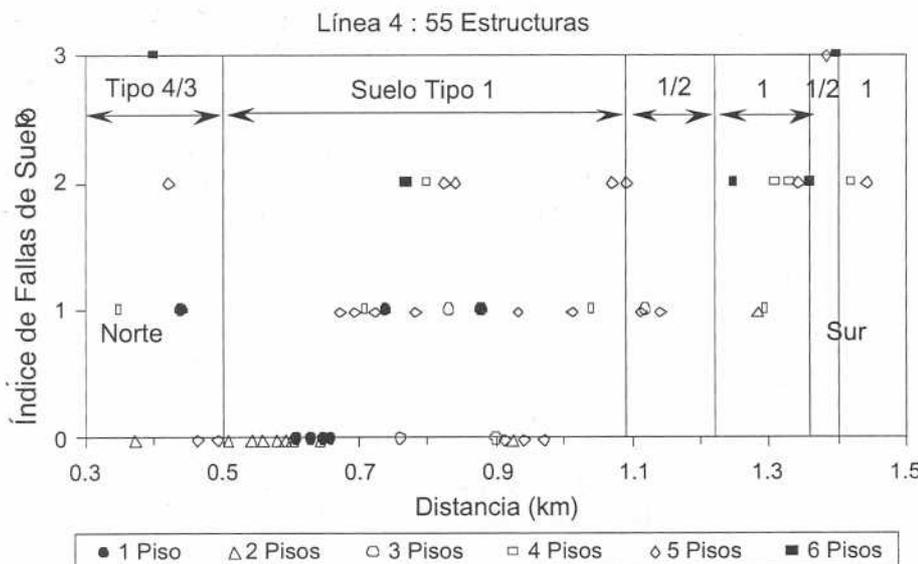
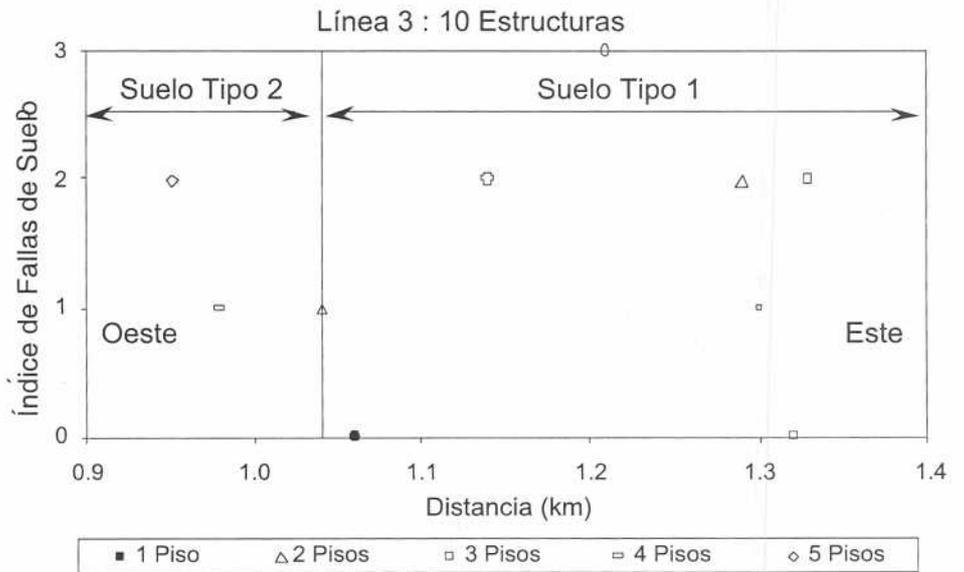


Figura 4 d) Distribución del Índice de Falla de Suelo y tipo de perfil a lo largo de la Línea 4

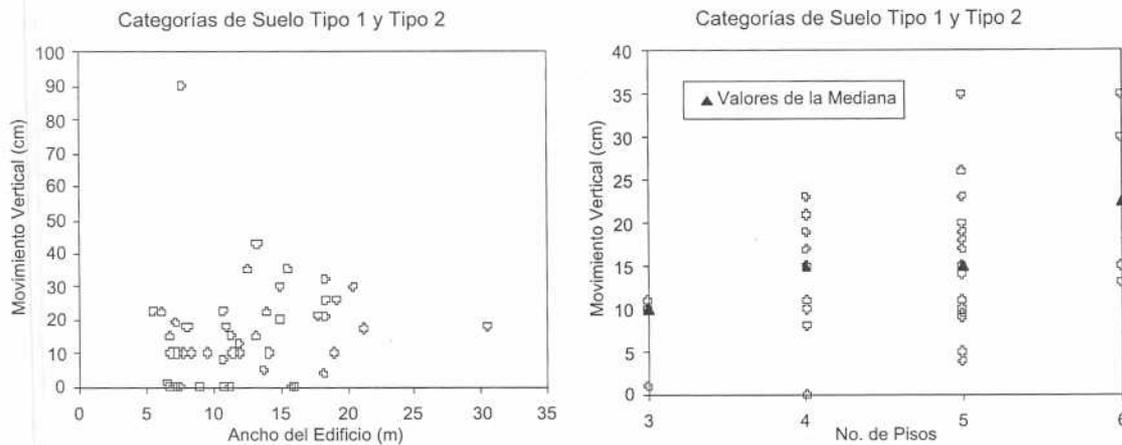


Figura 5 Relación entre el desplazamiento vertical relativo del edificio con respecto al suelo y a) ancho del edificio, y b) número de pisos de la estructura

fundación y la presión de contacto (e.g. Yoshimi y Tokimatsu, 1977, Liu, 1995, y Shahien, 1998). Esta relación ha sido estudiada también con ensayos en modelos físicos (e.g. Yoshimi y Tokimatsu, 1977 y Liu y Dobry, 1997) en los que se halló que la cantidad de desplazamiento vertical es inversamente proporcional al ancho de la fundación.

Como se puede observar en la Figura 5a, el ancho de la mayoría de las fundaciones de las estructuras oscila entre 5 m y 20 m. Dentro de este rango, la mayoría de las estructuras experimentaron entre 0 cm y 30 cm de desplazamiento vertical y una relación entre estos dos factores no es aparente. Sin embargo, como se muestra en la Figura 5b, el desplazamiento vertical del edificio con respecto al suelo depende del número de pisos de la estructura. Sin tomar en consideración el ancho de la fundación, en promedio, los edificios más altos y más pesados tuvieron un desplazamiento vertical mayor a aquel que experimentaron los edificios más pequeños y más livianos.

CONCLUSIONES

Aparentemente las variaciones locales en las características de los sedimentos aluviales jugaron un papel importante en la presencia o ausencia de falla del suelo y consecuente daño a los edificios en la ciudad de Adapazari. El grado de falla de suelo observado a lo largo de cuatro líneas que atraviesan

cuatro distritos centrales de la ciudad parece estar controlado por las condiciones del subsuelo. Se observó falla de suelo en zonas que son susceptibles a licuación basado en criterios tradicionales con la excepción del uso del criterio Chino abreviado que no incluye el contenido de partículas menores que 5 mm. Falla de suelo estuvo ausente en zonas en las cuales los suelos son muy arcillosos como para ser considerados licuables.

Nuestra interpretación preliminar de la información de campo sugiere que el tipo y ancho de los edificios no afecta significativamente el grado de falla de suelo. Sin embargo, la localización de los desplazamientos verticales del terreno alrededor de las edificaciones, la relativa falta de observaciones de licuación en campos abiertos y el mayor grado de severidad de falla de suelo para edificios de mayor altura, sugiere que deformaciones asociadas a la interacción entre el suelo y la estructura pueden haber provocado la falla de suelo. Estudios en desarrollo están evaluando los efectos de la interacción entre el suelo y la estructura, y el papel que juega la respuesta del edificio en la falla de suelo.

AGRADECIMIENTOS

El apoyo financiero fue facilitado por la Fundación Nacional de la Ciencia (US-NSF), beca CMS.9987829 y CMS-0085130, por el Departamento de Transporte del Estado de California, la Comisión Energética del

Estado de California, y Pacific Gas and Electric Company a través del Lifelines Program del Centro de Investigación de Ingeniería Sísmica del Pacífico (PEER). El apoyo logístico fue suministrado por la Corporación ZETAS y por la Universidad de Sakarya. Se agradece la ayuda prestada por el Profesor J. Ochoa en la preparación de este artículo.

REFERENCIAS

- Bray, J. D., and Stewart, J. P., (Coordinators and Principal Contributors) Baturay, M. B., Durgunoglu, T., Onalp, A., Sancio, R. B., and Ural, D. (Principal Contributors). (2000) "Damage Patterns and Foundation Performance in Adapazari" Chapter 8 of the Kocaeli, Turkey Earthquake of August 17, 1999 Reconnaissance Report, in *Earthquake Spectra*. Suppl. A to Vol. 16, EERI, pp. 163-189.
- Bray, J. D., Sancio, R. B., Durgunoglu, H. T., Onalp, A., Seed, R. B., Stewart, J. P., Youd, T. L., Baturay, M. B., Cetin, K. O., Christensen, C., Karadayilar, T., and Emrem, C. (2001a) "Ground Failure in Adapazari, Turkey. Lessons Learned from Recent Strong Earthquakes, XV International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, pp. 19-28.
- Bray, J.D., Sancio, R.B., Youd, L.F., Christensen, C., Cetin, O., Onalp, A., Durgunoglu, T., Stewart, J. P., C., Seed, R. B., Baturay, M.B., Karadayilar, T., and Emrem, C. (2001b) "Documenting Incidents of Ground Failure Resulting from the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey Earthquake," Pacific Earthquake Engineering Research Center website: <<http://peer.berkeley.edu/turkey/adapazari/>>.
- Coburn, A. and Spence, R. (1992) *Earthquake Protection*. John Wiley & Sons, West Sussex, England.
- Liu, H. (1995) An empirical Formula for Evaluation of Buildings Settlements due to Earthquake Liquefaction. Proceedings of the 3rd International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics. Vol. 1, pp. 289-293.
- Liu, H., and Dobry, R. (1997) Seismic response of Shallow Foundation on Liquefied Sand. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 123, No. 6, pp. 557-567.
- Onalp, A., Arel, E., Bol, E. (2001) A general Assessment of the Effects of 1999 Earthquake on the Soil-Structure Interaction in Adapazari.
- Rathje, E. M. and Stokoe II, K. H. (2001) "Kocaeli and Duzce Earthquakes – Strong Motion Stations Data from SASW Testing," Pacific Earthquake Engineering Research Center Lifelines Quarterly Progress Meeting, Summary Notes, 1 p.
- Robertson, P.K. and Wride, C. E. (1997) "Cyclic Liquefaction and Its Evaluation Based on the SPT and CPT," in Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. National Center for Earthquake Engineering Research. Technical Report NCEER-97-0022, p 41-88.
- Seed, H. B.; Idriss, I. M. (1982) *Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes*. EERI Monograph, Berkeley, California, 134 pages.
- Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F., and Chung, R. M. (1985) Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluation. *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 111, No. 12, pp. 1425-1445.
- Shahien, M.M. (1998) Settlement of Structures on Granular Soils Subjected to Static and Earthquake Loads. Ph.D. Thesis. University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, Illinois.
- Yoshimi, Y. and Tokimatsu, K. (1977) Settlement of Buildings on Saturated Sand During Earthquakes. *Soils and Foundations*, Vol. 17, No. 1, pp. 23-38.
- Youd, T.L., and Perkins, J.B. (1987) Mapping of Liquefaction Severity Index. *J. of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 113, No. 11, pp. 1374-1392.
- Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, W.D. Liam, Harder, Jr., L.F., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J.P., Liao, S.S.C., Marcuson, III, W. F., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R.B., and Stokoe, II, K.H. (2001) Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, Vol. 127, No. 4, pp. 297-313.



**SOLUCIONES DEL MEDIO
CONTINUO APLICABLES A
PERFILES DE CARGA
GENERALIZABLES, A
PARTIR DE LA ECUACIÓN
DIFERENCIAL DE
MURASHEV, SIGALOV Y
BAYKOV.
PARTE II**

■ P.F. Hummelgens

Profesor de Matemáticas, UNIMET y USB

■ M.Paparoni

Profesor de las Escuelas de Ingeniería Civil,
UNIMET, UCAB (CIDI)

RESUMEN

Se presentan soluciones generalizadas del Método del Continuo, correspondientes a la Ecuación Diferencial de un Pórtico Prismático desarrollada por los autores rusos Murashev, Sigalov y Baykov, a través del empleo de series Hipergeométricas. En trabajos anteriores publicados en esta misma revista se habían obtenido soluciones particulares correspondientes a sólo ciertos perfiles de carga lateral representables por distribuciones lineales (Uniforme y Triangular). En el presente trabajo se extienden dichas soluciones a perfiles monómicos representables por funciones potenciales con exponentes reales no negativos que pueden tomar valores cualesquiera, eliminando las inestabilidades numéricas que antes se presentaban. En futuros artículos ofreceremos soluciones correspondientes a cargas concentradas singulares o múltiples.

SUMMARY

The authors present Solutions to the Differential Equations of Murashev, Sigalov and Baykov describing the behavior of framed structures with constant properties along their heights, subject to continuous lateral loads profiled as power functions with real, non-negative exponents.

In former papers published by the same authors in this magazine, solutions corresponding to linear pro-

files were presented. This article adds the general solutions corresponding to real non-negative exponents. Particular solutions corresponding to single or multiple concentrated loads will be developed for future articles.

INTRODUCCIÓN

Soluciones llamadas del Método del Continuo existen en la literatura en abundancia y, en particular, el segundo de los autores desarrolló hace tiempo (Paparoni, 1992) un conjunto de soluciones, mezcla de expresiones exponenciales y polinómicas relativamente sencillas. (exponenciales + polinomios de cortante + polinomios de flexión)

Estas expresiones presentaron la novedad de separar las porciones Homogénea, Cortante y Flectora de las soluciones, permitiendo interpretaciones variadas sobre la conducta estructural de los Pórticos actuando como Sistemas.

Dichas soluciones fueron paulatinamente contrastadas y mejoradas comparando sus resultados con soluciones matriciales, ello se hizo a lo largo de una serie abundante de trabajos especiales de grado de la UCV, la UNIMET y la UCAB.

Esas soluciones, de fácil empleo práctico por su sencillez, presentaban inestabilidades numéricas con los pórticos de bajo acoplamiento (valores de I bajos), para algunos casos de carga.

El mismo Autor extendió esas mismas expresiones para casos más generales de exponentes enteros positivos para monomios de carga potenciales, y a exponentes no enteros para intervalos acotados. (Trabajo no publicado, Paparoni, 2000)

Lo aquí presentado ahora resuelve las inestabilidades encontradas y generaliza las soluciones a una gama de exponentes muy amplia.

Estas situaciones hacen pensar que las soluciones anteriormente obtenidas no eran completas, aunque fuesen prácticamente satisfactorias.

El lector puede preguntarse entonces: ¿Cuál puede ser la utilidad ingenieril de estas nuevas soluciones? La respuesta es relativamente sencilla: utilizando las soluciones para perfiles monómicos aquí obtenidas será posible aproximar expresiones funcionales o conjuntos de datos numéricos semejantes a los que se obtienen para los perfiles de carga que se originen de los análisis dinámicos modales de edificios. Para ello se pueden generar polinomios que puedan esos perfiles de carga, con distintos grados de aproximación

si utilizamos ajustes convenientes por mínimos cuadrados.

De esta forma será posible investigar, con amplitud y relativa facilidad, la conducta de sistemas aporticados sujetos a perfiles de carga lateral complicados. Se pueden así realizar de una manera bastante rápida y eficiente estudios sistémicos de pórticos sujetos a acciones dinámicas. También será posible transmitir en una forma fuertemente condensada la información referente a perfiles de carga complejos, originados de análisis dinámicos modales en estructuras, sin tener que apelar a largas listas de información digital. Podremos aproximar dichos perfiles con ajustes polinómicos por mínimos cuadrados, las soluciones que buscamos serán entonces combinaciones lineales de las expresiones que aquí presentamos.

Los resultados clarificadores de la conducta de pórticos, ya logrados anteriormente con las soluciones originales incompletas, pueden seguramente extenderse así a casos totalmente generales.

Los resultados obtenidos hasta ahora con perfiles lineales nos muestran claramente que las estructuras aporticadas no contienen categorías separadas de comportamiento, sino una relativamente suave transición de una categoría hacia otra (pórticos, muros acoplados, estructuras duales etc.). Es bien sabido que estas categorizaciones adoptadas por las normas sísmicas hacen que pasemos, a veces bruscamente, de un nivel de cargas laterales a otro, basándonos únicamente en descripciones verbales y no en expresiones numéricas. El desarrollo matemático aquí presentado fue realizado por el primer autor, una vez establecidos con el segundo autor los objetivos y los casos de carga de interés estructural.

1) INTRODUCCIÓN

En un trabajo anterior ([1]), consideramos el problema de valores en la frontera planteado por la ecuación diferencial de un pórtico (como propuesto por MURASHEV-SIGALOV-BAYKOV ([2]), sujeta a ciertas condiciones de borde, y para cargas de la forma

$$q(x) = \hat{q} \left(\frac{x}{H} \right)^n \quad (1)$$

con $n \geq 0$ un entero. En el presente trabajo nos proponemos extender nuestros resultados anteriores al caso que n sea cualquier número real no negativo.

Veremos que esta extensión lleva de manera natural a la introducción de las funciones hipergeométricas generalizadas implementadas en MATHEMATICA (mientras que, desde luego, la función factorial queda reemplazada por la función gamma)

Con la notación de [1], nuestro problema es el de resolver la ecuación diferencial

$$u^{(4)}(\xi) = \lambda^2 u''(\xi) = g(\xi) ; 0 \leq \xi \leq 1 \quad (2)$$

con

$$g(\xi) = H^4 \hat{q} \left[\xi^n + \lambda^2 f(\mu) \{-\xi^{n+2} + (n+2)\xi - (n+1)\} \right] \quad (3)$$

donde

$$f(\mu) = \frac{\mu}{(1+\mu)(n+1)(n+2)} \quad (4)$$

sujeta a las condiciones de frontera

$$u(0) = u'(0) = 0, \quad u''(1) = 0, u'''(0) = -\frac{H^4 \hat{q}}{n+1} \quad (5)$$

introduciendo las funciones

$$L_m(\xi) = -\frac{\xi^{m+2}}{(m+1)(m+2)} ; \quad m \geq 0 \quad (6)$$

$$I_m(\xi) = \int_0^\xi \sinh[\lambda(\xi-t)] t^m dt ; \quad m \geq 0 \quad (7)$$

encontramos para la solución $u(\xi)$ del problema de valores en la frontera la expresión

$$\left. \begin{aligned} u(\xi) = & \frac{H^4 \hat{q}}{\lambda^3} [I_n(\xi) + \lambda L_n(\xi)] + \frac{H^4 \hat{q}}{\lambda} f(\mu) [-I_{n+2}(\xi) - \lambda L_{n+2}(\xi)] \\ & + \frac{H^4 \hat{q}}{\lambda} f(\mu)(n+2) [I_1(\xi) + \lambda L_1(\xi)] - \frac{H^4 \hat{q}}{\lambda} f(\mu)(n+1) [I_0(\xi) + \lambda L_0(\xi)] \\ & \frac{H^4 \hat{q}}{\lambda^3} \left[-\frac{\sinh(\lambda\xi) - \lambda\xi}{n+1} + \frac{\cosh(\lambda\xi) - 1}{\cosh \lambda} \left(\frac{\sinh \lambda}{n+1} - I \right) \right] \end{aligned} \right\} (8)$$

donde

$$I = I_n(1) + \lambda^2 f(\mu) [-I_{n+2}(1) + (n+2)I_1(1) - (n+1)I_0(1)] \quad (9)$$

Este resultado, obtenido en [1], es válido para $n \geq 0$ un número real arbitrario.

La mayor dificultad en el trabajo anterior fue la obtención, a partir de (8),(9) de expresiones para $u(\xi)$ y sus primeras tres derivadas, aptas para la representación gráfica de las mismas para todo el rango $0 \leq \lambda < \infty$ del parámetro λ . En [1] no

comentamos sobre este aspecto del trabajo, pero es precisamente en la resolución de este problema que surgen las funciones hipergeométricas mencionadas arriba.

2) FÓRMULAS PARA λ PEQUEÑO

De 1.(7) se obtienen las relaciones

$$\left. \begin{aligned} I_0(\xi) &= \frac{1}{\lambda} [\cosh(\lambda\xi) - 1], I_1(\xi) = \frac{\sinh(\lambda\xi) - \lambda\xi}{\lambda^2}, \\ I_m(\xi) &= -\frac{\xi^m}{\lambda} + \frac{m(m-1)}{\lambda^2} I_{m-2}(\xi) ; \quad m \geq 2 \end{aligned} \right\} (1)$$

$$I'_m(\xi) = m I_{m-1}(\xi) ; \quad m \geq 1 \quad (2)$$

Para $m \geq 0$ un entero, desarrollando $I_m(\xi)$ en serie de Taylor centrada en $\xi = 0$, utilizando (1),(2), encontramos (como ya mencionamos en [1]) que

$$\frac{\lambda^{m+1}}{m!} I_m(\xi) = \sinh(\lambda\xi) - \sum_{k=0}^{(m-1)/2} \frac{(\lambda\xi)^{2k+1}}{(2k+1)!} \quad (m \text{ entero impar}) \quad (3)$$

$$\frac{\lambda^{m+1}}{m!} I_m(\xi) = \cosh(\lambda\xi) - \sum_{k=0}^{m/2} \frac{(\lambda\xi)^{2k}}{(2k)!} \quad (m \text{ entero par}) \quad (4)$$

$$I_m(\xi) = \lambda m! \xi^{m+2} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(\lambda\xi)^{2k}}{(m+2k+2)!} ; m = 0,1,2,3,\dots \quad (5)$$

De (1),1.(6) tenemos

$$L'_m(\xi) = m L_{m-1}(\xi) ; \quad m \geq 1 \quad (6)$$

$$I_m(\xi) + \lambda L_m(\xi) = \frac{\lambda^2}{(m+1)(m+2)} I_{m+2}(\xi) \quad (7)$$

Evidentemente (3), (4) no tienen sentido para m no entero (aún no reemplazando $m!$ por $\Gamma(m+1)$), pero (5) persiste para $m \geq 0$ arbitrario en la forma

$$I_m(\xi) = \lambda \Gamma(m+1) \xi^{m+2} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(\lambda\xi)^{2k}}{\Gamma(m+2k+3)} ; m \geq 0 \quad (8)$$

Por el desarrollo de $\sinh[\lambda(\xi - t)]$ en serie de potencias de $\xi - t$, para comprobar (8) basta comprobar que

$$\int_0^\xi (\xi - t)^{2k+1} t^m dt = \frac{(2k+1)! \Gamma(m+1)}{\Gamma(m+2k+3)} \xi^{m+2k+2} \quad (9)$$

Haciendo el cambio de variable $t \rightarrow s = \frac{t}{\xi}$ en la integral, ésta se convierte en

$$\begin{aligned} \xi^{m+2k+2} \int_0^1 s^m (1-s)^{2k+1} ds &= \xi^{m+2k+2} B(m+1, 2k+2) \\ &= \xi^{m+2k+2} \frac{\Gamma(2k+2)\Gamma(m+1)}{\Gamma(m+2k+3)} \end{aligned}$$

usando una bien conocida propiedad de la función beta ([3]). Comprobamos entonces (9) para todo $k \geq 0$ entero y $m \geq 0$ real, y (8) queda establecida. Para $k=0$, (9) da

$$\int_0^\xi (t-\xi)t^m dt = L_m(\xi); \quad m \geq 0 \quad (10)$$

Introducimos ahora la función

$$S_m(\xi) = \frac{1}{\lambda} I_m(\xi) + L_m(\xi); \quad m \geq 0 \quad (11)$$

es decir, según (8), 1.(6),

$$S_m(\xi) = \Gamma(m+1) \xi^{m+2} \sum_{R=1}^{\infty} \frac{(\lambda \xi)^{2k}}{\Gamma(m+2k+3)}; m \geq 0 \quad (12)$$

de (7),(11) tenemos

$$S_m(\xi) = \frac{\lambda}{(m+1)(m+2)} I_{m+2}(\xi) \quad (13)$$

y de (2), (6), (11), (13) tenemos

$$\left. \begin{aligned} S'_m(\xi) &= \frac{\lambda^2}{m+1} [-L_{m+1}(\xi) + S_{m+1}(\xi)], \\ S'_m(\xi) &= m S_{m-1}(\xi); \quad m \geq 1 \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

De (6),(14),(15) tenemos

$$S''_m(\xi) = \lambda^2 [-L_m(\xi) + S_m(\xi)] \quad (15),$$

y de (14),(16),1.(6) se sigue que

$$S'''_m(\xi) = \frac{\lambda^2}{m+1} [\xi^{m+1} + \lambda^2 \{-L_{m+1}(\xi) + S_{m+1}(\xi)\}] \quad (16)$$

De (7),(11) tenemos

$$I_m(\xi) + \lambda L_m(\xi) = \frac{\lambda^3}{(m+1)(m+2)} [-L_{m+2}(\xi) + S_{m+2}(\xi)] \quad (17)$$

Usando las fórmulas obtenidas, podemos escribir 1.(8),1.(9) en la forma

$$\left. \begin{aligned} u(\xi) &= \frac{H^4 \hat{q}}{(n+1)(n+2)} [-L_{n+2}(\xi) + (n+2)L_1(\xi)] \\ &+ \frac{H^4 \hat{q}}{(1+\mu)(n+1)(n+2)} [S_{n+2}(\xi) - (n+2)S_1(\xi)] - (n+1)H^4 \hat{q} f(\mu) S_0(\xi) \\ &+ \frac{H^4 \hat{q}}{\cosh \lambda} P(\lambda, \mu) [-L_0(\xi) + S_0(\xi)] \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

Donde

$$\left. \begin{aligned} P(\lambda, \mu) &= \frac{\sinh \lambda}{\lambda(n+1)} - \frac{1}{\lambda} I = \\ &= \frac{1}{n+1} + \frac{\lambda^2}{(1+\mu)(n+1)} [-L_1(1) + S_1(1)] + L_n(1) - S_n(1) \\ &- \lambda^2 f(\mu) [L_{n+2}(1) - S_{n+2}(1) - (n+1)\{-L_0(1) + S_0(1)\}] \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Y luego

$$\left. \begin{aligned} u'(\xi) &= \frac{H^4 \hat{q}}{n+1} [-L_{n+1}(\xi) + L_0(\xi)] + \frac{H^4 \hat{q}}{(1+\mu)(n+1)} [S_{n+1}(\xi) - S_0(\xi)] \\ &- \lambda^2 (n+1) H^4 \hat{q} f(\mu) [-L_1(\xi) + S_1(\xi)] \\ &+ \frac{H^4 \hat{q}}{\cosh \lambda} P(\lambda, \mu) [\xi + \lambda^2 \{-L_1(\xi) + S_1(\xi)\}] \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

$$\left. \begin{aligned} u''(\xi) &= -H^4 \hat{q} L_n(\xi) + \frac{H^4 \hat{q}}{1+\mu} S_n(\xi) - \lambda^2 \frac{H^4 \hat{q}}{(1+\mu)(n+1)} [-L_1(\xi) + S_1(\xi)] \\ &- \lambda^2 (n+1) H^4 \hat{q} f(\mu) [-L_0(\xi) + S_0(\xi)] - \frac{H^4 \hat{q}}{n+1} \xi \\ &+ \frac{H^4 \hat{q}}{\cosh \lambda} P(\lambda, \mu) [1 + \lambda^2 \{-L_0(\xi) + S_0(\xi)\}] \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

$$\left. \begin{aligned}
 u'''(\xi) &= H^4 \hat{q} \frac{\xi^{n+1}}{n+1} + \lambda^2 \frac{H^4 \hat{q}}{(1+\mu)(n+1)} [-L_{n+1}(\xi) + S_{n+1}(\xi)] \\
 &- \lambda^2 \frac{H^4 \hat{q}}{(1+\mu)(n+1)} [-L_0(\xi) + S_0(\xi)] - \lambda^2 (n+1) H^4 \hat{q} f(\mu) [\xi + \lambda^2 \{-L_1(\xi) + S_1(\xi)\}] \\
 &- \frac{H^4 \hat{q}}{n+1} + \lambda^2 \frac{H^4 \hat{q}}{\cosh \lambda} P(\lambda, \mu) [\xi + \lambda^2 \{-L_1(\xi) + S_1(\xi)\}]
 \end{aligned} \right\} (22)$$

las formulas (18)-(22) son adecuadas para el cómputo y la representación gráfica de $u(\xi)$ y sus primeras tres derivadas para valores de $\lambda \in [0; eps)$ con eps no demasiado grande, y además sirven para graficar $u = u(\xi, \lambda, \mu)$ y sus primeras tres derivadas con respecto a ξ como función de λ (para valores fijos de ξ y μ en $[0; eps)$). Las funciones $I_m(\xi)$ y $S_m(\xi)$ (relacionadas por (13)) son representables en términos de la función hipergeométrica generalizada ([3]) en la notación de MATHEMATICA,

$$\left. \begin{aligned}
 S_m(\xi) &= \frac{\lambda^2 \xi^{m+4}}{(m+1)(m+2)(m+3)(m+4)} \\
 &\text{HypergeometricPFQ} \left[\left\{ 1 \right\}, \left\{ \frac{m+5}{2}, 3 + \frac{m}{2} \right\}, \frac{\lambda^2 \xi^2}{4} \right]
 \end{aligned} \right\} (23),$$

y es en esta forma que definimos $S_m(\xi)$ en nuestro programa.

3) FÓRMULAS PARA λ GRANDE ($n \geq 0$ UN ENTERO)

Es de esperar (y así lo confirman los experimentos numéricos) que 2.(18)-2.(22) no sirven para el cómputo preciso de $u(\xi)$ y sus primeras tres derivadas para valores grandes de λ . Para obtener fórmulas adecuadas para λ arbitrariamente grande, resulta útil introducir la función

$$K_m(\xi) = \frac{1}{\lambda} I_m(\xi) - \frac{\cosh(\lambda, \xi) - 1}{\lambda \cosh \lambda} I_m(1); \quad m \geq 0(1)$$

De (1), 1.(8), 1.(9) obtenemos

$$\left. \begin{aligned}
 u(\xi) &= \frac{H^4 \hat{q}}{\lambda^2} K_n(\xi) - H^4 \hat{q} f(\mu) K_{n+2}(\xi) + (n+2) H^4 \hat{q} f(\mu) K_1(\xi) \\
 &- (n+1) H^4 \hat{q} f(\mu) K_0(\xi) - \frac{H^4 \hat{q}}{\lambda^3 (n+1)} \left(\frac{\sinh[\lambda(\xi-1)]}{\cosh \lambda} + \tanh \lambda \right) \\
 &+ \frac{H^4 \hat{q}}{\lambda^2 (n+1)} \xi + \frac{1}{\lambda^2} H^4 \hat{q} L_n(\xi) \\
 &+ H^4 \hat{q} f(\mu) [-L_{n+2}(\xi) + (n+2)L_1(\xi) - (n+1)L_0(\xi)]
 \end{aligned} \right\} (2)$$

De 1,2.(7) tenemos

$$K_m(\xi) = \frac{\lambda^2}{(m+1)(m+2)} K_{m+2}(\xi) - L_m(\xi) \frac{\cosh(\lambda, \xi) - 1}{\cosh \lambda} L_m(1) \quad (3)$$

De (1), 2.(1) tenemos

$$K_0(\xi) = \frac{\cosh(\lambda \xi) - 1}{\lambda^2 \cosh \lambda} \quad (4)$$

De (1)-(4) tenemos

$$\left. \begin{aligned}
 u(\xi) &= \frac{H^4 \hat{q}}{(1+\mu)(n+1)(n+2)} [K_{n+2}(\xi) - K_0(\xi)] + \frac{H^4 \hat{q}}{\lambda^2 (1+\mu)(n+1)} \xi \\
 &- \frac{H^4 \hat{q}}{\lambda^3 (1+\mu)(n+1)} \left(\frac{\sinh[\lambda(\xi-1)]}{\cosh \lambda} + \tanh \lambda \right) \\
 &+ H^4 \hat{q} f(\mu) [-L_{n+2}(\xi) + (n+2)L_1(\xi) - (n+1)L_0(\xi)]
 \end{aligned} \right\} (5)$$

Para $m \geq 2$ un entero tenemos, de (1), (4), 2.(3), 2.(4),

$$\left. \begin{aligned}
 K_m(\xi) - K_0(\xi) &= -m! \sum_{k=1}^{\frac{m}{2}} \frac{\lambda^{-m+2k-2} \xi^{2k}}{(2k)!} \\
 &+ m! \frac{\cosh(\lambda \xi) - 1}{\cosh \lambda} \sum_{k=0}^{\frac{m}{2}-1} \frac{\lambda^{-m+2k-2}}{(2k)!}; \quad m \geq 2 \text{ entero par}
 \end{aligned} \right\} (6)$$

$$\left. \begin{aligned}
 K_m(\xi) - K_0(\xi) &= m! \sum_{k=0}^{\frac{m-1}{2}} \frac{\lambda^{-m+2k-1} \xi^{2k+1}}{(2k+1)!} \\
 &+ m! \frac{\cosh(\lambda\xi) - 1}{\cosh \lambda} \sum_{k=0}^{\frac{(m-1)}{2}-1} \frac{\lambda^{-m+2k-1}}{(2k+1)!} \\
 &+ \frac{m!}{\lambda^{m+2}} \left[\frac{\sinh[\lambda(\xi-1)]}{\cosh \lambda} + \tan \lambda \right]; \quad m \geq 3 \text{ entero impar}
 \end{aligned} \right\} (7)$$

y las expresiones para las primeras tres derivadas de $K_m(\xi) - K_0(\xi)$ que se derivan de (6),(7). Para n entero, estas expresiones, junto con (5), sirven para el cómputo preciso y la representación gráfica de $u(\xi)$ y sus tres primeras derivadas (cuyas formas explícitas presentaremos más adelante) para $\lambda > 1$, y para graficar $u = u(\xi, \lambda, \mu)$ y sus tres primeras derivadas con respecto a ξ en función λ (para valores fijos de ξ y μ) en $1 < \lambda < \infty$. Este fue nuestro procedimiento para obtener los resultados descritos en [1].

De (6),(7) obtenemos las fórmulas siguientes.

Para $m \geq 2$ un entero par:

$$K'_m(\xi) - K'_0(\xi) = -m! \sum_{k=1}^{\frac{m}{2}} \frac{\lambda^{-m+2k-2} \xi^{2k-1}}{(2k-2)!} + m! \frac{\sinh(\lambda\xi)}{\cosh \lambda} \sum_{k=0}^{\frac{m}{2}-1} \frac{\lambda^{-m+2k-1}}{(2k)!} \quad (8)$$

$$K''_m(\xi) - K''_0(\xi) = -m! \sum_{k=1}^{\frac{m}{2}} \frac{\lambda^{-m+2k-2} \xi^{2k-2}}{(2k-2)!} + m! \frac{\cosh(\lambda\xi)}{\cosh \lambda} \sum_{k=0}^{\frac{m}{2}-1} \frac{\lambda^{-m+2k}}{(2k)!} \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned}
 K'''_m(\xi) - K'''_0(\xi) &= -m! \sum_{k=2}^{\frac{m}{2}} \frac{\lambda^{-m+2k-2} \xi^{2k-3}}{(2k-3)!} \\
 &+ m! \frac{\sinh(\lambda\xi)}{\cos \lambda} \sum_{k=0}^{\frac{m}{2}-1} \frac{\lambda^{-m+2k+1}}{(2k)!}, \quad m \geq 4 \text{ par}
 \end{aligned} \right\} (10)$$

$$K''''_m(\xi) - K''''_0(\xi) = \frac{2\sinh(\lambda\xi)}{\lambda \cosh \lambda} \quad (11)$$

Para $m \geq 3$ un entero impar:

$$\left. \begin{aligned}
 K'_m(\xi) - K'_0(\xi) &= -m! \sum_{k=0}^{\frac{(m-1)}{2}} \frac{\lambda^{-m+2k-1} \xi^{2k}}{(2k)!} \\
 &+ m! \frac{\sinh(\lambda\xi)}{\cosh \lambda} \sum_{k=0}^{\frac{(m-1)}{2}-1} \frac{\lambda^{-m+2k}}{(2k+1)!} + \frac{m!}{\lambda^{m+1}} \frac{\cosh[\lambda(\xi-1)]}{\cosh \lambda}
 \end{aligned} \right\} (12)$$

$$\left. \begin{aligned}
 K''_m(\xi) - K''_0(\xi) &= -m! \sum_{k=1}^{\frac{(m-1)}{2}} \frac{\lambda^{-m+2k-1} \xi^{2k-1}}{(2k-1)!} \\
 &+ m! \frac{\cosh(\lambda\xi)}{\cosh \lambda} \sum_{k=0}^{\frac{(m-1)}{2}-1} \frac{\lambda^{-m+2k+1}}{(2k+1)!} + \frac{m!}{\lambda^m} \frac{\sinh[\lambda(\xi-1)]}{\cosh \lambda}
 \end{aligned} \right\} (13)$$

$$\left. \begin{aligned}
 K'''_m(\xi) - K'''_0(\xi) &= -m! \sum_{k=1}^{\frac{(m-1)}{2}} \frac{\lambda^{-m+2k-1} \xi^{2k-2}}{(2k-2)!} \\
 &+ m! \frac{\sinh(\lambda\xi)}{\cosh \lambda} \sum_{k=0}^{\frac{(m-1)}{2}-1} \frac{\lambda^{-m+2k+2}}{(2k+1)!} + \frac{m!}{\lambda^{m-1}} \frac{\cosh[\lambda(\xi-1)]}{\cosh \lambda}
 \end{aligned} \right\} (14)$$

4. FÓRMULAS λ PARA GRANDE $(n \geq 0 \text{ ARBITRARIO})$

Consideremos ahora el cómputo de $K_m(\xi) - K_0(\xi)$ para $m \geq 2$ no necesariamente un entero. Sea $[m]$ la parte entera de m , entonces $m = [m] + \alpha$ con $0 \leq \alpha < 1$ de 2.(8) tenemos

$$\frac{\lambda^{m+1}}{\Gamma(m+1)} I_m(\xi) = \sum_{\ell=0}^{\infty} \frac{(\lambda, \xi)^{[m]+\alpha+2\ell+2}}{\Gamma([m]+\alpha+2\ell+3)} \quad (1)$$

Si $[m]$ es par, entonces escribimos $[m] + 2\ell + 2 = 2k$ Y (1) lleva a

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{\lambda^{m+1}}{\Gamma(m+1)} I_m(\xi) &= \phi_0(\xi) - \sum_{k=0}^{\frac{[m]}{2}} \frac{(\lambda\xi)^{2k+\alpha}}{\Gamma(2k+\alpha+1)}, \\
 \phi_0(\xi) &= \sum_{R=0}^{\infty} \frac{(\lambda, \xi)^{2R+\alpha}}{\Gamma(2R+\alpha+1)}
 \end{aligned} \right\} (2)$$

Observemos que si m es un entero par, entonces $\alpha = 0$, $\phi_0(\xi) = \cosh(\lambda, \xi)$ y (2) coincide con 2.(4). Si $[m]$ es impar, entonces escribimos $[m] + 2\ell + 2 = 2k+1$ y (1) lleva a

$$\left. \begin{aligned} \frac{\lambda^{m+1}}{\Gamma(m+1)} I_m(\xi) &= \phi_1(\xi) - \sum_{k=0}^{[m]-1} \frac{(\lambda, \xi)^{2k+\alpha}}{\Gamma(2k+\alpha+2)} \\ \phi_1(\xi) &= \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(\lambda, \xi)^{2k+\alpha}}{\Gamma(2k+\alpha+2)} \end{aligned} \right\} (3)$$

Observemos que si m es un entero impar, entonces $\alpha = 0$, $\phi_1(\xi) = \text{senh}(\lambda\xi)$ y (3) coincide con 2.(3).

De (2), 3.(1) tenemos

$$\left. \begin{aligned} K_m(\xi) - K_0(\xi) &= \frac{\Gamma(m+1)}{\lambda^{m+2}} \left[\phi_0(\xi) - \frac{\cosh(\lambda\xi) - 1}{\cosh \lambda} \phi_0(1) \right] - \frac{\Gamma(m+1)\xi^\alpha}{\Gamma(\alpha+1)\lambda^{[m]+2}} \\ &- \Gamma(m+1) \sum_{k=1}^{[m]} \frac{\lambda^{[m]+2k-2} \xi^{2k+\alpha}}{\Gamma(2k+\alpha+1)} \\ &+ \Gamma(m+1) \frac{\cosh(\lambda\xi) - 1}{\cosh \lambda} \sum_{k=0}^{[m]-1} \frac{\lambda^{-[m]+2k-2}}{\Gamma(2k+\alpha+1)}; [m] \geq 2 \text{ par} \end{aligned} \right\} (4)$$

lo que se reduce a 3.(6) si $\alpha = 0$ ($m = [m]$). De (3), 3.(1) tenemos

$$\left. \begin{aligned} K_m(\xi) - K_0(\xi) &= \frac{\Gamma(m+1)}{\lambda^{m+2}} \left[\phi_1(\xi) - \frac{\cosh(\lambda\xi) - 1}{\cosh \lambda} \phi_1(1) \right] \\ &- \Gamma(m+1) \sum_{k=0}^{[m]-1} \frac{\lambda^{[m]+2k-1} \xi^{2k+\alpha}}{\Gamma(2k+\alpha+2)} \\ &+ \Gamma(m+1) \frac{\cosh(\lambda\xi) - 1}{\cosh \lambda} \sum_{k=0}^{[m]-1} \frac{\lambda^{-[m]+2R-1}}{\Gamma(2k+\alpha+2)}; [m] \geq 3 \text{ impar} \end{aligned} \right\} (5)$$

lo que se reduce a 3.(7) si $\alpha = 0$ ($m = [m]$)

De (2), (3) encontramos las relaciones

$$\phi_0'(\xi) = \frac{\lambda^\alpha \xi^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} + \lambda \phi_1(\xi) \quad (6)$$

$$\phi_1'(\xi) = \lambda \phi_0(\xi) \quad (7)$$

De (4), (6), (7) encontramos, para $[m] \geq 2$ par:

$$\left. \begin{aligned} K_m'(\xi) - K_0'(\xi) &= \frac{\Gamma(m+1)}{\lambda^{m+1}} \left[\phi_1(\xi) - \frac{\text{senh}(\lambda\xi)}{\cosh \lambda} \phi_0(1) \right] \\ &- \Gamma(m+1) \sum_{k=1}^{[m]} \frac{\lambda^{-[m]+2k-2} \xi^{2k+\alpha-1}}{\Gamma(2k+\alpha)} \\ &+ \Gamma(m+1) \frac{\text{senh}(\lambda\xi)}{\cosh \lambda} \sum_{k=0}^{[m]-1} \frac{\lambda^{-[m]+2k-1}}{\Gamma(2k+\alpha+1)}; [m] \geq 2 \text{ par} \end{aligned} \right\} (8)$$

$$\left. \begin{aligned} K_m''(\xi) - K_0''(\xi) &= \frac{\Gamma(m+1)}{\lambda^m} \left[\phi_0(\xi) - \frac{\cosh(\lambda\xi)}{\cosh \lambda} \phi_0(1) \right] \\ &- \Gamma(m+1) \sum_{k=1}^{[m]} \frac{\lambda^{-[m]+2k-2} \xi^{2k+\alpha-2}}{\Gamma(2k+\alpha-1)} \\ &+ \Gamma(m+1) \frac{\cosh(\lambda\xi)}{\cosh \lambda} \sum_{k=0}^{[m]-1} \frac{\lambda^{-[m]+2k}}{\Gamma(2k+\alpha+1)}; [m] \geq 2 \text{ par} \end{aligned} \right\} (9)$$

$$\left. \begin{aligned} K_m'''(\xi) - K_0'''(\xi) &= \frac{\Gamma(m+1)}{\lambda^{m-1}} \left[\phi_1(\xi) - \frac{\text{senh}(\lambda\xi)}{\cosh \lambda} \phi_0(1) \right] \\ &- \Gamma(m+1) \sum_{k=2}^{[m]} \frac{\lambda^{-[m]+2k-2} \xi^{2k+\alpha-3}}{\Gamma(2k+\alpha-2)} \\ &+ \Gamma(m+1) \frac{\text{senh}(\lambda\xi)}{\cosh \lambda} \sum_{k=0}^{[m]-1} \frac{\lambda^{-[m]+2k+1}}{\Gamma(2k+\alpha+1)}; [m] \geq 4 \text{ par} \end{aligned} \right\} (10)$$

$$\left. \begin{aligned} K_m''''(\xi) - K_0''''(\xi) &= \frac{\Gamma(\alpha+3)}{\lambda^{\alpha+1}} \left[\phi_1(\xi) - \frac{\text{senh}(\lambda\xi)}{\cosh \lambda} \phi_0(1) \right] \\ &+ (\alpha+1)(\alpha+2) \frac{\text{senh}(\lambda\xi)}{\lambda \cosh \lambda}; [m] = 2 \end{aligned} \right\} (11)$$

Para $\alpha = 0$ ($m \geq 2$ entero par) estas fórmulas se reducen a 3.(8)-3.(11).

De (5), (6), (7) encontramos, para $[m] \geq 3$ impar:

$$\left. \begin{aligned} K_m'(\xi) - K_0'(\xi) &= \frac{\Gamma(m+1)}{\lambda^{m+1}} \left[\phi_0(\xi) - \frac{\text{senh}(\lambda\xi)}{\cosh \lambda} \phi_1(1) \right] \\ &- \Gamma(m+1) \sum_{k=0}^{[m]-1} \frac{\lambda^{-[m]+2k-1} \xi^{2k+\alpha}}{\Gamma(2k+\alpha+1)} \\ &+ \Gamma(m+1) \frac{\text{senh}(\lambda\xi)}{\cosh \lambda} \sum_{k=0}^{[m]-1} \frac{\lambda^{-[m]+2k}}{\Gamma(2k+\alpha+2)}; [m] \geq 3 \text{ impar} \end{aligned} \right\} (12)$$

$$\left. \begin{aligned} K_m''(\xi) - K_0''(\xi) &= \frac{\Gamma(m+1)}{\lambda^m} \left[\phi_1(\xi) - \frac{\cosh(\lambda\xi)}{\cosh \lambda} \phi_1(1) \right] \\ &- \Gamma(m+1) \sum_{k=1}^{\frac{(m-1)}{2}} \frac{\lambda^{-[m]+2k-1} \xi^{2k+\alpha-1}}{\Gamma(2k+\alpha)} \\ &+ \Gamma(m+1) \frac{\cosh(\lambda\xi)}{\cosh \lambda} \sum_{k=0}^{\frac{(m-1)}{2}-1} \frac{\lambda^{-[m]+2k+1}}{\Gamma(2k+\alpha+2)}; [m] \geq 3 \text{ impar} \end{aligned} \right\} (13)$$

$$\left. \begin{aligned} K_m''(\xi) - K_0''(\xi) &= \frac{\Gamma(m+1)}{\lambda^{m-1}} \left[\phi_0(\xi) - \frac{\sinh(\lambda\xi)}{\cosh \lambda} \phi_0(1) \right] \\ &- \Gamma(m+1) \sum_{k=1}^{\frac{(m-1)}{2}} \frac{\lambda^{-[m]+2k-1} \xi^{2k+\alpha-2}}{\Gamma(2k+\alpha-1)} \\ &+ \Gamma(m+1) \frac{\sinh(\lambda\xi)}{\cosh \lambda} \sum_{k=0}^{\frac{(m-1)}{2}-1} \frac{\lambda^{-[m]+2k+2}}{\Gamma(2k+\alpha+2)}; [m] \geq 3 \text{ impar} \end{aligned} \right\} (14)$$

Para $\alpha = 0$ ($m \geq 3$ entero) estas fórmulas se reducen a 3.(12)-3.(14).

De 1.(6), 3.(5) obtenemos

$$\left. \begin{aligned} u'(\xi) &= \frac{H^4 \hat{q}}{(1+\mu)(n+1)(n+2)} [K_{n+2}'(\xi) - K_0'(\xi)] + \frac{H^4 \hat{q}}{\lambda^2(1+\mu)(n+1)} \\ &- \frac{H^4 \hat{q}}{\lambda^2(1+\mu)(n+1)} \cdot \frac{\cosh[\lambda(\xi-1)]}{\cosh \lambda} \\ &+ H^4 \hat{q} f(\mu) \left[\frac{\xi^{n+3}}{n+3} - \frac{1}{2}(n+2)\xi^2 + (n+1)\xi \right] \end{aligned} \right\} (15)$$

$$\left. \begin{aligned} u''(\xi) &= \frac{H^4 \hat{q}}{(1+\mu)(n+1)(n+2)} [K_{n+2}''(\xi) - K_0''(\xi)] \\ &- \frac{H^4 \hat{q}}{\lambda(1+\mu)(n+1)} \cdot \frac{\sinh[\lambda(\xi-1)]}{\cosh \lambda} \\ &+ H^4 \hat{q} f(\mu) [\xi^{n+2} - (n+2)\xi + n+1] \end{aligned} \right\} (16)$$

$$\left. \begin{aligned} u'''(\xi) &= \frac{H^4 \hat{q}}{(1+\mu)(n+1)(n+2)} [K_{n+2}'''(\xi) - K_0'''(\xi)] \\ &- \frac{H^4 \hat{q}}{(1+\mu)(n+1)} \cdot \frac{\cosh[\lambda(\xi-1)]}{\cosh \lambda} \\ &+ H^4 \hat{q} f(\mu) (n+2)(\xi^{n+1} - 1) \end{aligned} \right\} (17)$$

Las funciones $\phi_0(\xi)$ y $\phi_1(\xi)$ definidas en (2),(3), pueden expresarse en términos de funciones hipergeométricas implementadas en MATHEMATICA:

$$\phi_0(\xi) = \frac{(\lambda\xi)^\alpha}{\Gamma(\alpha+1)} {}_2F_2 \left(1; \frac{1}{2} + \frac{\alpha}{2}, 1 + \frac{\alpha}{2}; \frac{\lambda^2 \xi^2}{4} \right) \quad (18)$$

$$\phi_1(\xi) = \frac{(\lambda\xi)^{\alpha+1}}{\Gamma(\alpha+2)} {}_2F_2 \left(1; 1 + \frac{\alpha}{2}, \frac{3}{2} + \frac{\alpha}{2}; \frac{\lambda^2 \xi^2}{4} \right) \quad (19)$$

En las fórmulas (4),(5),(8) - (14) las expresiones entre llaves que involucran a $\phi_0(\xi)$ y $\phi_1(\xi)$ requieren de consideraciones adicionales, ya que presentan inestabilidades numéricas para valores demasiado grandes de λ cuando $0 < \alpha < 1$ (en el caso $\alpha = 0$ (m entero) podemos utilizar 3.(6)-3.(14) y este problema no se presenta). Estas consideraciones serán presentadas en el apéndice.

5. COMPORTAMIENTO EN FUNCIÓN DE λ

Para estudiar el comportamiento de $u(\xi)$ y sus primeras tres derivadas para $\lambda \rightarrow 0$ podemos usar las fórmulas de la sección 2. De 2.(19) tenemos

$$\lim_{\lambda \rightarrow 0} P(\lambda, \mu) = \frac{1}{n+2} \quad (1)$$

usando 1.(6) y el hecho (según 2.(12) que $\lim_{\lambda \rightarrow 0} S_m(\xi) = 0$. Escribiendo $u = u(\xi, \lambda, \mu)$ tenemos de (1), 2.(18) que

$$\lim_{\lambda \rightarrow 0} u(\xi, \lambda, \mu) = \frac{H^4 \hat{q}}{(n+1)(n+2)} [-L_{n+2}(\xi) + (n+2)L_1(\xi) - (n+1)L_0(\xi)] \quad (2)$$

y es fácil comprobar que esta función coincide con la solución de 1.(2), 1.(5) para $\lambda = 0$, de modo que $\lim_{\lambda \rightarrow 0} u(\xi, \lambda, \mu) = u(\xi, 0, \mu)$. De 2.(20)-2.(22) tenemos la misma propiedad de continuidad para las derivadas de $u(\xi, \lambda, \mu)$ con respecto a ξ , y

$$u'(\xi, 0, \mu) = \frac{H^4 \hat{q}}{n+1} [-L_{n+1}(\xi) + L_0(\xi)] + \frac{H^4 \hat{q}}{n+2} \xi \quad (3)$$

$$u''(\xi, 0, \mu) = -H^4 \hat{q} L_n(\xi) - \frac{H^4 \hat{q}}{n+1} \xi + \frac{H^4 \hat{q}}{n+2} \quad (4)$$

$$u'''(\xi, 0, \mu) = \frac{H^4 \hat{q}}{n+1} (\xi^{n+1} - 1) \quad (5)$$

Observemos que los valores límites para $\lambda \rightarrow 0$ dadas por (2)-(5) no dependen de μ .

Para estudiar el comportamiento de $u(\xi)$ y sus primeras tres derivadas para $\lambda \rightarrow \infty$ podemos usar las fórmulas de las secciones 3,4 y el apéndice. Tenemos

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} \frac{\cosh(\lambda \xi) - 1}{\cosh \lambda} = \begin{cases} 0; 0 \leq \xi < 1 \\ 1; \xi = 1 \end{cases} \quad (6),$$

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} \frac{\cosh[\lambda(\xi - 1)]}{\cosh \lambda} = \begin{cases} 0; 0 < \xi \leq 1 \\ 1; \xi = 1 \end{cases} \quad (7),$$

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} \frac{\sinh(\lambda \xi)}{\cosh \lambda} = \begin{cases} 0; 0 \leq \xi < 1 \\ 1; \xi = 1 \end{cases} \quad (8),$$

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} \frac{\sinh[\lambda(\xi - 1)]}{\cosh \lambda} = \begin{cases} 0; 0 < \xi \leq 1 \\ -1; \xi = 0 \end{cases} \quad (9),$$

por (6)-(9), todas las expresiones a la derecha en 4.(4),4.(5),4.(8)-4.(14) que no involucran a $\phi_0(\xi), \phi_1(\xi)$, tienden a cero si $\lambda \rightarrow \infty$, y lo mismo ocurre para las expresiones a la derecha en 3.(5),4.(15)-4.(17) que no involucran a $f(\mu)$ o a $K_{n+2}(\xi) - K_0(\xi)$ y sus derivadas. Además veremos en el apéndice que las expresiones que involucran a $\phi_0(\xi), \phi_1(\xi)$ mencionadas anteriormente tienden a cero para $\lambda \rightarrow \infty$. Por consecuencia tenemos

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} (K_{n+2}^{(R)}(\xi) - K_0^{(R)}(\xi)) = 0 ; R = 0,1,2,3$$

Escribiendo $v(\xi, \mu) = \lim_{\lambda \rightarrow \infty} u(\xi, \lambda, \mu)$ tenemos ahora de 3.(5),

$$v(\xi, \mu) = H^4 \hat{q} f(\mu) [-L_{n+2}(\xi) + (n+2)L_1(\xi) - (n+1)L_0(\xi)] \quad (10),$$

de modo que, con (2),

$$v(\xi, \mu) = \frac{\mu}{1+\mu} u(\xi, \lambda, \mu) \quad (11),$$

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} u'(\xi, \lambda, \mu) = v'(\xi, \mu) = H^4 \hat{q} f(\mu) [-(n+2)L_{n+1}(\xi) + (n+2)L_0(\xi) + (n+1)\xi] \quad (12)$$

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} u''(\xi, \lambda, \mu) = v''(\xi, \mu) = H^4 \hat{q} f(\mu) [-(n+1)(n+2)L_n(\xi) - (n+2)\xi + (n+1)] \quad (13)$$

De (2)-(4),(11) vemos que $v(\xi, \mu)$ satisface las condiciones de borde $v(0, \mu) = v'(0, \mu) = 0, v''(1, \mu) = 0$, pero (5),(11) implican que

$$v'''(0, \mu) = -\frac{\mu H^4 \hat{q}}{(1+\mu)(n+1)} \quad (14)$$

de modo que $v(\xi, \mu)$ no satisface la cuarta condición de frontera en 1.(5). Sin embargo $v = v(\xi, \mu)$ es solución de la ecuación diferencial

$$v''(\xi, \mu) = H^4 \hat{q} f(\mu) [\xi^{n+2} - (n+2)\xi + n+1] \quad (15)$$

que resulta de 1.(2),1.(3) cuando $\lambda \rightarrow \infty$. De 4.(17) tenemos

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} u''''(\xi, \lambda, \mu) = v''''(\xi, \mu) = \frac{\mu H^4 \hat{q}}{(1+\mu)(n+1)} (\xi^{n+1} - 1); 0 < \xi \leq 1 \quad (16)$$

$$u'''(0, \lambda, \mu) = -\frac{H^4 \hat{q}}{n+1} = \left(1 + \frac{1}{\mu}\right) v'''(0, \mu) \quad (17)$$

De 1.(2),1.(3) tenemos

$$u^{(4)}(\xi, \lambda, \mu) = \lambda^2 u''(\xi, \lambda, \mu) + H^4 \hat{q} \xi^n + \lambda^2 f(u) H^4 \hat{q} [-\xi^{n+2} + (n+2)\xi - (n+1)] \quad (18),$$

de modo que también (ya que $u''(1) = 0$)

$$u^{(4)}(1, \lambda, \mu) = H^4 \hat{q} \quad (19)$$

En nuestro programa con MATHEMATICA hay 5 funciones gráficas para producir gráficas 2-dimensionales de $u(\xi)$ y sus primeras cuatro derivadas en función de λ (de hecho cada una de

estas funciones produce cuatro gráficas simultáneas para cuatro valores seleccionados de (ξ) . Además hay 10 funciones gráficas que producen gráficas 3-dimensionales donde λ figura como una de las variables independientes. A continuación comentaremos brevemente sobre el funcionamiento de estas

$$\left. \begin{array}{l} \text{flLamHeightList}[\text{height}, \mu, \text{aLam}, \text{bLam}] \\ \text{height} = \text{valor de } \xi \text{ seleccionado, } \mu = \text{valor de } \mu \text{ seleccionado} \\ [\text{aLam}; \text{bLam}] \subset [0; \infty) \text{ intervalo para } \lambda \text{ seleccionado} \end{array} \right\} (20)$$

funciones:

produce las gráficas simultáneas $\lambda \rightarrow u$

$$(\text{height}, \lambda, \mu), u\left(\frac{3}{4}\text{height}, \lambda, \mu\right), u\left(\frac{1}{2}\text{height}, \lambda, \mu\right),$$

$$u\left(\frac{1}{4}\text{height}, \lambda, \mu\right) \text{ en el intervalo } \text{aLam} \leq \lambda \leq \text{bLam}.$$

Las funciones flDLamHeightList, flDsegLamHeightList, flDterLamHeightList, flDcuarLamHeightList funcionan similarmente para $\mu'(\xi), \mu''(\xi), \mu'''(\xi)$ y $\mu^{(4)}(\xi)$ respectivamente.

$$\left. \begin{array}{l} \text{fl3DLam}[\mu, \text{aV}, \text{bV}, \text{aLam}, \text{bLam}] \\ \mu = \text{valor de } \mu \text{ seleccionado, } [\text{aV}; \text{bV}] \subset [0; 1] \\ \text{intervalo para } \xi \\ \text{seleccionado, } [\text{aLam}; \text{bLam}] \subset [0; \infty) \text{ intervalo para } \lambda \\ \text{seleccionado} \end{array} \right\} (21)$$

Produce una gráfica 3-dimensional $(\xi, \lambda) \rightarrow u(\xi, \lambda, \mu)$ con $\text{aV} \leq \xi \leq \text{bV}$, $\text{aLam} \leq \lambda \leq \text{bLam}$. Las funciones flD3DLam, flDseg3DLam, flDter3DLam, flDcuar3DLam funcionan similarmente para $u'(\xi), u''(\xi), u'''(\xi)$ y $u^{(4)}(\xi)$ respectivamente.

$$\left. \begin{array}{l} \text{fl3DLamMu}[\text{coord}, \text{aLam}, \text{bLam}, \text{aMu}, \text{bMu}] \\ \text{coord} = \text{valor de } \xi \text{ seleccionado, } [\text{aLam}; \text{bLam}] \\ \subset [0; \infty) \text{ intervalo} \\ \text{para } \lambda \text{ seleccionado, } [\text{aMu}; \text{bMu}] \subset [0; 1] \\ \text{intervalo para } \mu \text{ seleccionado} \end{array} \right\} (22)$$

Produce una gráfica 3-dimensional

$(\lambda, \mu) \rightarrow u(\text{coord}, \lambda, \mu)$, con $\text{aLam} \leq \lambda \leq \text{bLam}$, $\text{aMu} \leq \mu \leq \text{bMu}$. Las funciones flD3DLamMu, flDseg3DLamMu, flDter3DLamMu, flDcuar3DLamMu funcionan similarmente para $u'(\xi), u''(\xi), u'''(\xi)$ y $u^{(4)}(\xi)$ respectivamente.

Una selección de las gráficas mencionadas se presenta al final de este trabajo.

6. DEMÁS FUNCIONES GRÁFICAS

Nuestro programa con MATHEMATICA tiene un total de 35 funciones gráficas, 15 de las cuales fueron descritas en la sección anterior. A continuación describiremos brevemente las restantes 20 funciones:

$$\left. \begin{array}{l} \text{flMuList}[\text{Lam}, \mu, \text{aV}, \text{bV}] \\ \text{Lam} = \text{valor de } \lambda \text{ seleccionado, } \mu = \text{valor de } \\ \mu \text{ seleccionado,} \\ [\text{aV}, \text{bV}] \subset [0; 1] \text{ intervalo para } \xi \text{ seleccionado} \end{array} \right\} (1)$$

produce las gráficas simultáneas

$$\xi \rightarrow u(\xi, \text{lam}, 5\mu), u(\xi, \text{lam}, \mu), u\left(\xi, \text{lam}, \frac{1}{5}\mu\right) \text{ en}$$

el intervalo $\text{aV} \leq \xi \leq \text{bV}$. Las funciones flDMuList, flDsegMuList, flDterMuList, flDcuarMuList, funcionan similarmente para $u'(\xi), u''(\xi), u'''(\xi)$ y $u^{(4)}(\xi)$ respectivamente

$$\left. \begin{array}{l} \text{flLamList}[\text{lam}, \mu, \text{av}, \text{bv}] \\ \text{lam} = \text{valor de } \lambda \text{ seleccionado, } \mu = \text{valor de } \mu \\ \text{seleccionado,} \\ [\text{av}; \text{bv}] \subset [0; 1] \text{ intervalo para } \xi \text{ seleccionado} \end{array} \right\} (2)$$

produce las gráficas simultáneas

$$\xi \rightarrow u(\xi, 5\text{lam}, \mu), u(\xi, \text{lam}, \mu), u\left(\xi, \frac{1}{5}\text{lam}, \mu\right) \text{ en}$$

el intervalo $\text{av} \leq \xi \leq \text{bv}$. Las funciones flDLamList, flDsegLamList, flDterLamList, flDcuarLamList funcionan similarmente para $\mu'(\xi), \mu''(\xi), \mu'''(\xi)$ y $\mu^{(4)}(\xi)$ respectivamente.

$$\left. \begin{array}{l} \text{flMuHeightList}[\text{height}, \text{lam}, \text{aMu}, \text{bMu}] \\ \text{height} = \text{valor de } \lambda \text{ seleccionado, } \text{lam} = \text{valor de } \\ \mu \text{ seleccionado,} \\ [\text{aMu}; \text{bMu}] \subset [0; 1] \end{array} \right\} (3)$$

produce las gráficas simultáneas $\mu \rightarrow u(\text{height}, \text{lam}, \mu);$

$$u\left(\frac{3}{4}\text{height}, \text{lam}, \mu\right) u\left(\frac{1}{2}\text{height}, \text{lam}, \mu\right), u\left(\frac{1}{4}\text{height}, \text{lam}, \mu\right)$$

en el intervalo $\text{aMu} \leq \mu \leq \text{bMu}$. Las funciones flDMuHeightList, flDsegMuHeightList,

flDterMuHeightList, flDcuarMuHeightList funcionan similarmente para $u'(\xi), u''(\xi), u'''(\xi)$ y $u^{(4)}(\xi)$ respectivamente.

$$\left. \begin{array}{l} \text{fl3DMu}[\text{lam}, \text{aV}, \text{bV}, \text{aMu}, \text{bMu}] \\ \text{Lam}=\text{valor de } \lambda \text{ seleccionado, } [\text{av};\text{bv}] \subseteq [0;1] \\ \text{intervalo para } \xi \mu \\ \text{Seleccionado, } [\text{aMu},\text{bMu}] \subseteq [0;1] \text{ intervalo} \\ \text{para } \mu \text{ seleccionado} \end{array} \right\} (4)$$

Produce una gráfica 3- dimensional

$(\xi, \mu) \rightarrow u(\xi, \text{lam}, \mu)$ con $\text{aV} \leq \xi \leq \text{bV}, \text{aMu} \leq \mu \leq \text{bMu}$

Las funciones flD3DMu, flDseg3DMu, flDter3DMu, flDcuar3DMu funcionan similarmente para $u'(\xi), u''(\xi), u'''(\xi)$ y $u^{(4)}(\xi)$ respectivamente.

Una selección de las gráficas mencionadas se presenta al final de este trabajo.

APÉNDICE:

Denotaremos por $\phi_0(\xi, \lambda)$ y $\phi_1(\xi, \lambda)$ las funciones $\phi_0(\xi)$ y $\phi_1(\xi)$ definidas en 4.(2) y 4.(3). En 4.(4), 4.(5) aparecen como factores de $\Gamma(m+1)/\lambda^{[m]}$ las funciones

$$\psi_0(\xi, \lambda) = \lambda^{-\alpha-2} \cdot \left[\phi_0(\xi, \lambda) - \frac{\cosh(\lambda\xi) - 1}{\cosh \lambda} \phi_0(1, \lambda) \right] - \frac{\xi^\alpha}{\lambda^2 \Gamma(\alpha+1)} \quad (1)$$

$$\psi_1(\xi, \lambda) = \lambda^{-\alpha-2} \cdot \left[\phi_1(\xi, \lambda) - \frac{\cosh(\lambda\xi) - 1}{\cosh \lambda} \phi_1(1, \lambda) \right] \quad (2)$$

Como observamos al final de la sección 4, la evaluación de estas funciones y de sus derivadas con respecto a ξ presenta dificultades de inestabilidad numérica para valores grandes de λ cuando $0 < \alpha < 1$. Para $\alpha = 0$, (1),(2) se reducen a

$$\left. \begin{array}{l} \psi_0(\xi, \lambda) = 0, \\ \psi_1(\xi, \lambda) = \lambda^{-2} \cdot \left[\frac{\sinh[\lambda(\xi-1)]}{\cosh \lambda} + \tanh \lambda \right] \end{array} \right\} (\alpha = 0) \quad (3),$$

donde la inestabilidad numérica no se presenta, como comprobamos en [1]. En este apéndice indicaremos como puede removerse la inestabilidad numérica señalada mediante el empleo de expresiones asintóticas para λ grande.

De 4.(6),4.(7) obtenemos $\left(' = \frac{\partial}{\partial \xi} \right)$

$$\phi_0'(\xi, \lambda) = \frac{\lambda^\alpha \xi^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} + \lambda \phi_1(\xi, \lambda) \quad (4),$$

$$\phi_1'(\xi, \lambda) = \lambda \phi_0(\xi, \lambda) \quad (5),$$

$$\phi_0''(\xi, \lambda) = \frac{\lambda^\alpha \xi^{\alpha-2}}{\Gamma(\alpha-1)} + \lambda^2 \phi_0(\xi, \lambda) \quad (6)$$

$$\phi_0'''(\xi, \lambda) = \frac{\lambda^\alpha \xi^{\alpha-3}}{\Gamma(\alpha-2)} + \frac{\lambda^{\alpha+2} \xi^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} + \lambda^3 \phi_1(\xi, \lambda) \quad (7)$$

$$\phi_1''(\xi, \lambda) = \frac{\lambda^{\alpha+1} \xi^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} + \lambda^2 \phi_1(\xi, \lambda) \quad (8)$$

$$\phi_0''''(\xi, \lambda) = \frac{\lambda^{\alpha+1} \xi^{\alpha-2}}{\Gamma(\alpha-1)} + \lambda^3 \phi_0(\xi, \lambda) \quad (9)$$

De (1),(2),(4)-(9) obtenemos

$$\psi_0'(\xi, \lambda) = \lambda^{-\alpha-1} \cdot \left[\phi_1(\xi, \lambda) - \frac{\sinh(\lambda\xi)}{\cosh \lambda} \phi_0(1, \lambda) \right] \quad (10)$$

$$\psi_0''(\xi, \lambda) = \lambda^{-\alpha} \cdot \left[\phi_0(\xi, \lambda) - \frac{\cosh(\lambda\xi)}{\cosh \lambda} \phi_0(1, \lambda) \right] \quad (11)$$

$$\psi_0'''(\xi, \lambda) = \frac{\xi^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)} + \lambda^{-\alpha+1} \cdot \left[\phi_1(\xi, \lambda) - \frac{\sinh(\lambda\xi)}{\cosh \lambda} \phi_0(1, \lambda) \right] \quad (12)$$

$$\psi_1'(\xi, \lambda) = \lambda^{-\alpha-1} \cdot \left[\phi_0(\xi, \lambda) - \frac{\sinh(\lambda\xi)}{\cosh \lambda} \phi_1(1, \lambda) \right] \quad (13)$$

$$\psi_1''(\xi, \lambda) = \frac{\xi^{\alpha-1}}{\lambda \Gamma(\alpha)} + \lambda^{-\alpha} \cdot \left[\phi_1(\xi, \lambda) - \frac{\cosh(\lambda\xi)}{\cosh \lambda} \phi_1(1, \lambda) \right] \quad (14)$$

$$\psi_1'''(\xi, \lambda) = \frac{\xi^{\alpha-2}}{\lambda \Gamma(\alpha-1)} + \lambda^{-\alpha+1} \cdot \left[\phi_0(\xi, \lambda) - \frac{\sinh(\lambda\xi)}{\cosh \lambda} \phi_1(1, \lambda) \right] \quad (15)$$

Nuestro objetivo es encontrar expresiones asintóticas para λ grande ($y 0 < \alpha < 1$) para las funciones (1), (2), y (10)- (15). La inestabilidad numérica señalada arriba se presenta solamente en

ciertos intervalos $\xi_a \leq \xi \leq 1$ (donde ξ_a depende de λ y es más pequeño mientras más grande $\lambda, \xi_a > 0$). La idea es entonces que en $0 \leq \xi < \xi_a$ usamos las expresiones exactas de las funciones involucradas, y en $\xi = \xi_a$ hacemos la transición continua a las expresiones asintóticas correspondientes en $\xi_a \leq \xi \leq 1$.

Para obtener las mismas utilizaremos la relación que existe ([4]) entre el desarrollo asintótico de una función $f(\lambda)$ para $\lambda \rightarrow \infty$ y el comportamiento de su transformada de Laplace $F(z)$ en sus singulares (ver también [5]). De 4.(2) tenemos para la transformada de Laplace $F_0(z)$ de $\phi_0(\xi, \lambda)$ con respecto a λ ,

$$F_0(z) = \xi^\alpha \cdot \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\xi^{2k}}{\Gamma(2k + \alpha + 1)} \int_0^{\infty} e^{-\lambda z} \lambda^{2k + \alpha} \alpha \lambda = \xi^\alpha \cdot \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\xi^{2k}}{z^{2k + \alpha + 1}} = \xi^\alpha z^{-\alpha - 1} \cdot \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{\xi}{z}\right)^{2k},$$

De modo que

$$F_0(z) = \frac{\xi^\alpha z^{1-\alpha}}{z^2 - \xi^2} \tag{16}$$

El término dominante en el desarrollo asintótico de $\phi_0(\xi, \lambda)$ para $\lambda \rightarrow \infty$ es igual al residuo de $e^{\lambda z} F_0(z)$ en el polo $z = \xi$. De (16) encontramos que este residuo es $\frac{1}{2} e^{\lambda \xi}$, de modo que

$$\phi_0(\xi, \lambda) \sim \frac{1}{2} e^{\lambda \xi}; \lambda \rightarrow \infty, \xi \geq \xi_a \tag{17}$$

de 4.(2), 4.(3) tenemos

$$\frac{\partial}{\partial \lambda} \phi_1(\xi, \lambda) = \xi \phi_0(\xi, \lambda) \tag{18}$$

de modo que la transformada de Laplace de $\phi_1(\xi, \lambda)$ con respecto a λ viene dada por

$$F_1(z) = \frac{\xi}{z} F_0(z) = \frac{\xi^{\alpha+1} z^{-\alpha}}{z^2 - \xi^2} \tag{19}$$

El residuo de $e^{\lambda z} F_1(z)$ en $z = \xi$ es igual a $\frac{1}{2} e^{\lambda \xi}$ (la distribución del polo en $z = -\xi$ puede suprimirse como antes), de modo que

$$\phi_1(\xi, \lambda) \sim \frac{1}{2} e^{\lambda \xi}; \lambda \rightarrow \infty, \xi \geq \xi_a \tag{20}$$

Usando la identidad

$$e^{\lambda \xi} - \frac{\cosh(\lambda \xi) - 1}{\cosh \lambda} e^\lambda = \frac{\sinh[\lambda(\xi - 1)]}{\cosh \lambda} + \frac{2}{1 + e^{-2\lambda}} \tag{21}$$

de (1), (2), (17), (20), (21) obtenemos que

$$\psi_0(\xi, \lambda) \sim g(\xi, \lambda) - \frac{\xi^\alpha}{\lambda^2 \Gamma(\alpha + 1)}; \lambda \rightarrow \infty, \xi \geq \xi_a \tag{22}$$

$$\psi_1(\xi, \lambda) \sim g(\lambda, \xi); \lambda \rightarrow \infty, \xi \geq \xi_a \tag{23}$$

donde

$$g(\xi, \lambda) = \frac{1}{2} \lambda^{-\alpha - 2} \cdot \left[\frac{\sinh[\lambda(\xi - 1)]}{\cosh \lambda} + \frac{2}{1 + e^{-2\lambda}} \right] \tag{24}$$

De manera similar, de (10)-(15) y usando las relaciones que se obtienen al tomar en (21) la primera y segunda derivada con respecto a ξ de ambos miembros, obtenemos

$$\psi_0'(\xi, \lambda) \sim \frac{1}{2} \lambda^{-\alpha - 1} \cdot \frac{\cosh[\lambda(\xi - 1)]}{\cosh \lambda} \tag{25},$$

$$\psi_0''(\xi, \lambda) \sim \frac{1}{2} \lambda^{-\alpha} \frac{\sinh[\lambda(\xi - 1)]}{\cosh \lambda} \tag{26},$$

$$\psi_0'''(\xi, \lambda) \sim \frac{1}{2} \lambda^{-\alpha + 1} \cdot \frac{\cosh[\lambda(\xi - 1)]}{\cosh \lambda} + \frac{\xi^{\alpha - 1}}{\Gamma(\alpha)} \tag{27},$$

$$\psi_1(\xi, \lambda) \sim \frac{1}{2} \lambda^{-\alpha - 1} \cdot \frac{\cosh[\lambda(\xi - 1)]}{\cosh \lambda} \tag{28},$$

$$\psi_1''(\xi, \lambda) \sim \frac{1}{2} \lambda^{-\alpha} \cdot \frac{\sinh[\lambda(\xi - 1)]}{\cosh \lambda} + \frac{\xi^{\alpha - 1}}{\lambda \Gamma(\alpha)} \tag{29},$$

$$\psi_1''(\xi, \lambda) \sim \frac{1}{2} \lambda^{-\alpha+1} \cdot \frac{\cosh[\lambda(\xi-1)]}{\cosh \lambda} + \frac{\xi^{\alpha-2}}{\lambda \Gamma(\alpha-1)} \quad (30),$$

En 4.(4), 4.(5), 4.(8)- 4.(14) las expresiones (22), (23), (25), (30) vienen multiplicados por $\Gamma(m+1)/\lambda^{[m]}$ con $[m] \geq 2$, de modo que estos productos tienden a cero si $\lambda \rightarrow \infty$, como observamos en la sección 5.

Para tomar en cuenta la contribución al desarrollo asintótico del punto de ramificación en $z=0$, procedemos de la manera siguiente. De (16) obtenemos el desarrollo en serie

$$F_0(z) = -\xi^{\alpha-2} \cdot \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^{2k-\alpha+1}}{\xi^{2k}} \quad \text{Alrededor de } z=0$$

Aplicando a esta serie la transformada de Laplace inversa por término obtenemos una serie cuyas sumas parciales son

$$\phi_{0,N}(\xi, \lambda) = -\sum_{k=0}^N \frac{(\lambda \xi)^{-2k+\alpha-2}}{\Gamma(-2k+\alpha-1)} \quad (31)$$

Procediendo de manera similar a partir de $F_1(z)$ dada por (19), obtenemos

$$\phi_{1,N}(\xi, \lambda) = -\sum_{k=0}^N \frac{(\lambda \xi)^{-2k+\alpha-1}}{\Gamma(-2k+\alpha)} \quad (32)$$

Las series infinitas $\phi_{0,\infty}(\xi, \lambda)$ y $\phi_{1,\infty}(\xi, \lambda)$ son divergentes, pero son series asintóticas en el sentido de que un número relativamente pequeña de términos tomados en cuenta (N pequeño) produce una aproximación precisa (y más precisa mientras más grande λ) de la contribución al desarrollo asintótica correspondientes. Tomando en cuenta las contribuciones $\phi_{0,N}(\xi, \lambda)$ y $\phi_{1,N}(\xi, \lambda)$, las fórmulas (22), (23), (25)- (30) se modifican de la manera siguiente. La función $g(\lambda, \xi)$ en (24) debe reemplazarse por ($P=0$ para $\psi_0(\xi, \lambda)$, $P=1$ para $\psi_1(\xi, \lambda)$)

$$g(\xi, \lambda) + \lambda^{-\alpha-2} \cdot \left[\phi_{p,N}(\xi, \lambda) - \frac{\cosh(\lambda \xi) - 1}{\cosh \lambda} \phi_{p,N}(1, \lambda) \right] \quad (24)'$$

Los miembros derechos de (25)-(30) se reemplazan respectivamente por

$$\psi_0'(\xi, \lambda) + \lambda^{-\alpha-1} \cdot \left[\phi_{1,N}(\xi, \lambda) - \frac{\sinh(\lambda \xi)}{\cosh \lambda} \phi_{0,N}(1, \lambda) \right] \quad (25)'$$

$$\psi_0''(\xi, \lambda) + \lambda^{-\alpha} \cdot \left[\phi_{0,N}(\xi, \lambda) - \frac{\cosh(\lambda \xi)}{\cosh \lambda} \phi_{0,N}(1, \lambda) \right] \quad (26)'$$

$$\psi_0'''(\xi, \lambda) + \lambda^{-\alpha+1} \cdot \left[\phi_{1,N}(\xi, \lambda) - \frac{\sinh(\lambda \xi)}{\cosh \lambda} \phi_{0,N}(1, \lambda) \right] \quad (27)'$$

$$\psi_1'(\xi, \lambda) + \lambda^{-\alpha-1} \cdot \left[\phi_{0,N}(\xi, \lambda) - \frac{\sinh(\lambda \xi)}{\cosh \lambda} \phi_{1,N}(1, \lambda) \right] \quad (28)'$$

$$\psi_1''(\xi, \lambda) + \lambda^{-\alpha} \cdot \left[\phi_{1,N}(\xi, \lambda) - \frac{\cosh(\lambda \xi)}{\cosh \lambda} \phi_{1,N}(1, \lambda) \right] \quad (29)'$$

$$\psi_1'''(\xi, \lambda) + \lambda^{-\alpha+1} \cdot \left[\phi_{0,N}(\xi, \lambda) - \frac{\sinh(\lambda \xi)}{\cosh \lambda} \phi_{1,N}(1, \lambda) \right] \quad (30)'$$



MESEM: MECANISMO DE SEGURIDAD PARA PRODUCTOS MULTIMEDIA

RESUMEN

El presente proyecto, titulado Mecanismo de seguridad para productos multimedia generados en la Universidad Católica Andrés Bello (MESEM-UCAB), tiene como objetivo principal, desarrollar y evaluar una solución viable para la protección del *software* multimedia desarrollado en la UCAB.

Una vez planteado el proyecto, se realizó una investigación documental sobre los mecanismos de seguridad existentes y otras áreas relacionadas, seguido de un levantamiento de información de los requerimientos de la Universidad Católica Andrés Bello, con esta información se procedió al desarrollo del prototipo del mecanismo de seguridad para *software* multimedia, durante el cual se desarrolló una arquitectura de seguridad para *software*, enfocada a servir como guía para el desarrollo del mecanismo.

Al culminar todas estas fases del desarrollo y de acuerdo a lo estimado se logró obtener, una tabla comparativa de los distintos mecanismos de seguridad existentes, clasificados y con recomendaciones de uso; el levantamiento de información de los requerimientos de la UCAB en cuanto a protección de *software*; un mecanismo de evaluación de mecanismos de seguridad para *software*; una arquitectura de seguridad para *software* y el prototipo del mecanismo de seguridad para *software* multimedio.

Durante el desarrollo del proyecto se llegó a un conjunto de conclusiones entre las que destacan que

■ John Font
john_font_1@ucab.edu.ve

Tutor: Lourdes Ortiz
lortiz@ucab.edu.ve

existe poca información sobre los mecanismos de seguridad para *software* debido a que basan su seguridad en el algoritmo, por lo que se trata de mantener en secreto; que muchos mecanismos de seguridad se basan en características específicas de algunos *hardware* o *software*; que los mecanismos de seguridad para *software* no son infalibles, pero lo que se busca con ellos es una forma de persuasión; que hay que tener en cuenta que un mecanismo de seguridad es bueno si el costo para violarlo supera las ganancias que se pueden obtener al utilizarlo; la seguridad de la información digital es tan segura como el medio donde se encuentre; el desarrollo o implementación de un mecanismo de seguridad debe ser a la par del desarrollo del *software*; y que la selección de un mecanismo de seguridad no es sencillo, por lo que se recomienda la utilización de un sistema de apoyo o arquitectura que ayude en su diseño.

Palabras Claves: Seguridad, *Software*, Arquitectura, Modelo, Evaluación.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

Muy a pesar de los grandes estudios, inversiones y productos realizados para combatir el uso ilegal de *software* a escala mundial, todavía se plantea como una problemática sobre todo económica, que ha generado grandes pérdidas en todo el mundo.

Más específicamente en Venezuela, esta problemática ha venido en un incremento bastante acelerado en los últimos cuatro años, alcanzando un grado de piratería del 58% para el año 2000 según cifras de la BSA (2001) en su Informe Global sobre Piratería de *Software*; con una pérdida de 20,792 millones de dólares. Por este motivo se ha iniciado la lucha antipiratería mediante el desarrollo de nuevas leyes en el país. Las empresas han asumido dos puntos de vista en cuanto a la protección de *software*, la primera es que la piratería de *software* le hace propaganda a los productos que se copian ilegalmente, debido a que los usuarios de los mismos, al tener la oportunidad de utilizar el producto, conocen la calidad del mismo y si les gusta lo más probable es que lo adquieran o que adquieran una versión más actualizada y la segunda, es tratar de impedir la copia ilegal mediante mecanismos de protección cónsonos a sus necesidades.

En este contexto, se presentaron una serie de interrogantes por parte de algunas de las dependencias de la Universidad Católica Andrés Bello,

principalmente por la Escuela de Ingeniería Informática, específicamente en el Grupo de Investigación en Ingeniería del *Software* (G.I.I.S.), y por el Centro de Investigación de Comunicación (C.I.C.). Algunas de estas interrogantes fueron:

1. ¿Cuáles son los mecanismos de seguridad para *software* existentes en la actualidad y cuáles son las condiciones recomendadas para su aplicación?
2. ¿Cómo pueden ser evaluados los mecanismos de seguridad existentes?
3. ¿Será posible desarrollar un mecanismo de seguridad de *software* adaptable al contexto de la UCAB?

Buscando respuesta a estas interrogantes, se planteó el presente proyecto con el objetivo principal, y el conjunto de objetivos específicos descritos a continuación.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Desarrollar y evaluar una solución viable para la protección del *software* multimedia desarrollado en la Universidad Católica Andrés Bello.

Objetivos específicos:

Conocer los mecanismos basados tanto en *hardware* como en *software* existentes, que permitan la protección contra copias ilegales de *software*, principalmente *software* multimedia, estableciendo una tabla comparativa entre los mismos.

Establecer las diferentes necesidades de seguridad de *software* requeridos por la Universidad Católica Andrés Bello, principalmente en el Centro de Investigación de la Comunicación (CIC), evaluando los mecanismos utilizados actualmente, si este fuera el caso.

Establecer los métodos de evaluación de los mecanismos de seguridad de *software* existentes en el mercado y utilizados por compañías como Microsoft, Sybase y Sun Microsystem, para evaluar la eficiencia de los mismos.

Desarrollar un prototipo de un mecanismo de seguridad de productos multimedia propios de la Universidad Católica Andrés Bello, basados tanto en *hardware* como en *software*, adaptado a su contexto y necesidades, para garantizar que se mantengan como los principales medios de difusión de información sobre nuestra historia y nuestra cultura.

MARCO DE REFERENCIA

Para comenzar, al problema de la seguridad de *software* se le relacionan tres principales áreas, como son: la tecnología, los aspectos legales y las investigaciones de distintas organizaciones, que están relacionadas a esta problemática y que se presentan a continuación:

1. Tecnología.

Según el Instituto Tecnológico de la Paz, la tecnología "es un conjunto ordenado de instrumentos, conocimientos, procedimientos y métodos aplicados en las distintas ramas industriales".

De la cual se desprende que, la tecnología es aquella que nos permite optimizar los procesos y además son todos aquellos conocimientos organizados que facilitan el desarrollo de un producto, siendo importante organizar la amplitud de conceptos y conocimientos existentes en el área de investigación de la seguridad de *software* antes de abordarlos para su aplicación.

La tecnología existente nos apoya en el día a día, y también nos puede apoyar en el desarrollo de nuevos medios de protección antipiratería de *software*.

1.1. Estándares de seguridad

En la actualidad se han desarrollado diversidad de reglas, que han permitido estandarizar una gran cantidad de procesos y en una gran variedad de áreas, lo que permite el desarrollo controlado de aplicaciones, además de apoyar el desarrollo, mejorando la calidad. Una de ellas es la seguridad computacional, para ello existen organizaciones que han desarrollado estándares, como es por ejemplo, el estándar de la arquitectura de seguridad de datos OSI, desarrollado por la ISO, el cual se explica más adelante en este mismo capítulo.

1.2. Protección de *software* a través de *hardware*

La protección basada en *hardware*, como su nombre lo dice son todos aquellos medios de seguridad, que han sido desarrollados por un conjunto de empresas abocadas a la lucha contra la piratería de *software*, con la utilización de algún medio físico o las características de los mismos.

Existen una gran variedad de ellos, y se pueden dividir en distintas categorías dependiendo del medio físico que utilizan, como por ejemplo la protección en CD, la protección en discos flexibles, y otras formas de protección como son las llaves electrónicas o dispositivos de seguridad en la memoria. Para

comprender mejor cada uno de ellos es necesario comprender el funcionamiento de los mismos, y saber cuáles son los mecanismos de seguridad de este tipo.

1.2.1. Protección en CD.

Para poder hablar de los mecanismos de protección en CD, es necesario conocer un poco más sobre lo que es un CD y cómo funcionan sus lectoras.

Los CD están hechos según Maikel (2000) de un material plástico llamado olicarbonato, con agujeros formando una especie de espiral, y sobre él hay una capa de laca y plásticos, que protegen a los agujeros para que no se tapen o se creen nuevos.

Según Maikel (2000), "La información digital del disco se almacena en un área que comienza a 25 mm del centro y se extiende hasta los 58 mm. Bordeando esta área existen dos anillos o guías, uno interno y otro externo. La guía interna contiene la tabla de contenidos del disco (lead in), y permite al láser sincronizarse y saber el contenido de información de audio o los datos antes de proceder a su lectura. La longitud de la guía interna depende de las dimensiones de la tabla de contenidos (que puede almacenar hasta 99 pistas de audio 33mm). A continuación viene la información del CD, capaz de almacenar hasta unos 76 min. de audio y 99 pistas como máximo. Finalmente se encuentra la guía externa (lead out), que marca el fin de los datos (1mm de ancho). Este esquema es válido tanto para discos compactos de audio como de datos, aunque puede haber variaciones sobre todo en formatos híbridos (audio+datos)."

Y los lectores de CD están compuestos de un cabezal, donde hay un láser que envía un haz de luz al disco y posee según Maikel (2000) "un fotorreceptor (foto-diodo)" el cual recibe el rebote de la luz en el disco.

Los CD, se leen desde la parte inferior y lo que realmente se lee son salientes y no salientes.

Ya sabiendo un poco más sobre lo que es un CD y el funcionamiento de las lectoras de CD, podemos adentrarnos en los mecanismos de seguridad que basan su protección en la modificación de este medio de distribución digital o en la violación de los estándares de escritura de los mismos.

Muchos de los mecanismos utilizados en la actualidad se basan en realizar una marca digital al momento de la producción del CD, estas marcas pueden ser físicas o lógicas, y tratan de no permitir ser copiadas, con lo cual sólo basta verificar que el CD contiene la marca para saber si es el original o no.

1.2.2. Protección en *Floppy*

La protección en *floppy*, son todos aquellos mecanismos que se basan en un disco flexible, estos mecanismos casi no se utilizan, generalmente se usa el *floppy* como una llave electrónica que contiene la clave del CD para instalarlo o utilizarlo y se protegían para evitar su copia como por ejemplo con muecas en disco.

1.2.3. Otras formas de protección

Además de las distintas formas de protección presentadas anteriormente, existen otras formas de proteger *software* basado en *hardware*, como por ejemplo son aquellas que utilizan algún *hardware* extra, que ayuda a identificar si la persona que está utilizando el producto es la autorizada o no.

1.3. Protección de *software* a través de *Software*

La protección basada en *Software*, son aquellos mecanismos que se basan en programas desarrollados para proteger los datos o para tratar de detectar si el *software* que se intenta proteger esta siendo utilizado de forma ilegal.

Además de todos los algoritmos existentes, se siguen desarrollando un conjunto de nuevos algoritmos y arquitecturas de seguridad computacional, siguiendo la búsqueda de mejores métodos de protecciones.

1.3.1. Algoritmos más conocidos

En la actualidad existe un conjunto de algoritmos desarrollados, los cuales se pueden dividir en dos categorías, los específicos y los generales.

Cuando se habla de algoritmos generales, se habla de todos aquellos, que son desarrollados ofreciendo protección a todo el material contenido en el medio de almacenamiento secundario protegido, sin pensar en el tipo de elemento a proteger.

Mientras que cuando se habla de algoritmos específicos, se refiere a todos aquellos que han sido desarrollados pensando en proteger algún tipo de elemento almacenado en especial y bajo unas condiciones determinadas, como por ejemplo la encriptación de datos.

1.3.1.1. Protección General

Cuando se habla de protección general, se refiere a que el mecanismo de seguridad se encarga de proteger todo, sin importar en qué formato se encuentra lo que se intenta proteger, por ejemplo aquellos mecanismos encargados de proteger todo

lo que se encuentre en un medio de almacenamiento como un CD sin importar el contenido del mismo.

Por lo general esta protección intenta impedir la copia del material protegido o de impedir su instalación.

1.3.1.1.1. Protección en Windows

Uno de los factores importantes a tener en cuenta durante el desarrollo de un mecanismo de seguridad, es la plataforma donde funciona el *software* que se desea proteger, debido a que las distintas plataformas como por ejemplo Windows, en sus diferentes versiones contienen distintas características que pueden ser usadas para la protección de la información o de un *software*, como por ejemplo la capacidad de colocar a un archivo la propiedad de oculto impidiéndole a un usuario ver ese archivo. Además de este, existen otras propiedades más avanzadas pero que varían de una versión a otra.

1.3.1.2. Protección Especializada

Existe un conjunto de algoritmos y mecanismos de seguridad destinados a proteger tipo de elementos específicos, por ejemplo proteger datos o la transmisión de datos, como es el caso de la arquitectura de seguridad OSI de la ISO, o el ocultamiento de la información. Además de otros mecanismos de seguridad basados en el tipo o formato de un archivo en específico.

1.3.1.2.1. Ocultamiento de Información

El ocultamiento de la información o *information hiding* es, como su nombre lo indica, ocultar la información para que no sea descubierta fácilmente, para ello existen diversas técnicas como son:

- La criptografía o cifrado: que es una de las principales técnicas para esconder la información. Según Oppliger (1998, pág. 11) "se utiliza para proteger la confidencialidad de las unidades de datos y la información de flujo de tráfico, o para dar soporte o complementar otros mecanismos de seguridad".
- La esteganografía: basado en StegoArchive.com (2000), la esteganografía se basa en ocultar la existencia como tal de un elemento, como por ejemplo esconder un mensaje dentro de una imagen.

En "Watermarks" y "Fingerprints": según Garrido (2000) "es una o varias marcas o señales transparentes o imperceptibles que se incluyen en material de audio o de vídeo con el propósito de prevenir copias no autorizadas. Estas marcas son inaudibles, invisibles y además no es posible borrarlas,

estas marcas suelen ser de diversos tipos dependiendo del fabricante/desarrollador, podrían consistir en el título de la obra y su autor, o bien en uno o varios códigos con determinada información.”

1.3.2. Principios de arquitecturas de protección ISO.

Existe un conjunto de mecanismos de seguridad de la OSI, denominado mecanismos de seguridad OSI para datos, los cuales brindan un conjunto de servicios bien definidos y preestablecidos por la ISO.

Según Oppliger (1998, pág. 7) “La arquitectura de seguridad OSI proporciona una descripción general de los servicios y mecanismos relacionados con la seguridad, y discute sus interrelaciones. Muestra

también las correspondencias entre la arquitectura de seguridad y la arquitectura estándar, y discute su situación apropiada dentro del modelo OSI-RM”. La clasificación de los servicios de seguridad y sus correspondientes mecanismos de seguridad se presentan a continuación.

2. Investigaciones

En la actualidad existen organizaciones enfocadas en la seguridad computacional de los cuales un grupo esta enfocado en la investigación sobre seguridad de *software*, además de esto existe un conjunto de investigaciones sobre otras áreas relacionadas como es la evolución del *software*.

Tabla No 1.
Servicios de seguridad OSI, basado en Oppliger (1998)

Servicios de seguridad OSI	
Servicios de autenticación	Autenticación de entidades parejas
	Autenticación del origen de los datos
Servicios de control de acceso	
Servicios de confidencialidad de datos	Confidencialidad orientados a conexión
	Confidencialidad no orientados a conexión
	Confidencialidad de campo selectivo
	Confidencialidad de flujo de tráfico
Servicios de integridad de datos	Integridad orientados a conexión con recuperación
	Integridad orientados a conexión sin recuperación
	Integridad de campo seleccionado orientados a conexión
	Integridad no orientados a conexión
	Integridad de campo seleccionado no orientados a conexión.
Servicios de no rechazo	No rechazo con prueba de origen
	No rechazo con prueba de destino

Tabla No 2.
Mecanismos de seguridad OSI, basado en Oppliger (1998).

Mecanismos de seguridad	
Mecanismos de seguridad específicos	Cifrado
	Firma digital
	Control de acceso
	Integridad de datos
	Intercambio de autenticación
	Relleno de tráfico
	Control de encaminamiento
	Certificación
Mecanismos de seguridad generalizados	Funcionalidad de confianza
	Funcionalidad de seguridad
	Detección de eventos
	Rastreo de autoría de seguridad
	Recuperación de seguridad

2.1. Evolución del *Software*

Debido a la rápida evolución del *software* desde sus inicios, ha provocado que el tiempo de vida del mismo sea por lo general corto, por esto se presenta el caso de que los mecanismos de seguridad no necesariamente tienen que ser inviolables debido a que sólo tienen que ser capaces de soportar el tiempo de vida del software, hasta que aparezca una nueva versión en el mercado, perdiendo así su valor.

2.2. "Hackers"

Según Pagua (1996), un "hacker" es, "un individuo que ansía conocimientos, disfruta explorando los detalles de un sistema operativo o un lenguaje de programación, programa constantemente (incluso obsesivamente), disfruta más programando que sólo haciendo teorías sobre programación y disfruta del reto intelectual de vencer limitaciones buscando constantemente aumentar sus capacidades". Gracias a ese disfrute de vencer las limitaciones, es que los "hacker" buscan violar la seguridad de los sistemas, y existe una derivación de los "hacker" denominados "cracker" que buscan violentar el acceso a los programas adquiriendo su clave o burlando su seguridad para poder utilizarlos de forma ilegal.

Por esas ansias de buscar nuevos retos es que se ha vuelto tan complicado el desarrollo de un mecanismo de seguridad de software, debido a que siempre están investigando y desarrollando nuevos métodos para violar esos mecanismos y toman a un nuevo mecanismos como un nuevo reto, lo que ha hecho muy competitiva esta área de desarrollo.

2.3. GIIS

El Grupo de Investigación en Ingeniería de *Software*, tiene como objetivo principal desarrollar proyectos que se enmarcan en una diversidad tecnológica que conduce hacia la investigación en nuevas herramientas, metodologías y paradigmas en el mundo de la Ingeniería del *Software*. Entre los proyectos actualmente en proceso se destaca el desarrollo del proyecto "MISS Modelo Inteligente de Seguridad de *Software*", el cual cuenta con el apoyo del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CDCH) de la UCAB.

2.3.1. Nivel de protección

Según el G.I.I.S. (2001), cuando se habla sobre protección de *software* se puede hablar de tres niveles de protección como son, la protección de copia, la protección de instalación y la protección de ejecución.

El G.I.I.S. plantea un modelo de evaluación de los mecanismos de seguridad de *software* más adecuados para cada tipo de proyecto, el cual se

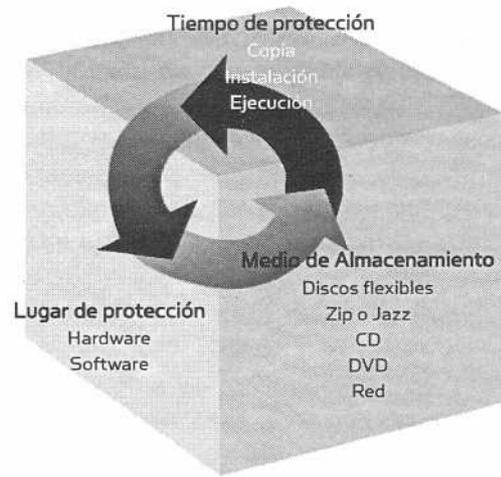


Fig. No 1. Modelo de clasificación para mecanismos de seguridad GIIS, tomado del GIIS (2001)

caracteriza por ser un modelo multidimensional sistémico, basado en tres líneas o ejes principales (lugar de protección, tiempo de protección y medio de almacenamiento), de acuerdo a las variables de clasificación de mecanismos de seguridad antes mencionados (ver figura #1: Modelo de clasificación para mecanismos de seguridad GIIS).

En el modelo se plantea que hay tres maneras de clasificar a un mecanismo de seguridad, la primera, es el medio de almacenamiento, en donde se clasifica al mecanismo dependiendo del medio donde se distribuye o almacena el *software*, la segunda dimensión, se refiere al lugar de la protección; si la protección es basada en *hardware* o se basada en *software*; y la última el tiempo de la protección, en donde se clasifica dependiendo si la protección es durante la copia del producto, durante la instalación o cuando se ejecuta el programa.

3. Aspectos legales

Como menciona Barrera, "La velocidad del Desarrollo Tecnológico e Intelectual de la sociedad, torna sumamente complicado que los legisladores puedan normar de inmediato las relaciones jurídicas que surgen de las transformaciones científicas. Problemas complejos e incluso insólitos irrumpen repentinamente, obligando a un permanente proceso de búsqueda de principios jurídicos aplicables, y perfeccionamiento de leyes. Si hablamos de los derechos intelectuales, es aún mayor la dificultad de percibir adecuadamente el objeto de derechos y crear un marco jurídico".

Como Barrera menciona, el desarrollo tecnológico obliga a que se actualicen las leyes sobre los derechos

de autor constantemente, debido a que se crean nuevas formas de difusión de información como por ejemplo el CD-ROM que ahora permite transmitir libros completos y cualquier tipo de información como sonidos, imágenes y hasta videos en un solo CD, algo que hace poco tiempo no podía imaginar, era casi imposible pensar que todo este tipo de información se pudieran incluir en un mismo medio, por lo cual no existía ninguna ley que protegiera los derechos de autor de la información en este medio.

En el caso de Venezuela ya existe un conjunto de leyes que penalizan la piratería, como lo expone la BSA de Venezuela en su página web (www.bsa.com.ve). Las leyes venezolanas prohíben la copia y el uso ilegal de programas de computación. Según la BSA (2001) "Esta protección tiene su origen en la Ley sobre Derecho de Autor y la Decisión 351 de la Comisión del Acuerdo de Cartagena (Pacto Andino), las cuales expresamente protegen al *software* (incluyendo el soporte magnético y la documentación gráfica) como una obra literaria. La única excepción a esta ley, es el derecho que adquiere el usuario que posee legalmente una licencia para realizar una sola copia con fines de resguardo o seguridad. Cualquier infracción a los derechos de las productoras de *software* puede generar una sanción civil o penal, según sea el caso."

3.1. Necesidades y acciones relativas a la protección del *software*

Gracias al crecimiento tecnológico y a que la piratería de *software* sigue planteando desafíos a las industrias y a la economía global, como se puede apreciar en las cifras aportadas por la BSA (2001), como lo indica el informe global sobre piratería de *software*, "Por primera vez en la historia del estudio, el índice de piratería mundial en el 2000 no se ha reducido sino que muestra un ligero incremento al situarse en el 37%." (ver gráfico #1: Índice de piratería mundial según la BSA, tomado de la BSA)

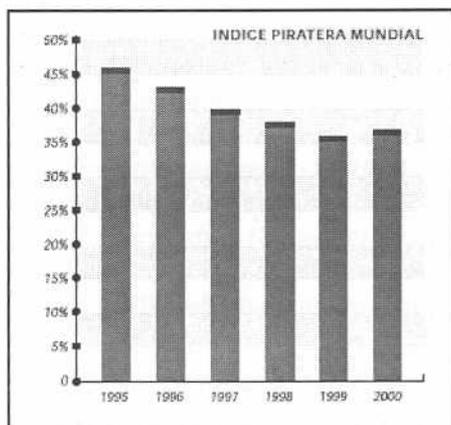


Gráfico No 1.
Índice de piratería mundial según la BSA, tomado de la BSA (2001).

Aunque se puede notar una disminución en las pérdidas en dólares debido a la piratería no significa el descenso de la piratería, según la BSA (2001) se trata del resultado de varios factores como son que el dólar estuvo fuerte en 2000, los precios de *software* siguieron bajando, además el mercado de *software* experimentó el menor índice de crecimiento desde 1994, gracias a estos factores es que se dio una ligera reducción de pérdidas debido a la piratería.

Según la BSA (2001), las pérdidas en dólares por piratería de *software* en el 2000 son de 11.750 millones de dólares, lo que hace a la piratería de *software* un gran problema a escala mundial, y por esta razón es que se presenta la necesidad de realizar una fuerte lucha antipiratería y desarrollar nuevos mecanismos de seguridad, además del la creación de nuevas leyes que se adapten constantemente a las necesidades actuales, debido al crecimiento y el desarrollo constante de la tecnología.

METODOLOGÍA

En el intento de definir una metodología para el desarrollo de este proyecto, se recurrió a la creación de una metodología fundamentada en la utilizada por Matout, y Moronta (1997); basada en una serie de elementos de investigación documental, planteada por De La Torre (1991, pág. xiv), para el cual "Una metodología no es otra cosa que un conjunto de proposiciones lógicas, graduadas y jerarquizadas, destinadas a facilitar y mejorar el ejercicio intelectual, la capacidad creadora de la mente humana en cualquier ramo del saber.", "La metodología va unida indisolublemente a la adquisición del conocimiento, y cada tipo de saber tiene a su vez una metodología específica adecuada a su naturaleza."

Complementariamente, en el contexto de desarrollo de *software* Piattini, Calvo-Manzano, Cervera y Fernández (2000, pág. 62) definen metodología "como un conjunto de procedimientos, técnicas, herramientas, y un soporte documental que ayuda a los desarrolladores a realizar nuevo *software*. Normalmente consistirá en un conjunto de fases descompuestas en subfases (módulos, etapas, pasos, etc.). Esta descomposición del proceso de desarrollo guía a los desarrolladores en la elección de las técnicas que debe elegir para cada estado del proyecto, y facilita la planificación, gestión, control y evaluación de los proyectos. Una metodología, por tanto, representa el camino para desarrollar *software* de una manera sistemática."

En virtud de todo lo antes expuesto, la metodología planteada para el proyecto desarrollado estuvo compuesta de tres etapas, la primera conformada por una serie de elementos de investigación, denominada fase de Investigación Documental, y la segunda fase, utilizada para el desarrollo del prototipo del mecanismo de seguridad antipiratería, la cual está basada en el modelo de entrega por etapas (McConell, 1998) y la tercera etapa conformada por la documentación y exposición del proyecto. (ver figura #2: Esquema de la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto.)

FASE I: Investigación Documental

La finalidad de esta etapa es buscar y procesar toda la información referente al tema de investigación y desarrollo, y de todas las áreas de la computación relacionadas con el tema de la seguridad.

Por lo que el objetivo fundamental de esta etapa es organizar de una forma eficiente toda la información obtenida, esta etapa se divide en dos subfases como son:

1. Obtención del conocimiento: se basa en la búsqueda de fuentes de información, como son las fuentes tradicionales como las sugeridas por De

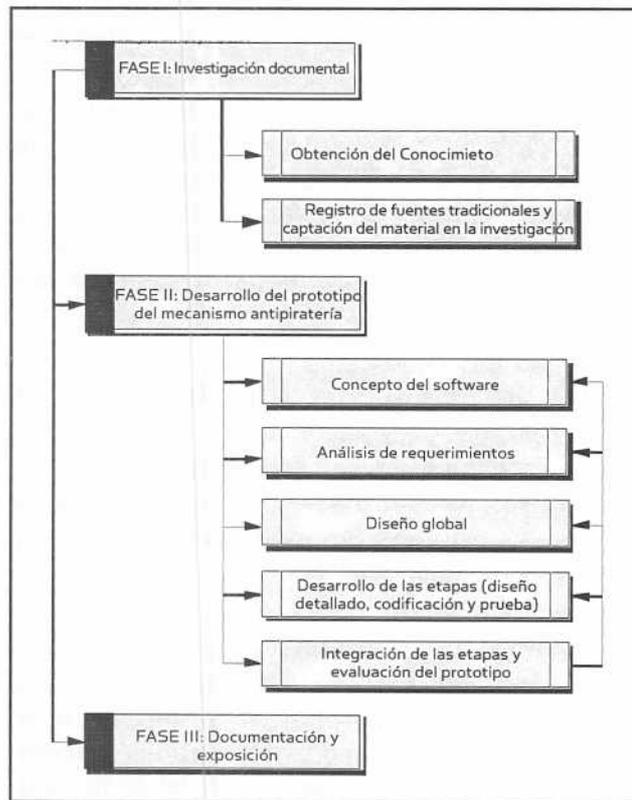


Fig. No 2. Esquema de la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto

La Torre (1991), las cuales incluyen fuentes bibliográficas como libros, revistas y publicaciones, entre otras. Y las fuentes automatizadas, como la red global Internet y trabajos no publicados de centros de investigación.

2. Registro de las fuentes y captación del material en la investigación: la cual consiste en organizar la información y generar tablas, fichas resumen y diagramas sobre la información obtenida en la etapa anterior.

FASE II: Desarrollo del prototipo del mecanismo antipiratería

El desarrollo del prototipo del mecanismo de seguridad antipiratería de *software*, se basó en la metodología de entrega por etapas, la cual según McConell (1998, pág. 161), "es otro modelo de ciclo de vida en el que el *software* se muestra al cliente en etapas refinadas sucesivamente. A diferencia del modelo de prototipado evolutivo, cuando se utiliza la entrega por etapas, se conoce exactamente qué es lo que se va a construir cuando se procede a construirlo". Por lo que se plantea una metodología que permita el desarrollo por etapas independientes e interrelacionadas que permitan al final tener un producto completo, basado en etapas, todo esto debido a que se procura construir un mecanismo formado por un conjunto de submecanismos independientes y probados, cuya unión preste una seguridad integral al de cada uno por separado.

Esta metodología a la vez se conforma de una serie de subfases (ver figura #2: Esquema de la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto), como son:

- a. Concepto del *software*. La primera fase, denominada concepto del *software*, se basa en la definición de los objetivos del proyecto a desarrollar, buscando una visión clara de lo que se desea realizar y obtener al final del proyecto.
- b. Análisis de requerimientos. En esta fase, se realiza el levantamiento de la información sobre los requerimientos básicos del mecanismo de seguridad antipiratería, para obtener toda la información necesaria para el diseño global, y posteriormente desarrollar cada etapa del proyecto.
- c. Diseño global. Mediante los requerimientos básicos obtenidos en la fase anterior se procede al diseño del prototipo, en esta fase se decide en que cantidad de etapas se debe dividir el desarrollo del proyecto.
- d. Desarrollo de las etapas. Para cada una de las etapas definidas en la fase anterior, se procede a

realizar el diseño detallado, la codificación de la etapa, la depuración y la prueba de la misma, con lo cual se obtiene un producto terminado, que conforma una parte del producto definitivo.

e. Integración de las etapas y evaluación del prototipo. Al finalizar todas estas fases se procede a integrar las distintas piezas o etapas del desarrollo y se realiza una evaluación al prototipo del mecanismo de seguridad para *software*.

FASE III: Documentación y exposición

En esta última etapa se elabora toda la documentación de este proyecto de investigación, esta etapa se comienza desde el principio del desarrollo del proyecto documentando cada etapa del desarrollo.

DESARROLLO

Para la realización del proyecto se realizaron una serie de actividades que conforman la metodología presentada anteriormente. A continuación se presentan estas actividades enmarcadas en las distintas fases de la metodología.

FASE I: Investigación Documental

En esta etapa se realizaron una serie de actividades con la finalidad de obtener la mayor cantidad de información referente al tema de investigación, que permitiera dar las bases para el desarrollo del proyecto, estas actividades son:

- Investigación en fuentes bibliográficas:
 - Internet.
 - Bibliografía proporcionada por profesores y expertos.
 - Biblioteca UCAB.
- Entrevistas a especialistas en el área.

En esta etapa se recolectó información referente a la seguridad de *software*, la principal fuente de investigación utilizada fue el Internet para la búsqueda de información referente a los mecanismos de seguridad antipiratería existentes en la actualidad, lo cual resultó una tarea complicada debido a la poca información existente sobre el tema, principalmente debido a que los mecanismos de seguridad específicamente para *software* son por lo general secretos, ya que en eso basan su garantía. Posteriormente se realizó una búsqueda exhaustiva sobre las áreas relacionadas con la seguridad de *soft-*

ware, como son, la seguridad de datos y demás algoritmos específicos, además de los estándares de seguridad, las investigaciones en esta área realizadas por distintas organizaciones, la construcción de nuevos algoritmos, la protección bajo Windows como principal plataforma de *software* comercial en ambiente de ausencia de red y el ocultamiento de información o "information hiding". Se estableció la relación entre estos elementos mediante un mapa mental de idea. (ver Apéndice A. Mapa mental de ideas).

Luego de realizar el levantamiento de información por medio de Internet, se procedió a contactar a una serie de especialistas en el área de seguridad, y a realizar reuniones con los mismos, a la mayoría se le realizó una entrevista estructurada (ver apéndice B Modelo de encuestas) para poder poseer un medio de comparación y análisis de las respuestas obtenidas. Adicionalmente fueron consultados otros especialistas en aspectos técnicos del proyecto. Este conjunto de especialistas contactados se conformó con profesores de la escuela de Ingeniería Informática especialistas en áreas relacionadas en el proyecto (Prof. Pedro Brao, Prof. Wilmer Pereira, Prof. Jacinto Fung), profesionales con experiencia aplicada en el área (Ing. José Lorenzo Flores, Grupo Santander) y especialistas de reconocimiento internacional en el área de seguridad (Dr. Miguel Soriano, Universidad de Cataluña – España.)

Gracias a este conjunto de entrevistas que logran combinar los conocimientos teóricos con los conocimientos prácticos y las experiencias de los mismos en esta área o áreas afines al proyecto, se desarrolló una tabla comparativa de las respuestas obtenidas, permitiendo un mejor análisis de las mismas.

FASE II: Desarrollo del prototipo del mecanismo antipiratería.

Para esta segunda fase, denominada desarrollo del prototipo del mecanismo antipiratería, se siguió la metodología planteada anteriormente, cada fase, como se explica a continuación.

a. Concepto del *software*.

En esta etapa se procedió a mejorar y profundizar el concepto sobre el prototipo del mecanismo antipiratería a desarrollar, basándose en la investigación documental realizada en la primera fase del proyecto y en la selección del *software* a la que se le iba a aplicar el prototipo del mecanismo de seguridad antipiratería. Con esta nueva

conceptualización, ya más cercana a la definitiva, se procedió a realizar el análisis de requerimientos basado en las necesidades de seguridad de *software* de la Universidad Católica Andrés Bello.

b. Análisis de requerimiento.

Se realizaron una serie de encuestas (ver Anexo B: Modelo de encuestas.) a las principales organizaciones de la Universidad Católica Andrés Bello, encargadas en desarrollar *software* o material digital multimedia, que pudieran verse beneficiadas con un mecanismo de seguridad antipiratería.

Estas entrevistas fueron realizadas a: Lic. Héctor Álvarez perteneciente al Centro de Investigación de Comunicación – C.I.C; Lic. Daniel Graterol, director del Centro de Tecnología y Sistema - C.T.S y a la Lic. Carolina Marturet Medina, perteneciente a la Unidad Académica del Centro para la Aplicación de la Informática – C.A.I.

Mediante las entrevistas se buscaba conocer los requerimientos específicos en cuanto a qué tipo de recursos multimedios eran los que más necesitaban proteger y en qué medio de distribución, para lo cual se realizó un cuadro comparativo de los resultados de las encuestas, el cual es presentado en el capítulo de resultados (ver tabla #4: Resultados encuestas a organizaciones desarrolladoras de *software* en la UCAB).

c.- Diseño global.

Durante esta etapa, diseño global, se tomaron los resultados de la etapa anterior, y debido a la variedad de requerimientos que se podían presentar se procedió a no solo realizar el diseño del prototipo de un mecanismo antipiratería para la UCAB, sino que además se definió y planteó una arquitectura de seguridad para *software*, que permitiera en un momento dado desarrollar nuevos mecanismos de seguridad con la ayuda de la arquitectura, y que brindara una guía al momento de seleccionar el nivel de seguridad necesario, dependiendo de las necesidades planteadas y la disponibilidad de recursos.

Para comenzar el diseño del prototipo del mecanismo de seguridad para *software*, se tomó como base la arquitectura desarrollada en este proyecto, la cual recomienda que para construir un mecanismo de seguridad, es preferible estudiar principalmente los requerimientos de seguridad, para de esta forma poder conocer datos fundamentales del mecanismo, como por ejemplo el nivel de protección que se requiere, los cuales

pueden ser protección de copia, de instalación, de ejecución, o cualquier combinación de las mismas. Además de definir cual es el medio de almacenamiento y el lugar de la protección (*hardware* o *software*).

Al poseer estos datos fundamentales, se pasó a utilizar las recomendaciones de la arquitectura de seguridad para *software*, con lo cual se definieron cuáles mecanismos de seguridad o qué tipo de mecanismo de seguridad eran posibles de utilizar para el nivel de protección deseado, los cuales iban a conformar las piezas del rompecabezas del mecanismo final.

Al tener definidas las posibles piezas a utilizar se continuó con un estudio de factibilidad para desarrollar o implementar cada una de las piezas, debido a que para cada tipo de mecanismo existe una gran variedad, y otra gran variedad que se pueden desarrollar. Por lo cual se estudiaron los requerimientos de los mecanismos seleccionados como son: protección basada en *software* con seguridad específica, protección basada en *software* con seguridad general y mecanismo de control de acceso, para cada uno de estos tipos de mecanismos de seguridad, se procedió a analizar un conjunto de ellos, y seleccionar los más factibles y que además prestarán el nivel de seguridad deseado.

Con esta visión más clara de los posibles mecanismos de seguridad a utilizar, se procedió a profundizar la investigación, referente a la factibilidad de los mismos, debido a que algunos mecanismos requieren, unidades específicas para grabar un CD o de algún otro tipo de equipo especializado, otros requieren de un determinado software de grabación, o de algún medio de almacenamiento con características específicas, etc.

Luego de estudiar la factibilidad de implementación de los mecanismos de seguridad existentes, se estudió la posibilidad de desarrollar mecanismos de seguridad propios, con lo cual se tiene la ventaja de que los algoritmos de los mecanismos no son conocidos, por lo que el nivel de seguridad aumenta.

Al tener más definidos los posibles mecanismos a implementar se procedió a definir exactamente cuáles de los mecanismos factibles se iban a utilizar, para esto se estudió las ventajas y las desventajas de cada uno para, posteriormente, seleccionar aquellos mecanismos que uniéndose

disminuyeran en gran número las debilidades que presentan individualmente, para que al final el nivel de seguridad prestado sea superior al ofrecido por cada una de las piezas por separado.

Posteriormente se seleccionó el orden a desarrollar de cada una de las piezas siguiendo las recomendaciones presentadas por McConell (1998, pág. 162) "En un nivel técnico, hay que asegurarse de que se han tenido en cuenta todas las dependencias técnicas entre los diferentes componentes de un producto", por esto se hizo una selección sobre qué piezas del mecanismo se tenían que desarrollar antes, o después y cuáles en paralelo debido a sus dependencias.

d.- Desarrollo de las etapas.

Como su nombre lo dice, en esta fase se desarrollan cada una de las etapas o piezas definidas en el diseño global, para cada una de ellas se realiza el diseño detallado, la codificación, depuración y pruebas.

Teniendo ya definidas cada una de las etapas o piezas a desarrollar, se realizó un análisis detallado, en donde se estudió la forma de desarrollarlo para que se pudiera combinar con las demás piezas del mecanismo, durante esta etapa se procedió a elegir qué piezas eran necesarias de programar o codificar, y se realizó el diseño de cada una de las mismas, como por ejemplo el estudio del formato de las imágenes gráficas que se deseaban proteger y cómo se podía hacer, o las distintas formas de generar un serial seguro.

Al tener definidas cuáles etapas o piezas había que programar y cuáles sólo se tenían que aplicar al *software* que se deseaba proteger, se procedió a codificar las distintas piezas que eran necesarias, para lo cual se codificaron algoritmos basados en los estudios realizados en el diseño detallado de cada una de las etapas.

e.- Integración de etapas y evaluación del prototipo.

Al finalizar el desarrollo de todas las piezas establecidas anteriormente, se comenzó a unir las diferentes piezas del rompecabezas, de la forma que se diseñó en la fase anterior. El mecanismo de seguridad desarrollado es un prototipo, y presenta una serie de ajustes para permitir su aplicación a un *software* multimedia ya desarrollado, lo que presenta el problema de que el prototipo no se realizó a la par del desarrollo del *software* multimedia, por lo que está implementado de una forma particular por este motivo ya que no se tenía el acceso al código fuente de este *soft-*

ware. Por lo que se debió crear un programa que realizara una introducción mientras se descifraban las imágenes al iniciar el *software* y que las cifrara nuevamente al salir del mismo.

Durante el proceso de integración de los mecanismos o piezas seleccionadas, se presentó la dificultad de averiguar en qué formato se debían realizar las grabaciones de las multisesiones; para permitir quemar primero una parte del CD y posteriormente el resto, pero desde una imagen del CD multimedia ya protegido con el mecanismo de archivos de gran tamaño; de modo de lograr alcanzar el tamaño de 81 minutos de grabación aproximados para poder superar la capacidad normal del CD y con esto lograr realizar el mecanismo de *overburning* sobre un CD de 80 minutos.

Al terminar de integrar todas las etapas se procedió a la realización de un conjunto de pruebas basadas en un modelo de evaluación de mecanismos de seguridad planteado en este proyecto, que se basa en la evaluación de la calidad durante el desarrollo del producto y en modelos de evaluación que califican la facilidad de uso, la compatibilidad, la versatilidad y la seguridad.

FASE III: Documentación y exposición.

Durante esta fase se realizó toda la documentación necesaria para respaldar el desarrollo del presente proyecto y sus conclusiones, así como todo el material necesario para su exposición ante el jurado calificado para su evaluación.

Además, se procedió a crear un manual sobre la utilización de la arquitectura de seguridad planteada, que presenta un conjunto de pasos recomendados a seguir en el desarrollo de un mecanismo de seguridad para *software*.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos en este proyecto son variados y se pueden enunciar dependiendo de cada una de las fases de desarrollo del proyecto.

FASE I: Investigación Documental.

En esta fase se realizó principalmente una investigación documental basada en Internet, y debido a la cantidad de información recolectada durante la investigación en fuentes bibliográficas, en donde se pudo apreciar la gran variedad de áreas relacionadas con el tema de la seguridad de *software*, se construyó

un mapa mental (ver Apéndice A, Mapa mental de ideas), sobre las distintas áreas relacionadas y sus interrelaciones, con esto se pretende facilitar el entendimiento del material recolectado y de la importancia del conocimiento de un determinado tema para poder comprender con mayor profundidad el tema de la seguridad y la importancia de cada área para el desarrollo de este proyecto.

Otro de los resultados obtenidos durante esta primera fase del proyecto es que se lograron establecer los principales mecanismos de seguridad existentes en el mercado, y basados en esta información se desarrolló una tabla comparativa de los mismos, que permitiera una mejor visión al momento de estudiar las ventajas de uno respecto a los otros y sus requerimientos de aplicación.

En esta tabla comparativa (ver Apéndice B, Clasificación de mecanismos de seguridad para *software* existente), se pueden apreciar los distintos mecanismos de seguridad de *software* existentes en el mercado, con las características de los mismos, y su clasificación de acuerdo al lugar de protección, medio de almacenamiento, y el tiempo de protección, los cuales son los parámetros expuestos por el G.I.I.S (2001), en su modelo de clasificación de los mecanismos de seguridad de *software* referido en el segundo capítulo.

Esta tabla es de gran valor para el proyecto, debido a que la investigación documental relacionada a este tema presenta grandes inconvenientes, por la dificultad de encontrar información sobre los

mecanismos de seguridad existentes, debido a que su seguridad se basa en el secreto del algoritmo, por lo que las empresas desarrolladoras cuidan mucho este secreto. Además la investigación documental sirvió como punto clave para el desarrollo del prototipo del mecanismo de seguridad, y para la arquitectura definida en este proyecto.

Durante la investigación documental se realizaron una serie de encuestas a un conjunto de especialistas, tanto en el área de seguridad como en otras áreas relacionadas. Durante estas encuestas se logró acumular la opinión del grupo de especialistas y se realizó una tabla comparativa para poder apreciar sus distintas opiniones. A continuación se presenta dicha tabla. (ver tabla #3: Resultados de las encuestas a especialistas en el área de seguridad o afines).

FASE II: Desarrollo del prototipo del mecanismo antipiratería.

1. Requerimientos de la UCAB

Durante el proceso de desarrollo del prototipo del mecanismo de seguridad, posterior a la conceptualización del *software*, se realizó una de las etapas fundamentales para el desarrollo del prototipo del mecanismo de seguridad adaptado a las necesidades de la U.C.A.B., el levantamiento de la información sobre los requerimientos de la UCAB en cuanto a la seguridad de *software*, para lo cual se realizaron un conjunto de entrevistas estructuradas a distintas organizaciones desarrolladoras, durante esta etapa se realizó una tabla comparativa de las respuestas

Pregunta	Entrevistado	Experto #1	Experto #2	Experto #3
Tipos de mecanismo de seguridad antipiratería que conoce.		Marca de agua, mecanismos para proteger derecho de autor de audio, encriptamiento, tarjetas inteligentes.	Algoritmo de encriptamiento	Protección de datos, seguridad de red, Tarjetas inteligentes.
Mecanismos de seguridad que conoce.			Sólo mecanismos de encriptamiento, como DES, etc.	CipherPack
La opinión sobre los mecanismos que conoce.		No existe un mecanismo totalmente seguro, debido a que la información digital es muy difícil de proteger.	Son muy seguro si se desea, pero basan su seguridad en la clave y por lo general no en los algoritmos.	
Qué empresa conoce que desarrollan mecanismos de seguridad.		NA		
Qué mecanismo de evaluación conoce.		Ninguno	Ninguno	Ninguno
De qué manera piensa que un mecanismo de seguridad debe ser probado para demostrar su funcionalidad.		NA		
En qué lugar se puede ampliar la información.		www.ieee.org/organizations/pubs/pub_preview/PROC/87proc07_toc.htm , www.jitc.com/Steganography		http://www.anti-piracyworld.com/cobdown.htm
Qué bibliografía o experto recomienda.		Libro de Fabien A. P. Petitcolas.		

Tabla No. 3. Resultados de las encuestas a especialistas en el área de seguridad o afines

PreguntasEntrevistado	C.I.C. Héctor Álvarez.	C.A.I. Carolina Marturet	C.T.S. Daniel Graterol
Tipos de productos que desarrollan	Multi-media.	Multi-media educativos.	Productos a la medida de la UCAB.
Medio de distribución	CD-ROM.	Ninguno.	Ninguno.
Lenguaje de desarrollo	Macromedia Director, y están empezando a utilizar B/D como Access.		Power Building con Oracle.
Lo que más desean proteger	Fotografías, texto, video, por los derechos de autor de los mismos.		Los datos.
¿Utilizan algún medio de protección?	Ninguno	No, lo máximo que han hecho es colocar un mensaje en sus productos diciendo que no se puede vender o reproducir.	Ninguno para el software, debido a que es para uso interno y a la medida.
¿Han considerado utilizar algún mecanismo de seguridad?	Si, pero no han buscado información sobre el tema.	No, pero si pensaran en venderlo lo más seguro es que sí.	No aplica, no distribuyen.
¿La organización estaría dispuesta en invertir en seguridad?	Si, pero están limitados a los financiamientos que logren obtener para los proyectos.	Si, si lo vendieran.	No aplica.

Tabla No. 4. Resultados encuestas a organizaciones desarrolladoras de *software* en la UCAB

obtenidas. (ver tabla #5: Resultados encuestas a organizaciones desarrolladoras de *software* en la UCAB.)

Con la información recolectada durante las entrevistas realizadas, se obtuvo como resultado, que los principales requerimientos de la UCAB en cuanto a protección de *software* son, la protección de imágenes, vídeos y textos, debido a los derechos de autor que presentan los mismos. Además de tener como medio de distribución los discos compactos.

Durante la fase de diseño global se desarrolló la arquitectura para un mecanismo de seguridad orientado a la protección del *software*, el cual se presenta a continuación.

2. Arquitectura de seguridad para *software*

La arquitectura de seguridad se fundamenta en que existe un conjunto de elementos que brindan distintos niveles de seguridad, y una buena combinación de ellos pueden brindar un nivel óptimo de seguridad dependiendo de los requerimientos de seguridad que se necesiten. Estos requerimientos se pueden dividir en cuatro categorías básicas como son:

- Durabilidad de la protección.
- Momento de la protección. (Copia, instalación, ejecución)
- Medio de almacenamiento. (Zip, CD, DVD, etc)
- Lugar de la protección. (*Hardware* o *Software*)

Durabilidad de la protección: como su nombre lo indica se refiere al tiempo que se desea que el *software* se mantenga protegido. Bien se sabe, que en la actualidad no existe algún mecanismo totalmente inviolable, todos ellos son desarrollados y luego de un

tiempo se descubre la manera de romper ese mecanismo de seguridad. Se podría pensar de qué sirve entonces proteger algo si se conoce que aún así es vulnerable, esta pregunta se puede contestar poniendo un punto de comparación de la cotidianidad, por ejemplo, los mecanismos de seguridad que la mayoría de las personas colocan es sus vehículos para que no se los hurten, como se sabe esos mecanismos tampoco son muy seguros o invulnerables, es de conocimiento público que en cuestión de unos pocos minutos se logran romper estos mecanismos, pero de qué sirven entonces, son sencillamente mecanismos de persuasión, con lo cual se logra evitar por un tiempo que personas especializadas logren romper dichos mecanismos, además de persuadir a los ladrones a elegir un objetivo más sencillo como sería un carro sin ninguna protección. Por esto, se habla de durabilidad de la protección en mecanismos de seguridad para *software*.

Momento de la protección: otro factor importante en los requerimientos que se debe tomar en cuenta para la protección de un *software*, es el momento de la protección. Se considera momento de la protección, el instante en que el mecanismo de seguridad actúa para evitar su copia o uso ilegal. Los momentos de protección se clasifican en tres categorías:

- Copia: si se desea que el *software* no sea duplicado sin autorización, se coloca un mecanismo de seguridad que actúe en el momento en que se trate de hacer una copia del mismo, puede ser tan sencillo como evitar que no se copie un archivo en específico u otras técnicas existentes.

- **Instalación:** en algunos casos no nos importa que se duplique el software, esto se hace generalmente para permitirle a los usuarios realizar copias de seguridad de su *software* legal, como una medida de protección si se daña el original, para estos casos el mecanismo de seguridad se encarga de verificar en el momento de la instalación del *software* si está autorizada y si cumple con los términos de la licencia adquirida, como por ejemplo el número de máquinas donde se puede instalar o el tiempo de uso, todo depende de la licencia establecida.
- **Ejecución:** muy utilizado para versiones de *software* de pruebas. En este caso el mecanismo de seguridad se ejecuta en el momento en que comienza la ejecución para verificar si es permitida, como se mencionó anteriormente es muy utilizado para software de prueba que verifica que sólo se use un tiempo determinado y que no permita su ejecución si ya transcurrió el tiempo de prueba, otro ejemplo es el caso en que se solicita que se tenga el CD original en la unidad de CD-ROM.

Medio de almacenamiento: el medio de almacenamiento se refiere al medio físico o electrónico que se utiliza para almacenar y distribuir el *software*, en la actualidad existen diversos medios de almacenamientos de una variada capacidad de almacenamiento y funcionamiento, las principales y más utilizados son los CD y los DVD por su bajo costo y capacidad de almacenamiento, otros de los medios existentes son los discos flexibles, los zip y los jazz.

Lugar de la protección: se refiere como su nombre lo indica al lugar de la protección, como pueden ser *hardware* o *software*. En la actualidad existe una gran variedad de mecanismos de seguridad basados en *hardware*, los más famosos son las llaves electrónicas, mientras que en la protección de software para software, son por ejemplo los mecanismos que utilizan clave de acceso, o el conocido Safedisc de Ç-Dilla y de Macrovision Corporation.

Tomando en cuenta los distintos tipos de requerimiento y la cantidad de recursos destinados a proteger un *software* en específico, se plantea la arquitectura de seguridad para *software*, que sencillamente trata de establecer una manera de combinar un conjunto de distintas técnicas y mecanismos, para brindar la máxima protección para el *software*. Para ello se explican primero los distintos tipos de mecanismos o técnicas de seguridad utilizados en la actualidad que representan cada una de las capas de la arquitectura.

Control de acceso: el control de acceso es uno de los mecanismos más utilizados en la actualidad, que intenta impedir que usuarios no autorizados utilicen el *software* protegido con este mecanismo. Aunque es muy utilizado, brinda muy poca seguridad debido a que si nos ponemos a analizar, este mecanismo se basa en autenticar a la persona que está utilizando o instalando el *software*, para lo cual le solicita un serial entregado por el fabricante del *software*, y esto no es seguro debido a que los usuarios no mantienen en secreto el serial entregado por el fabricante, ya que no los perjudica de manera directa.

En la actualidad se han desarrollado mejoras en este mecanismo, tratando de buscar una manera de identificar unívocamente al usuario y que el mismo no se lo pueda pasar a otra persona, como por ejemplo el reconocimiento de la voz, la huella digital, el iris de los ojos, pero aún son muy costosos.

Protección basada en *software*: la protección basada en *software* son todos aquellos mecanismos de seguridad que sencillamente son una aplicación que se le agrega al *software* que se desea proteger. En la actualidad este es uno de los tipos de mecanismos más desarrollados, principalmente por el bajo costo que presentan al momento de implementarlo. Aunque su costo de desarrollo es generalmente elevado, aún sigue siendo más económico que otros tipos de mecanismos, como son los basados en *hardware* que se presenta a continuación. A la vez esta capa se encuentra dividida en dos subcapas, como son los mecanismos basados en *hardware* específicos y generales, como su nombre lo dice se basan en un formato de archivo en especial y los generales en cambio sirven para cualquier tipo de archivo.

Protección basada en *hardware*: este tipo de mecanismos se basa en la utilización de componentes tipo hardware utilizados para proteger un *software* en específico, los más comunes en la actualidad son las llaves electrónicas, las cuales son utilizadas como medio para poder identificar a las personas no autorizadas, con este mecanismo se ha logrado que aunque se copie el *software* sólo una persona lo pueda utilizar, debido a que si la llave electrónica no está conectada a la computadora, mediante el puerto paralelo o el puerto USB, no se permite su ejecución. Al igual que la protección basada en *software* se divide en dos subcapas, que son la protección basada en *hardware* específica y la general.

Antidebugging: se basan en un conjunto de técnicas que impiden que se le aplique un *debugger* al *software* que se desea proteger, esta técnica es

muy importante debido a que la forma más común de detectar el funcionamiento exacto de un mecanismo de seguridad es aplicándole un *debugging* o corrida paso a paso, y de esta forma buscar el punto débil del mismo.

Criptografía: la criptografía es utilizada para encriptar el código de las aplicaciones y/o de los mecanismos de seguridad utilizados. La criptografía aunque se conoce como la ciencia de la comunicación segura, también es utilizada para la protección del *software*. Lo que generalmente se hace, es cifrar o encriptar el código del mecanismo para dificultar que los *cracker* logren leer con facilidad el código del mecanismo.

En la figura #3 (Arquitectura para la protección del *software*), se presenta la relación entre estos tipos de mecanismos y técnicas de seguridad, y como la combinación de ellos pueden hacer más seguro un *software*. Hay que tomar en cuenta que si se opta por no utilizar algunas de estas capas, se disminuye la seguridad prestada por el mismo, pero también disminuye su costo. Todo esto depende de la cantidad de recursos destinados a la protección del *software*, y de los requerimientos del mismo, por lo cual se debe buscar la solución más óptima que satisfaga ambas cosas, pero que se ajuste a la arquitectura.

La arquitectura de seguridad para *software* está conformada por tres capas o tipos de mecanismos de seguridad, entre estas tres capas la seguridad



Fig. 3. Arquitectura para la protección del software

Requerimiento	Protección software		Protección hardware		Control de Acceso	Criptografía o Antidebugging
	General	Específica	General	Específica		
Proteger imágenes		✓				
Proteger archivos de sonido		✓				
Proteger archivos de texto		✓				
Proteger ejecutable	✓		✓			
Proteger durante instalación	✓		✓	✓	✓	
Proteger durante ejecución	✓	✓	✓	✓	✓	
Proteger durante copia	✓		✓	✓		
Proteger toda la información	✓		✓		✓	
Riesgo de violación alto	✓	✓	✓	✓		✓
Riesgo de violación baja	✓				✓	
Riesgo de violación media		✓		✓		

Tabla No 5. Recomendación de uso de mecanismos de seguridad

prestada es menor en la capa superior y mayor en la capa inferior, por lo que si se desea un mecanismo más seguro se recomienda utilizar las capas inferiores de la pirámide. Anexas a estas tres capas existen dos capas que recubren a las otras tres, que pueden ser utilizadas para completar o mejorar la seguridad prestada por cada una de ellas, estas son la capa de criptografía y la de *antidebugging*.

De estas tres capas la de protección *hardware* es la más costosa como se mencionó, y la menos transparente al usuario, por lo cual es una de las menos utilizadas, pero que a su vez es una de las más seguras en la actualidad, gracias al nivel que han alcanzado, y a la utilización de técnicas criptográficas y *antidebugging*.

Recomendaciones de uso de la arquitectura

La arquitectura de seguridad que se está planteando, intenta recomendar en que caso es bueno utilizar o no una capa en específica, lo cual se puede ver en la tabla #5 (Recomendación de uso de mecanismos de seguridad.)

La tabla indica cuáles de las capas se pueden utilizar bajo unos requerimientos dados, si para un requerimiento se recomienda un conjunto de mecanismos queda a consideración del desarrollador cuales de ellos puede usar o desarrollar, siempre teniendo en cuenta el nivel de seguridad deseado y los recursos que se posean, debido a que como por ejemplo los mecanismos basados en *hardware* tienen un costo muy superior a uno basado en *software*, por esto se requiere de un cuidado al momento del diseño global del mecanismo, además de tener un buen estudio de las personas a que va dirigido el *software* y su capacidad de violar el mecanismo.

3. Prototipo de un mecanismo de seguridad para *software* multimedia

Esta arquitectura sirvió para realizar el diseño global del prototipo del mecanismo de seguridad para *software*, para lo cual se procedió a analizar, basados en los requerimientos, qué piezas del rompecabezas planteado en la arquitectura se tenían que desarrollar, para lo cual se seleccionaron los siguientes tipos de mecanismos, como son:

- Protección *software* para seguridad específica.
- Protección *software* para seguridad general.
- Control de acceso.

Para cada uno de los distintos mecanismos de seguridad se realizó un estudio de factibilidad para saber cuales se podían utilizar, los mecanismos seleccionados fueron:

imágenes TIF siguen un patrón que permite la distorsión, a las otras imágenes fue necesario realizar un cifrado genérico, que se le puede aplicar a cualquier archivo, para esto también se diseñó un algoritmo específico, desarrollado especialmente para este mecanismo, que cifrara los archivos con una clave.

Para los mecanismos que sólo tienen que aplicarse, se realizaron un conjunto de pruebas hasta lograr implementarlo de forma correcta, otros de estos mecanismos no se lograron implementar debido a dificultades de tipo tanto de *hardware* como de *software*, ya que mucho de ellos requieren de *software* de grabación específicos o de quemadoras de CD con determinadas características. Por ejemplo para poder realizar *overburnings* necesario quemadoras de CD que poseen esta característica, al igual que la técnica de "Illegal TOC", para más detalles de las quemadoras

Tipo de mecanismos	Mecanismo de seguridad	Implementación	Factibilidad
Protección <i>software</i> para seguridad específica.	Cifrado imágenes jpg.	Codificar	Si
Protección <i>software</i> para seguridad específica.	Cifrado imágenes tif.	Codificar	Si
Protección <i>software</i> para seguridad específica.	Cifrado de imágenes bmp.	Codificar	No
Protección <i>software</i> para seguridad específica.	Cifrado de sonido wav.	Codificar	No
Protección <i>software</i> para seguridad general.	Cifrado de archivos genérico.	Codificar	Si
Protección <i>software</i> para seguridad general.	Dummy Files.	Aplicar	No
Protección <i>software</i> para seguridad general.	Archivos de gran tamaño	Aplicar	Si
Protección <i>software</i> para seguridad general.	Oversize u Overburning.	Aplicar	Si
Protección <i>software</i> para seguridad general.	CD con multisesion.	Aplicar	Si
Protección <i>software</i> para seguridad general.	Illegal TOC.	Aplicar	No
Protección <i>software</i> para seguridad general.	CD Check	Aplicar	No
Control de acceso.	Seriales seguros en el momento de instalación.	Codificar	Si

Tabla No 6.
Mecanismos de seguridad para *software* analizados

Como se puede apreciar en la tabla #6 (Mecanismos de seguridad para *software* analizados), los distintos mecanismos evaluados fueron seleccionados dependiendo de su factibilidad de implementación para este proyecto, algunos de los mecanismos sólo se tenían que implementar y otros que codificar, por lo cual se procedió a iniciar la fase de desarrollo de etapas, en donde los algoritmos codificados fueron principalmente los de cifrado de archivos, en el que se buscó la manera de distorsionar las imágenes pero que no se dañara el archivo o perdiera su formato, para esto fue necesario conseguir editores de formato hexadecimal que permitiera analizar los archivos en hexadecimal y buscar una forma de distorsionarlas, se procedió a comparar un conjunto de imágenes del mismo formato hasta encontrar un patrón en hexadecimal, y probar si sólo distorsionaba la imagen o se dañaba, hasta saber como hacerlo, al encontrarla se procedió a diseñar un algoritmo, así se realizó para los distintos formatos. Sólo las imágenes de formato JPG, y algunas de las

que permiten esta técnica de *overburning* (ver el Apéndice C: Lista de quemadoras con capacidad de *overburning*).

Luego se investigaron los algoritmos para la generación de seriales seguros con dígito de verificación, para lo cual se diseñó un algoritmo propio, que mostrara la posible utilización de este tipo de mecanismos en la seguridad de *software*.

Y por último se realizó el diseño de aquellos programas necesarios para poder unir el *software* ya desarrollado que se deseaba proteger con el mecanismo de seguridad, para lo cual se diseñó un algoritmo que bloqueara las teclas de salida de Windows como Ctr+Alt+Supr y Alt+Tab, además de otro programa que realizar una presentación al programa mientras se descifran los archivos protegidos.

Para proteger el *software* multimedia se seleccionaron siete mecanismos distintos de seguridad, que se muestran en la tabla #7 (Mecanismos de seguridad utilizados.)

Mecanismo de seguridad	Finalidad	Funcionamiento
Cifrado imágenes JPG.	Impedir el copiado de las imágenes JPG sin la utilización del software multimedia protegido.	Modifica el archivo de la imagen JPG en hexadecimal, alterando las propiedades de tamaño, colores y calidad de la imagen, logrando distorsionarla.
Cifrado imágenes TIF.	Impedir el copiado de las imágenes TIF sin la utilización del software multimedia protegido.	Modifica el archivo de la imagen TIF en hexadecimal, alterando las propiedades de tamaño, colores y calidad de la imagen, logrando distorsionarla.
Cifrado de archivos genérico.	Impedir la utilización y la copia de aquellos archivos que no cumplen con el formato de las imágenes JPG o TIF, sin la utilización del software multimedia protegido.	Cifra secciones del archivo a proteger, modificando cada tanto bits del archivo mediante operaciones aritméticas utilizando una clave de cifrado.
Archivos de gran tamaño	Impide la copia del CD protegido al disco duro o a otro disco compacto.	Para este mecanismo se realiza una imagen del CD en formato ISO 9660 Joliet y posteriormente se edita en hexadecimal, buscando los nombres de los archivos a proteger y alterando el tamaño de los mismos, para que ocupen 3,99Gb.
Oversize u Overburning.	Impide la copia del CD protegido a otro disco compacto.	Se quema un poco más de la información que indican la capacidad de los CD's, es decir más de 74min o de 80min, dependiendo del tamaño del CD utilizado, esto solo lo permite una cantidad determinada de quemadoras de CD y algunos software de grabación.
CD con multisesión.	Impide la copia de la información almacenada en el CD, específicamente la segunda multisesión, al disco duro o a otro disco compacto.	Se quema una parte del CD indicando que es multisesión y posteriormente se quema el resto del CD señalando que sé esta continuando. Todo esto se debe realizar en mode11 para permitir agregar la seguridad de archivos de gran tamaño en la segunda multisesión de CD.
Seriales seguros en el momento de instalación.	Protege el instalador del programa multimedia, verificando que la persona que intenta instalar el software multimedia es el propietario del software.	Los seriales generados poseen un dígito de validación que indica si el serial es válido o no.

Tabla 6. Mecanismos de seguridad utilizados

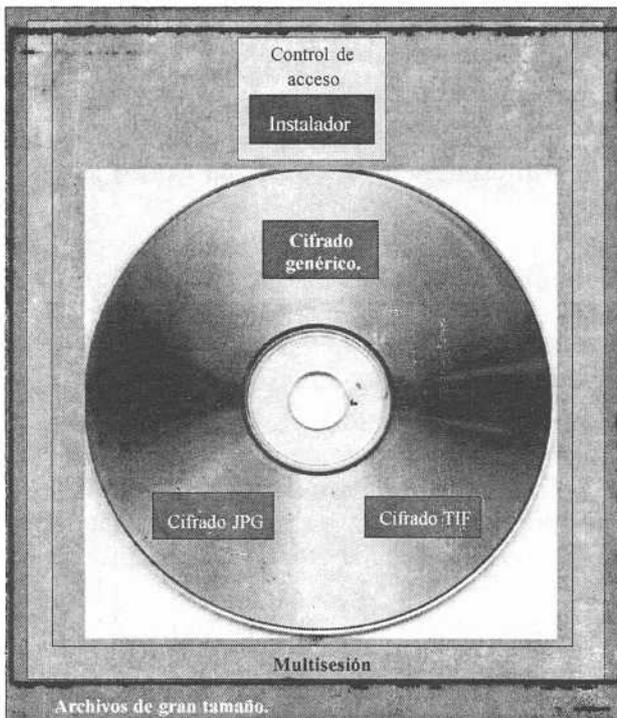


Fig. 4. Esquema del prototipo del mecanismo de seguridad para software multimedia

Quedando el *software* multimedia que se deseaba proteger de la siguiente manera, como lo indica la figura #4 (Esquema del prototipo del mecanismo de seguridad para *software*.)

Para los distintos algoritmos de cifrado codificados se seleccionaron los siguientes lenguajes de programación, como se puede apreciar en la siguiente tabla. (ver tabla #8, Selección del lenguaje de programación para el mecanismo de seguridad.)

Al finalizar de realizar las pruebas individuales se procedió a la unión de las piezas donde se seleccionó que archivos debían ser protegidos, debido al gran tiempo que genera el cifrado de los distintos archivos (ver tabla #9: Tiempo estimado de uso de CPU por algoritmos de cifrado), por lo cual se realizaron ajustes a los algoritmos de cifrado general que se le aplicaba a un grupo de archivos *tif* que no cumplen con el formato del algoritmo de cifrado específico, se modificó el algoritmo de cifrado general para proteger sólo el inicio de los mismos y se unificó en el mismo algoritmo de cifrado de imágenes *tif*, reduciendo el tiempo de cifrado de 151 segundos a 2 segundos aproximado.

Mecanismo	Lenguaje	Observaciones
Cifrado imágenes jpg.	Lenguaje C	Seleccionado por su rapidez y compatibilidad.
Cifrado imágenes tif.	Lenguaje C	Seleccionado por su rapidez y compatibilidad, el algoritmo sólo se puede usar con archivos tif específicos.
Cifrado de archivos genérico.	Lenguaje C	Seleccionado por su rapidez y compatibilidad, utilizado para archivos tif que no cumplen el formato.
Seriales seguros en el momento de instalación.	Lenguaje C	Seleccionado por su rapidez y compatibilidad
Presentación de software y bloqueo de tecla de salida.	Director 6	Seleccionado por ser el mismo lenguaje del software a proteger
Bloqueo de teclas de escape de Windows (Ctrl+Alt+Supr, Alt+Tab)	Visual Basic 6	Seleccionado por las librerías del lenguaje que permiten bloquear con facilidad estas teclas de escape.

Tabla 8. Selección del lenguaje de programación para el mecanismo de seguridad

Mecanismo	Número de archivos cifrados	Tiempo de cifrado
Cifrado imágenes jpg.	2157	93 seg.
Cifrado imágenes tif.	259	2 seg.
Cifrado de archivos genérico.	3	1 seg.
Total	2419	96 seg.

Tabla 9.
Tiempo estimado de uso de CPU por algoritmo decifrado

Al finalizar las pruebas individuales y la unión de las mismas, se le integró al *software* seleccionado el mecanismo, en donde se presentó el problema de que no se tenía acceso al código del programa que se estaba protegiendo, por lo que los procesos de descifrado y cifrado de los distintos archivos se realizan todos al inicio y al final del programa respectivamente, con lo que se le agrega un tiempo estimado de dos minutos al inicio y al final del programa, caso que no ocurriría si se realizara por bloques de tema, en donde se descifrarían y cifrarían sólo los archivos necesario para ese tema, haciendo casi insignificativo este tiempo.

Al concluir la codificación de cada uno de los mecanismos o etapas se realizaron un conjunto de pruebas basados en el modelo de evaluación que se presenta a continuación.

4. Modelo de evaluación

Al terminar el desarrollo de los distintos mecanismos o piezas a utilizar se procedió a realizar la evaluación del mecanismo de seguridad para software, con la información recolectada durante la fase de investigación documental sobre los modelos de evaluación de mecanismos de seguridad, se estableció un

modelo para evaluar mecanismo de seguridad, este modelo está basado principalmente en la calidad del desarrollo y en modelos de evaluación utilizados por algunas compañías como la NSTL en su NSTL Report (1999).

La seguridad debe ir a la par del desarrollo del *software* (ver figura #5: ¿Dónde comienza la seguridad del *software*?), donde se puede apreciar que la evaluación del mecanismo debe estar integrada en el ciclo de desarrollo del proyecto, debido a que el software y la seguridad deben ir todo el tiempo de la mano para garantizar un *software* seguro, ya que el mecanismo de seguridad así es madurado igual que el *software*, como es expuesto por Ortiz (2001). Para esto existen las normas ISO 9000, que es una Familia de Normas Internacionales sobre las buenas prácticas de Gestión y Aseguramiento de la Calidad.

Además un mecanismo de seguridad debe cumplir con una serie de características que permitan

compararlo con otro del mismo tipo, algunas de estas características son según NSTL Report (1999).

■ Seguridad: se mide la efectividad de la seguridad del mecanismo bajo prueba en cuanto a frustración de piratería de *software*.

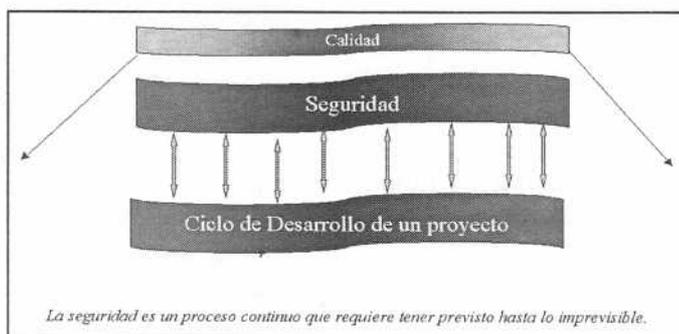


Fig. 5. ¿Dónde comienza la seguridad del *software*?, extraído de Ortiz (2001)

- **Facilidad de uso:** compara la facilidad de instalación, configuración, y uso.
- **Compatibilidad:** se evalúa la compatibilidad del mecanismo de seguridad con el sistema operativo o cualquier dispositivo que utiliza.
- **Versatilidad:** evalúa la flexibilidad y habilidad de soportar distintos ambientes, plataformas, redes e incluso clientes.

Al finalizar la integración de las distintas etapas del prototipo del mecanismo de seguridad para *software*, se le aplicó el mecanismo de evaluación presentado anteriormente, obteniendo como resultado lo siguiente.

- La seguridad, fue evaluada mediante el modelo de clasificación de seguridad del G.I.I.S, donde un mecanismo es ubicado de acuerdo a las dimensiones, tiempo de protección, lugar de protección y medio de almacenamiento, siendo un mecanismo más seguro al cubrir más dimensiones de este modelo, por lo que sólo faltaría la evaluación mediante un conjunto de expertos en el área de violación de *software*, para medir el tiempo de duración del mecanismos de seguridad, pero no fueron realizadas por la dificultad de encontrar verdaderos expertos que estuvieran dispuesto a realizar estas pruebas.

- La facilidad de uso, se mide en que el mecanismo de seguridad para el cliente o el usuario del *software* es casi transparente, sólo se presenta el problema de que hay un tiempo de inicio de la aplicación de aproximadamente dos minutos y medios, pero esto debido a que es un prototipo y no se tenía acceso al código del *software* que se protegió. Este tiempo de inicio y cierre del programa es causado por el descifrado y cifrado de los archivos protegidos, para lo cual se realizaron pruebas de tiempo de uso del CPU para cada algoritmo de descifrado y cifrado, buscando obtener el menor tiempo, hasta que se logró obtener los resultados mostrados en la tabla #9 (Tiempo estimado de uso de CPU por algoritmos de cifrado)

- La compatibilidad, del mecanismo de seguridad se basó en utilizar sólo herramientas de desarrollo que fueran de estándar abierto, para de esta forma obtener las mismas ventajas de compatibilidad de las herramientas de desarrollo utilizadas durante el desarrollo, con lo cual el *software* protegido no es limitado por el mecanismo.

- Y la versatilidad se obtiene también de utilizar herramientas de desarrollo con estándares abiertos, con lo cual no se limita la plataforma, debido a que

como esta desarrollado con el lenguaje C, sólo sería necesario re-compilarlo en la otra plataforma que se desea utilizar.

CONCLUSIONES

Las principales conclusiones alcanzadas durante el proceso de desarrollo del presente proyecto, en las fases de investigación documental, desarrollo del prototipo del mecanismo antipiratería y la fase de documentación y exposición.

Estas conclusiones son presentadas a continuación:

- En el área de la seguridad de datos existe una gran variedad de información, debido a que basan su seguridad en las claves y no en los algoritmos, por lo que no existe ningún problema en hacer públicos estos algoritmos, mientras que cuando nos adentramos en el mundo de la seguridad de *software*, la búsqueda de información y de material bibliográfico se convierte en dificultosa, debido a que la mayoría de los mecanismos de seguridad destinado a proteger *software* se basan en lo secreto de sus algoritmos o de su forma de aplicación y no en las claves, debido a que las claves son entregadas a los usuarios y ellos no tienen interés en mantener en secreto la clave.

- Muchos de los mecanismos de seguridad se han basado en características especiales del *hardware* de grabación de CD, o en el desarrollo de *software* para la grabación de CD especiales, que permiten explotar características específicas de los mismos, y que los *software* de grabación comunes no son capaces de hacer. Por esto existe una gran variedad de mecanismos de seguridad que aprovechan las características de *hardware* o *software*, y que hacen necesario que para violarlos se requiera de un *hardware* o *software* que cumplan con esas características, dificultando esta tarea.

- Aunque se piense que la piratería de *software* solo afecta a los desarrolladores, al parecer no es así, sino que además afecta a los compradores y a los creadores. Debido a que para aumentar la seguridad de los productos se ha tenido que invertir en seguridad lo que aumenta el costo del *software*, y además las empresas desarrolladoras de *software* le colocan un precio a sus productos que le asegure la recuperación de su inversión y en este cálculo ya se toma en cuenta que a partir de un número de copias vendidas comienzan a percibir una disminución en las ventas debido a la piratería. Por último el más perjudicado de todos es el creador del producto, este caso se

aprecia más en la piratería de música, en donde las disqueras le ofrecen al artista que las primeras ventas son de la compañía para recuperar el costo y desde un determinado número de copias vendidas en adelantes es del artista, por lo que con la piratería el que más pierde es el artista ya que por lo general no se logra vender lo suficiente como para percibir un buen ingreso.

- Un gran número de organizaciones han hecho grandes esfuerzo en la lucha contra la piratería pero muy a pesar de esto no se ha logrado realizar una disminución en las perdidas por esta índole, esto debido principalmente a que los *crackers* toman como un reto cualquier nuevo mecanismos de seguridad, por lo que algunas de las compañías han decidido no utilizar mecanismos de seguridad, pero otras han entendido la seguridad del *software* como un mecanismo de persuasión que les permite retrasar las copias ilegales de su *software* en el mercado, por lo que logran obtener mejores ingresos.

- Hay que tener siempre en cuenta que un mecanismo de seguridad es bueno si el costo para violarlo supera las ganancias que se pueden obtener al utilizarlo, debido a que a nadie le interesaría violar un producto si este no le puede hacer recuperar su inversión y brindarle un poco de ganancia.

- No existe información digital segura, ni existirá, debido a que toda información digital es accesible de una u otra forma. La seguridad de la información digital es tan segura como el medio donde se encuentre. Cuando se desarrollen plataformas y sistemas operativos seguros, que permitan brindarle a la información digital un ambiente seguro, este será más seguro.

- La seguridad de *software* está basada principalmente en su manera de implantación y en sus algoritmos; todo mecanismo de seguridad para *software* entre más desconocido sea su funcionamiento y su algoritmo son más seguro.

- El desarrollo o implementación de un mecanismo de seguridad debe ser a la par del desarrollo del *software*, para lograr una perfecta unión entre los mismos y para que ambos maduren a la vez, pasando por las mismas fases de desarrollo y bajo un mismo esquema de calidad, que garantice su buen desarrollo.

- La selección de un mecanismo de seguridad no es sencillo, por lo que es necesario la utilización de un sistema de apoyo o arquitectura que ayude en su diseño.

- En la seguridad de *software* multimedia, los algoritmos de seguridad específicos pueden brindar un nivel de seguridad superior a los mecanismos de seguridad general, debido a que requieren de un mayor conocimiento en el tipo de formato protegido, y no solo conocimientos de cifrado y encriptamiento.

RECOMENDACIONES

Las principales recomendaciones del presente proyecto son:

- Profundizar la investigación de mecanismos de seguridad basado en *hardware*, o en las características de los medios de almacenamiento, en búsqueda de un nuevo mecanismo de seguridad basado en esto, para lo cual se requiere de equipo más especializados como estampadoras de CD que permitan realizar marcas digitales, u otro equipo especializado.

- Se recomienda profundizar el levantamiento de información, realizando un trabajo más integrado con las compañías desarrolladoras de *software* y desarrolladoras de mecanismos de seguridad, tanto a nivel nacional como a nivel internacional, además de aquellas empresas especializadas en la evaluación de este tipo de mecanismos.

- Realizar un estudio de evaluación de la seguridad de los mecanismos presentado en este proyecto, con pruebas de tiempo de violación, realizada por expertos en romper los mecanismos de seguridad para *software* y realizar estudios de mercado para evaluar el tiempo de duración de la seguridad prestada por el mecanismo, en un conjunto de personas representativas de la población que utilizaría el *software*.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aladdin Knowledge Systems Inc. (2001), Productos de seguridad de software.

Consultado Febrero de 2001, de la World Wide Web: <http://www.hardlock.com.ar/productos/index.html>

Anónimo (1999). Comparative Analysis of Security Dongles NSTL Concise Report.

NSTL Report. Consultado el 18 de Febrero de 2001, de la World Wide Web: http://www.hardlock.co.kr/news/nstl_report_99_HL.pdf

- Barrera, M. H. Los Derechos Intelectuales y el CD-Rom. Consultado Febrero de 2001, de la World Wide: <http://www2.lahora.com.ec/paginas/rjudi54.htm>
- BSA (2001). Informe Global sobre Piratería de Software. Consultado el 20 de Julio de 2001, de la World Wide: <http://www.bsa.org/resources/2001-05-22.56.pdf>
- De la Torre, E. & Navarro de Anda, R. (1991). Metodología de la Investigación. Bibliográfica, archivista y documental. México: McGraw-Hill.
- GameCopyWorld, **Copias de Seguridad. Consultado el 12 de Mayo de 2001**, de la World Wide Web: <http://www.vermail.net/defkon/protecciones.html>
- Garrido, M. (2000), Watermark, Marcas Transparentes?. Consultado el 21 de Abril de 2001, de la World Wide Web: <http://club.idecnet.com/~modegar/audio/watermark.html>
- Gawain (2001), Protección de CDs. Consultado el 26 de Marzo de 2001, de la World Wide Web: <http://castellano.hypermart.net/indprot.htm>
- G.I.I.S (2001). MISS: Modelo Inteligente de Seguridad de Software. Caracas, Venezuela: ASOVAC, Convención anual 2000.
- Hispamp3 (2000), **Sistemas anticopia en las memorias. Consultado Febrero de 2001**, de la World Wide Web: http://www.hispamp3.com/noticias/0012/001229_6.shtml
- Instituto Tecnológico de la Paz, Consultado Agosto de 2001, de la World Wide: http://www.itlp.edu.mx/publica/tutoriales/produccion1/tema2_1.htm
- Maikel (2000). El Disco Compacto o «Compact Disc». Consultado el 21 de Abril de 2001, de la World Wide Web: <http://www.fortunecity.es/virtual/hardware/386/cd/EIDiscoCompacto.html>
- Matout, S. & Moronta, A. (1997). EDTEC: Modelo para el aprendizaje interactivo y cooperativo de herramientas de análisis y diseño de sistemas. Venezuela, Universidad Metropolitana.
- McConnell, S. (1998). Desarrollo y gestión de proyectos informáticos. España: McGraw-Hill.
- Oppliger, R. (1998), Sistemas de Autenticación para Seguridad en Redes. Madrid, España: RA-MA Editorial
- Ortiz, L. (2001). Seguridad de sistemas informáticos. Consideraciones a tomar para implementar seguridad en un desarrollo de software. Material no publicado. Caracas, Venezuela: UCAB.
- Pagua, G. (1996). **Hacker Underground**. Consultado el 01 de Agosto de 2001, de la World Wide Web: <http://www.lared.com.ve/archivo/hacker5.html>
- Piattini, M.G., Calvo-Manzano, J.A., Cervera J. & Fernández L. (2000). Análisis y diseño detallado de Aplicaciones Informáticas de Gestión. España, Madrid: RA-MA Editorial.
- Pobladores (2000). CD's con multisesión. Consultado el 18 de Febrero de 2001, de la World Wide Web: <http://www.pobladores.com/territorios/informatica/copiarCDs/pagina/1>
- StegoArchive.com (2000). What is Steganography?. Consultado el 21 de Abril de 2001, de la World Wide Web: <http://www.cl.cam.ac.uk/~fapp2/steganography/index.html>



CONSTRUCCIÓN DE UNA APLICACIÓN QUE INTERACTÚE CON UN ROBOT A TRAVÉS DE LA TECNOLOGÍA JINI

■ Daniel Vera

Este proyecto consiste en realizar un trabajo de investigación acerca de cómo puede la tecnología JINI controlar remotamente un dispositivo de *Hardware* a través de una red local. Esta investigación se limita en trabajar únicamente con un robot que represente a estos dispositivos.

Dado esto, el objetivo principal es construir una aplicación que permita interactuar con un robot a partir de la tecnología JINI. Pero no con cualquier robot, específicamente se utiliza el sistema de invención de robot de *Legó Mindstorm* que posee como componente principal el RCX. Este dispositivo tiene una pequeña unidad de procesamiento con memoria, Sistema Operativo, así como sensores y motores que permiten construir robots que se desenvuelvan en un ambiente específico.

JINI es una tecnología de red creada por los mismos autores del lenguaje de programación Java que permite flexibilizar las labores de uso y administración de las redes. Esta tecnología sigue un modelo cliente/servidor. El servidor publica los servicios y luego los clientes obtienen estos servicios para su debida utilización. Esto se hace gracias al llamado servidor de búsqueda, que funciona como un ente centralizado que permite publicar estos servicios y hacerlos disponibles en la red según un modelo de arrendamiento (cuanto tiempo va a estar disponible este servicio para su utilización).

JINI se basa principalmente en tres protocolos llamados: *Discovery*, *Join* y *Lookup*. El primero se encarga de descubrir cualquier servidor de búsqueda

que hay en la red, el segundo permite publicar un servicio en este servidor y *Lookups* es utilizado por los clientes para obtener el servicio.

JINI está ubicado encima de cualquier protocolo de comunicación tal es el caso de RMI (Remote Method Invocation), *Sockets*, entre otros.

Luego de un análisis detallado de las herramientas necesarias, se realiza un experimento que incluye un robot capaz de explorar un terreno específico en búsqueda de obstáculos. Este robot es teledirigido por una aplicación que a la vez es controlada por un operador ubicado en la red. Este operador aparte de manipular el robot puede visualizar la composición del terreno lo que le permite ver si hay o no obstáculos en la superficie y conocer dónde están ubicados estos. También existen cierto número de usuarios en espera del recurso que pueden visualizar la exploración hecha por el operador del robot, así como recibir el control del dispositivo una vez que este es liberado.

I. Motivación

Actualmente se han desarrollado un gran número de experimentos que incluyen inteligencia artificial o robótica con el fin de crear seres independientes que puedan tomar sus propias decisiones o realicen labores específicas que permitan al hombre satisfacer sus necesidades de una manera más fácil.

Aunque esto es de gran importancia, la independencia de estos robots es relativa. Esto puede deberse a limitaciones de la tecnología actual o un deficiente desarrollo en el área de inteligencia artificial. Por lo tanto hoy en día estos dispositivos necesitan de alguna manera la intervención humana para controlarlos.

Por esta razón, una política es manipular estos dispositivos con un computador que sirva como interfaz entre el operador y el robot, estableciendo un canal de comunicación entre ambos elementos.

Pero, ¿qué sucedería si este dispositivo debe ser controlado o visualizado por varias personas en diferentes lugares?

Desde años atrás, la tecnología posee mecanismos que permiten la comunicación de varios computadores a través de las redes, pero ¿podrían estos dispositivos adaptarse a la comunicación proveniente de estas redes? Si esta solución fuera posible, ¿existe alguna manera eficiente de utilizar estas redes para que el mantenimiento de la comunicación sea más fácil de realizar independientemente de la plataforma en la cual trabaje cada computador?

Tomando como premisa principal de este trabajo de investigación la utilización de la reciente tecnología JINI, ¿qué ventajas puede ofrecer ésta en la manipulación de los dispositivos a través de la red?

II. Objetivos del proyecto

1. Investigar y estudiar la tecnología JINI.
2. Investigar y estudiar el lenguaje de programación Java, especialmente el uso de RMI (Invocación de Métodos Remotos).
3. Investigar y estudiar los dispositivos compatibles con *Lego Mindstorm*.
4. Diseñar un componente JINI, que permita interactuar con un robot.
5. Realizar varios experimentos de navegación robótica que permitan establecer una comunicación entre la tecnología JINI y el dispositivo, en particular, una aplicación capaz de controlar y recibir información a partir de un robot que explore una superficie limitada y permita identificar la posición exacta de cuerpos u obstáculos dentro del área.
6. Diseñar y construir un robot que permita cumplir con los objetivos anteriores.

III. Marco Referencial

A continuación se presentan una serie de conceptos relacionados con todos los componentes utilizados en el ciclo de vida del proyecto. Entre los elementos que se engloban a lo largo de este capítulo se encuentran:

- Una breve explicación sobre RMI.
- Filosofía y características de la tecnología JINI.
- Lego Mindstorm.

RMI (Invocación de Métodos Remotos)

En esta sección se estudian varios puntos acerca de RMI por ser este el mecanismo de comunicación principal utilizado por la tecnología JINI. Por lo tanto también es empleado en el proyecto para invocar métodos que permitan manipular el robot remotamente.

La idea básica de RMI es que objetos ejecutándose en una JVM (Máquina Virtual de Java) sean capaces de invocar métodos de objetos presentes en JVMs diferentes, haciendo notar que las JVMs pueden estar en la misma máquina o en máquinas distintas conectadas por una red. (Ver figura 1).

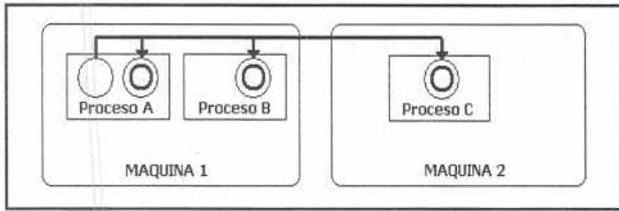


Figura 1: Invocación a métodos remotos en máquinas virtuales diferentes

En la figura 1 se muestra cómo el proceso "A" ubicado en la máquina 1 invoca un método implementado en el proceso C de la máquina 2.

Específicamente, en RMI la definición de un servicio remoto se codifica usando una interfaz Java. La implementación del servicio remoto se codifica en una clase. Por lo tanto, la clave para comprender RMI es según Carlos Beltrán (1998-1999) que "las interfaces definen el comportamiento y las clases definen la implementación". La Figura 2 ilustra esta separación.

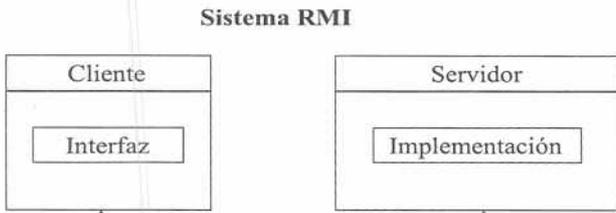


Figura 2: Separación de la interfaz de una clase y su implementación en RMI

Sin embargo, hay que recordar que una interfaz Java no contiene código ejecutable. RMI soporta dos clases que implementan la misma interfaz. La primera clase es la implementación del comportamiento, ella es ejecutada en el servidor. La segunda clase actúa como un representante local del servicio remoto y es ejecutada en el cliente. La figura 3 muestra un diagrama que ilustra esta condición.

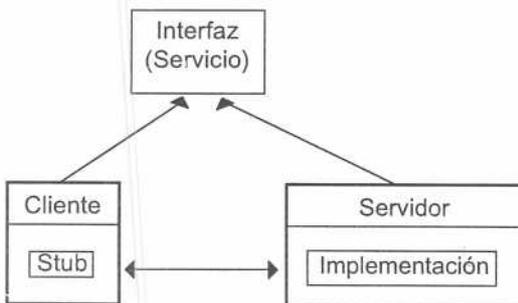


Figura 3: Servicios de una interfaz en RMI

Un programa cliente hace llamadas a métodos en el objeto representante, RMI envía la petición a la máquina virtual remota, y la remite a la implementación. Cualquier valor de retorno suministrado por la implementación es enviado de regreso al objeto representante y de ahí al programa del cliente.

La arquitectura de RMI consta de tres capas: la capa *Stub*, la capa de referencia remota y la capa de transporte.

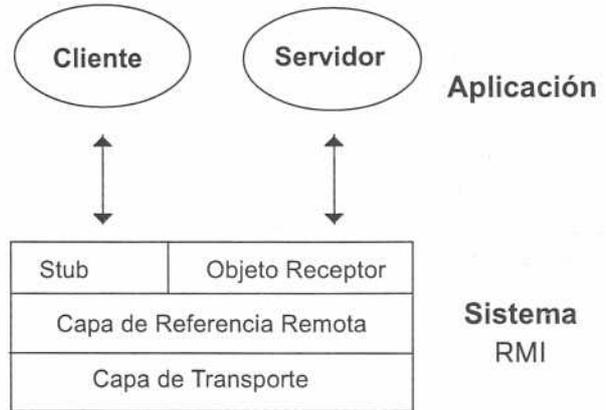


Figura 4: Arquitectura RMI

En la figura 4 se puede observar que el *Stub* se encuentra en el cliente y el objeto receptor en servidor, seguido de la capa de referencia remota y la capa de transporte.

El punto de contacto de la aplicación cliente con el objeto remoto se hace por medio de un *stub* local. Este *stub* implementa la interfaz del objeto remoto y gestiona toda la comunicación con el servidor a través de la capa de referencia remota. A todos los efectos, el *stub* es la representación local del objeto remoto. Entre sus responsabilidades destacan: inicializar las llamadas a los objetos remotos, serializar los argumentos para enviarlos por la red y deserializar los argumentos devueltos en las llamadas.

En la parte del servidor, existe un objeto receptor equivalente al *stub* en el cliente. Este se encarga de traducir las invocaciones provenientes de la capa de referencia remota, así como de gestionar las respuestas. Entre sus actividades se destacan: deserializar los argumentos, hacer las llamadas a los métodos de la implantación del objeto remoto y serializar los valores de retorno.

La capa de referencia remota está formada por dos entidades distintas, el cliente y el servidor, que se comunican a través de la capa de transporte. Es

responsable de implementar la política de comunicación, que puede ser de distintos tipos: invocación *unicast* punto-punto, estrategias de reconexión.

La capa de transporte es responsable del establecimiento y mantenimiento de la conexión, proporcionando un canal de comunicación fiable entre las capas de referencia remota del cliente y del servidor. Sus principales responsabilidades son: establecimiento y mantenimiento de la conexión, atender a llamadas entrantes, establecer la comunicación para las llamadas entrantes.

Como se puede observar en la figura 5 el cliente invoca el método a partir del objeto *stub* ubicado en la JVM local, este objeto se encarga de serializar los parámetros para luego enviarlos al objeto receptor que se encarga de invocar el método localmente. Una vez obtenido el resultado o la excepción correspondiente, el objeto receptor envía este valor al *stub* que se encarga de deserializar el resultado para luego retornarlo.

Tecnología JINI

Como se mencionó anteriormente el experimento se basa en un robot manipulado remotamente a partir de la tecnología JINI. También se describió brevemente a RMI porque puede ser utilizada por JINI para movilizar objetos de una JVM a otra. A continuación se muestra una breve explicación acerca de los puntos más importantes sobre la tecnología JINI que luego serán utilizados a lo largo de este trabajo de investigación.

“La tecnología de conectividad JINI™ está basada en un concepto sencillo: los dispositivos deben trabajar en conjunto. Deben interconectarse sin problema. Sin *drivers*, ni problemas con sistemas operativos, ni cables o conectores extraños” *Sun Microsystems* (2000):

- Operación inmediata: cuando se conecta un dispositivo con tecnología JINI a la red, sencillamente funciona. Los servicios y recursos están disponibles de inmediato.

- Comunidades improvisadas: el *software* permite que todos los dispositivos trabajen en conjunto, de forma que se pueda crear una red propia o comunidad, a cualquier hora y en cualquier lugar. Se puede interconectar los aparatos eléctricos para controlarlos desde un punto centralizado por varios usuarios.

- Flexible: las comunidades que utilizan la tecnología JINI se adaptan muy rápidamente a los cambios. Aunque los usuarios van y vienen, la comunidad continúa existiendo. Esta siempre está disponible, haciendo posible que los sistemas sean más tolerantes y redundantes.

- Entrega especial: los servicios con tecnología JINI están disponibles en todo momento, cuando se requieran.

Como se puede observar en la figura 6, un sistema JINI es un sistema distribuido o federación basado en la idea de implementar grupos de usuarios y los recursos requeridos por esos usuarios. La meta global es la de convertir la red en una flexible y fácil herramienta de administración en la cual los recursos pueden ser encontrados por clientes humanos y procesos. Los recursos pueden ser dispositivos de *hardware*, programas de *software*, o una combinación de ambos. El foco del sistema es hacer de la red una entidad más dinámica que permita flexibilizar la capacidad de agregar y eliminar servicios.

Entre los elementos que conforman la tecnología JINI se encuentran:

Servicios: el concepto más importante dentro de la arquitectura JINI es el de servicio. *Sun Microsystems* (2000) define un servicio como una entidad que puede ser usada por una persona, un programa, u otro

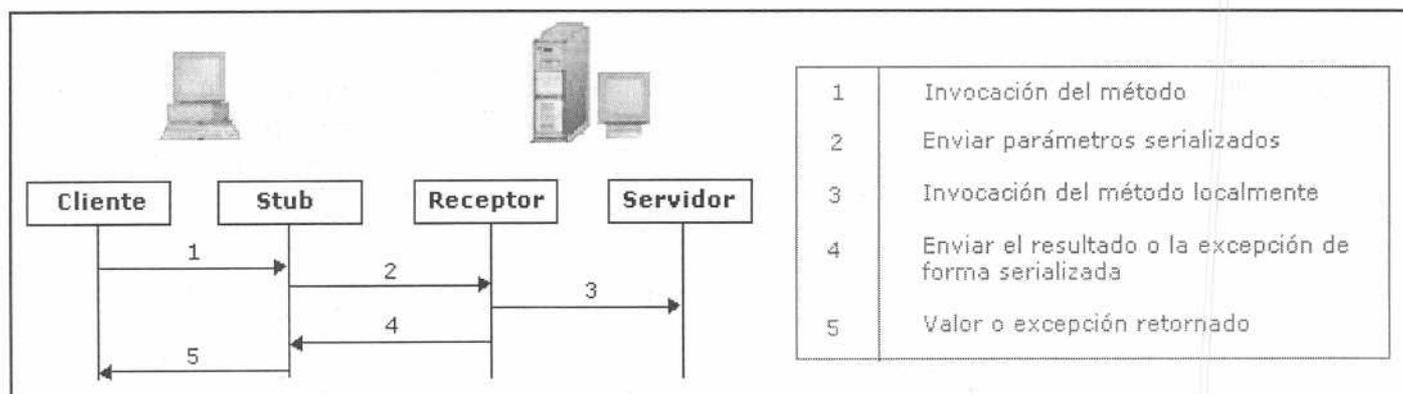


Figura 5: Proceso de invocación de métodos en RMI

servicio. Este puede ser un canal de cómputo, almacenamiento o comunicación con un usuario, un filtro de *Software*, un dispositivo, u otro usuario. Dos ejemplos de servicios son la impresión de un documento y el traslado de un formato de procesador de palabras a otro.

Servicio de búsqueda: los servicios son encontrados a partir de un servicio de búsqueda. *Sun Microsystems* (2000) define que éste es el mecanismo central de rastreo del sistema y provee el mayor punto de contacto entre el usuario y el sistema. En pocas palabras un servicio de búsqueda expone ciertas interfaces indicando así la funcionalidad que este servicio provee a un conjunto de objetos que implementen el servicio.

Modelo de arrendamiento: al acceder a muchos de los servicios en el ambiente del sistema JINI, éste se transforma en un modelo de arrendamiento. Según *Sun Microsystems* (2000), esto permite conceder una garantía de acceso a través de un período de tiempo. Cada arrendamiento es negociado entre el usuario y el proveedor del servicio como parte del servicio de protocolo: un servicio es pedido por algún período; el acceso es concedido por algún período. Si un arrendamiento no es renovado antes que sea liberado (tal vez porque el cliente o la red falla o también porque recurso no es muy solicitado) entonces el usuario y el proveedor del recurso pueden concluir que el recurso puede ser liberado.

Eventos: la arquitectura JINI soporta eventos distribuidos. Un objeto puede permitirle a otro registrar eventos interesantes de entrada y recibir una notificación de la ocurrencia de un evento. Esto permite escribir programas distribuidos basados en eventos que ocurran en JVMs diferentes.

Protocolos: según *Sun Microsystems* (2000), El corazón de un sistema JINI radica en este trío de protocolos llamados *Discovery*, *Join* y *Lookup*. Un par



Figura 6: Filosofía de la Tecnología JINI

de esos protocolos (*Discovery* y *Join*) se activan cuando un dispositivo es instalado. El primero se activa cuando un servicio busca un servidor de búsqueda con el cual registrarse. El protocolo *Join* se activa cuando un servicio es localizado por un servidor de búsqueda y desea unirse al conjunto de servicios. *Lookup* ocurre cuando un cliente o usuario necesita localizar e invocar un servicio descrito por el tipo de interfaz (escrito en Java) y posiblemente otros atributos. La figura 7 ilustra el proceso *Discovery*, la figura 8 muestra el proceso de *Join* y la figura 9 muestra el proceso *Lookup*.

Los protocolos *Discovery/Join* son el proceso de agregar un servicio a un sistema JINI. Un proveedor de servicio es el que lo origina (un dispositivo o *software*, por ejemplo). Principalmente, el proveedor de servicio localiza un servidor de búsqueda a partir de una solicitud *multicast* en la red local para cualquier servidor de búsqueda que lo identifique (Ver figura 7).



Figura 7: Discovery

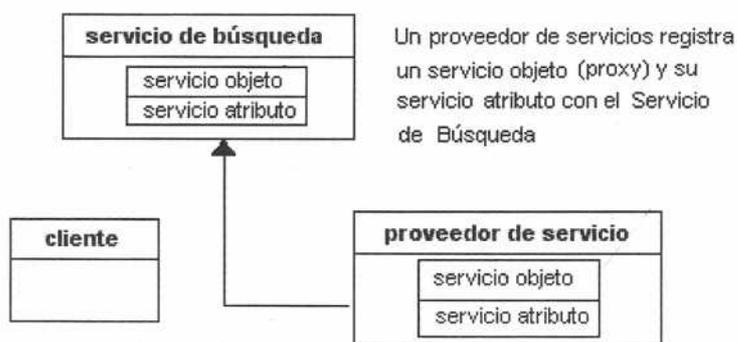


Figura 8: Join

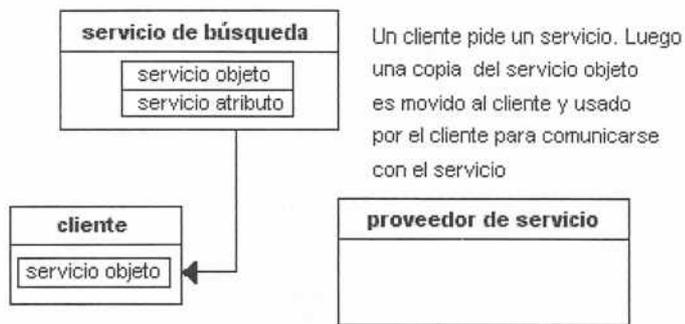


Figura 9: Lookup

Luego, un servicio objeto es cargado por el servidor de búsqueda (ver figura 8). Este servicio objeto contiene una interfaz escrita en Java, incluyendo los métodos que el usuario y las aplicaciones invocarán para ejecutar el servicio.

Sun Microsystems (2000) indica que los servicios deben ser capaces de encontrar el servidor de búsqueda; sin embargo, un servicio puede delegar la tarea de encontrar un servicio de búsqueda a otro servicio. El recurso está ahora listo para ser encontrado y usado, así como se muestra en la figura 10.

Lego Mindstorm

Una vez conocido todos los mecanismos de red que son utilizados en el experimento es necesario conocer brevemente qué es *Lego Mindstormy* cuales son sus componentes principales.

Lego Mindstorm, también denominado Sistema de Invención de Robots, es un producto desarrollado por la compañía Lego en 1998. Este permite diseñar y programar robots reales, los cuales actúan de una manera específica.

El componente principal es el RCX, el cual es el cerebro del sistema (mostrado en la figura 11). Este puede programarse a partir de un computador, el cual se encarga de transmitir los programas al RCX a partir de una comunicación inalámbrica por medio de señales infrarrojo. Según Dave Baum (2000) el RCX se puede dividir en varias capas: la capa de *hardware*, la capa del sistema ROM y el *firmware*.

La capa de *hardware* es la capa inferior del dispositivo. Está compuesta por los siguientes mecanismos: un microcontrol o CPU, una pantalla o LCD, memoria.

En adición al CPU y varios periféricos, el microcontrol también contiene un ROM (memoria sólo para lectura), el cual viene programado con un lenguaje de bajo nivel. Este provee una interfaz con el *hardware* permitiendo mayor facilidad de manipulación con respecto al programador. La

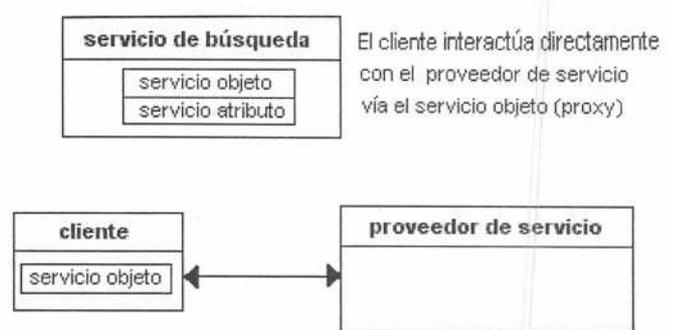


Figura 10: El cliente usa el servicio

característica más importante del sistema ROM es que permite manipular una pieza de software denominada Firmware que no es más que el sistema operativo del RCX. Este es transmitido al RCX vía infrarrojo y almacenado en la memoria.

Existen actualmente infinidad de Sistemas Operativos entre algunos de ellos están el firmware estándar de Lego, LegOS, pbForth, entre otros. Actualmente existen varios firmware en el mercado. Entre ellos los mas importantes son: Firmware estándar, LegOS, PbForth entre otros. En este trabajo de investigación fue escogido el firmware estándar por su razones explicadas en secciones posteriores.

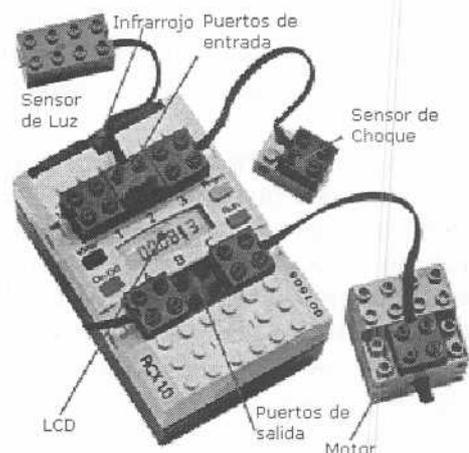


Figura 11: Componentes del RCX

Firmware Estándar. Este es usado cuando se escriben programas usando cualquiera de los ambientes compatibles con Lego (código RCX, NQC, Robolab o Spirit.ocx) En la figura 12 se muestra como el código RCX y los programas NQC son ejecutados dentro del RCX.

Según Baum (2000), existen herramientas especiales llamadas compiladores (en el caso de NQC) los cuales están ubicados en el computador que está conectado al RCX. Estos compiladores se encargan de traducir el lenguaje usuario a unos códigos especiales entendidos por el RCX.

Una vez obtenidos estos códigos son transmitidos al RCX vía luz infrarrojo y almacenados como programas de usuario. "El CPU del RCX no puede ejecutar estos códigos directamente, por esto el *firmware* estándar de Lego se encarga de interpretar estos códigos" Dave Baum (2000).

Existen diferentes tipos de programación para cada tipo de *firmware*. El *firmware* estándar ofrece una capacidad de memoria aproximadamente de 6KB para almacenar un programa de usuario así como varias formas de programar en este sistema operativo. Las principales son: por NQC y por código RCX (utilizado por la mayoría de las aplicaciones de Lego).

NQC proviene de las siglas *Not Quite C*, es un lenguaje de alto nivel desarrollado por Dave Baum, el cual posee un compilador que se encarga de convertir el lenguaje usuario a código RCX para luego ser transmitido al dispositivo. Existen otras herramientas que ofrecen mayores facilidades al momento de programar tal es el caso de la aplicación ofrecida por *Lego Mindstorm* el cual ofrece interfaces gráficas que transforma el programa en código RCX para luego ser transmitidas al dispositivo. Aunque ofrece una facilidad en la programación de código RCX, éste posee grandes limitaciones al momento de realizar programas avanzados.

Aunque el uso de estas herramientas (NQC, *Software* de Lego) facilitan la programación del RCX, estos no permiten realizar tareas avanzadas como es el de controlar el RCX a tiempo real. Para esto es necesario transmitir código RCX puro a partir del computador permitiendo así manipular al dispositivo en un momento dado. De esta manera, *Kekoa Proudfoot* descifró los códigos necesarios para controlar el RCX desde el computador usando el *firmware* estándar.

Para poder enviar estos comandos es necesario instalar algún programa que permita manipular los puertos seriales del computador y que tenga la capacidad de transmitir estos comandos a partir del protocolo de comunicación del RCX. Actualmente en Internet existen varios programas capaces de establecer esta comunicación, entre ellos "send.c" elaborado por Kekoa Proudfoot ([http:// graphics.stanford.edu/~kekoa/rcx/tools.html](http://graphics.stanford.edu/~kekoa/rcx/tools.html)) y "rcx.jar" elaborado por Dario Laverde (<http://www.escape.com/~dario/java/rcx>).

IV. Metodología

La metodología utilizada en el desarrollo de este trabajo de investigación se basa principalmente en el proceso unificado con ciertas variantes debido a

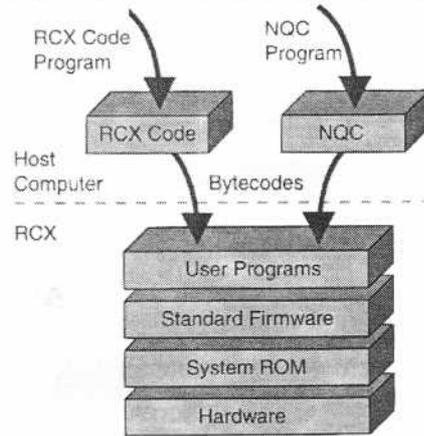


Figura 12: Arquitectura del RCX para el Firmware estándar

características propias del experimento realizado en este trabajo de grado.

Según Booch, Jacobson y Rumbaugh (1999) la base del proceso unificado se centra en una serie de ciclos que le dan vida al producto final, y cada uno de estos ciclos culminan con un resultado de valor. Cada ciclo se divide en cuatro fases: principio, elaboración, construcción y transición tal como se describe en la figura 13.

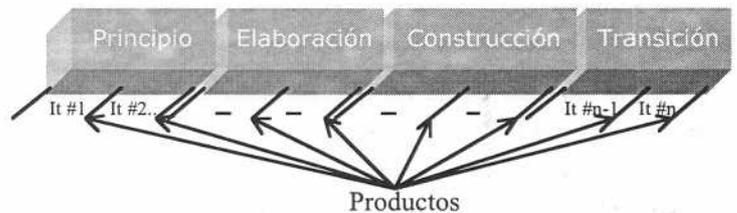


Figura 13: Un ciclo con sus fases e iteraciones

En la fase **Principio** se establecen los alcances de lo que debe ser el producto final, reducir los riesgos, y preparar una propuesta inicial del negocio. En resumen se establece el ciclo de vida de los objetivos para el proyecto. En la fase de **Elaboración** se conforma la arquitectura, se capturan la mayoría de los requerimientos así como se reducen la mayor cantidad de riesgos posibles. En esta fase es posible estimar los costos y el plan de trabajo. En la fase de **construcción** se desarrolla el sistema completo y se asegura que éste pueda pasar a la fase de transición. Por último, la fase de **transición** se encarga de asegurar que el producto esté listo para ser utilizado por el o los usuarios. Esta fase incluye las pruebas del sistema y entrenamiento de los usuarios.

Booch, Jacobson y Rumbaugh (1999) indican que cada fase puede tener varias iteraciones. Una iteración es un mini proyecto, un flujo de trabajo conformado

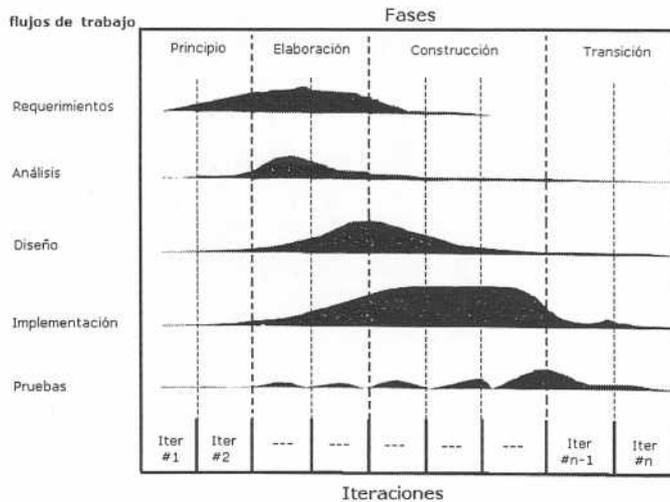


Figura 14: El énfasis de cada flujo de trabajo varía por cada iteración en cada fase.

por las siguientes actividades: requerimientos, análisis, diseño, implementación y pruebas. Lo que diferencia esto con el modelo de cascada es que existen varias iteraciones que pueden solaparse entre sí obteniendo un mayor aprovechamiento del tiempo y los recursos.

Como se puede observar en la figura 14, se muestra un proyecto con sus respectivas 4 fases (principio, elaboración, construcción y transición). Cada fase posee un número limitado de iteraciones y en cada una de estas se cumple con una actividad específica del proyecto.

V. Ejecución

Una vez aclarada la metodología utilizada y la información teórica necesaria para el entendimiento

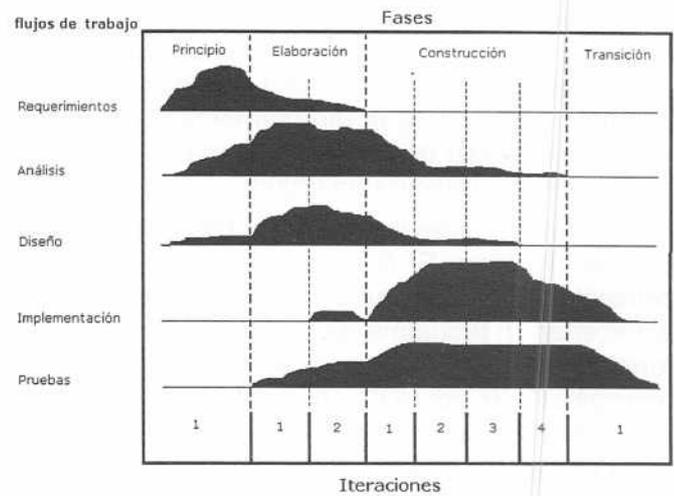


Figura 15: Actividades realizadas en cada una de las fases con sus respectivas iteraciones.

del proyecto, se procede a mostrar todas las actividades realizadas y resultados obtenidos en cada etapa del proyecto.

La figura 15 muestra la ejecución del proyecto según la metodología anteriormente mencionada. En general el proyecto constó de 8 iteraciones distribuidas de la siguiente manera: 1 en la fase de principio, 2 en la fase de elaboración, 4 en la fase de construcción y 1 en la fase de transición. También se puede observar que en cada iteración se hace un énfasis diferente de trabajo en las distintas actividades necesarias para culminar el proyecto (requerimientos, análisis, diseño implementación y pruebas).

En la tabla 1 se muestran las actividades realizadas en cada una de las iteraciones de dichas fases.

Tabla 1: Actividades realizadas en cada fase del proyecto

Fase	Iteración	Actividad
Principio	1	Definición de los requerimientos necesarios para desarrollar el trabajo de investigación
Elaboración	1	Investigación y diseño de los componentes necesarios para la manipulación el robot localmente.
	2	Investigación y diseño de los componentes de la tecnología JINI necesarios para poder manipular remotamente la actuación del robot
Construcción	1	Desarrollo y configuración de los componentes de Java necesarios para la manipulación del robot localmente.
	2	Desarrollo y prueba de una aplicación que sirva como interfaz entre el operador y el robot.
	3	Elaboración de un componente JINI que permita obtener un objeto remoto.
	4	Adaptación de componentes desarrollados en las iteraciones 1,2 y 3
Transición	1	Elaboración del experimento y ajustes de la aplicación

En los párrafos siguientes se explica detalladamente cada una de las fases con las respectivas actividades descritas en la tabla 1.

Fase de Principio

Por ser un trabajo de investigación, esta fase se basa principalmente en un análisis tentativo de lo que se quiere obtener al final del proyecto, es decir, al producto final. En esta se realizan reuniones con personal especializado en el área, que permite guiar el experimento a las necesidades reales en el área de robótica y redes.

Análisis de los requerimientos del proyecto (Iteración 1)

Desarrollo

En esta iteración se realizó una definición de los requerimientos necesarios para desarrollar el trabajo de investigación adoptando una visión general del problema. Para esto se buscaron respuestas a las siguientes preguntas:

- ¿Qué elementos debe arrojar el experimento para mostrar la funcionalidad de JINI como herramienta de programación distribuida sobre el robot?
- ¿Qué función debe cumplir el robot y de qué manera?
- ¿Qué debe mostrar la aplicación a desarrollar?
- ¿Quiénes son los usuarios?
- ¿Qué recursos son necesarios para desarrollar el experimento?
- ¿En cuanto tiempo se debe realizar?

Como primer paso se establecieron varias reuniones con diferentes personas especializadas en el área de Robótica y Redes quienes aportaron ideas para el establecimiento de uno o varios experimentos que permitieran mostrar las funcionalidades de la tecnología JINI.

También se realizaron ciertas entrevistas a distancia de personas conocedoras de la tecnología JINI y Lego Mindstorm, como es el caso de la Ing. Iain Shigeoka miembro de la lista de distribución de *Sun Microsystems* para usuarios de dicha tecnología y Kekoa Proudfoot gran conocedor de la familia de sistemas de invención de robot de Lego Mindstorm. Esto nos permitió conocer la factibilidad del experimento así como la opinión de cada una de estas personas frente al proyecto.

A partir del aporte de estas personas, se realizó un análisis que permitiera conocer los recursos necesarios para la realización del experimento así como la debida planificación del proyecto.

Resultados

El producto final del experimento debe ser el establecimiento de una comunicación entre la aplicación basada en un componente JINI y el robot, de esta manera se podría obtener una representación del manejo de dispositivos a partir de la tecnología JINI. Este tiene que brindar un control sobre el robot proporcionado por la aplicación desde cualquier parte de una red.

La función del robot también debe determinarse de acuerdo a una constante comunicación entre el robot y la aplicación. No es necesario que el robot tome decisiones por si mismo o sea independiente (aunque esto puede ser tratado en trabajos posteriores. Por eso fue escogida como función principal, que este dispositivo deba explorar una zona específica y vaya mostrando los resultados al cliente.

Con respecto a la aplicación, ésta debe ser capaz de controlar o visualizar las acciones del robot remotamente de una manera eficiente. Por esta simple razón, la aplicación debe soportar un número considerado de clientes accediendo al mismo tiempo al sistema y adicionando aspectos de interfaz gráfica que permitan facilitar las funciones de aprendizaje al usuario.

Los usuarios pueden ser cualquier persona que tenga acceso a la red. Para lograr esto la aplicación basada en el componente JINI debe ser capaz de administrar los accesos de estos clientes y lograr que de alguna forma todos puedan controlar el robot. Asimismo, no deberían existir ningún tipo de restricciones al momento de utilizar la aplicación, todo usuario ubicado en la red local puede controlar el robot.

Los recursos mínimos necesarios para la ejecución del proyecto son los siguientes: computador que funcione como servidor y cliente con interfaz de red, un sistema de invención de robots de *Lego Mindstorm*, un sensor de choque y dos sensores de rotación, y dos motores de Lego. En esta fase también se obtuvo información acerca de las limitaciones del proyecto así como la necesidad de adquirir sensores adicionales específicamente de rotación ya que Lego Mindstorm no brinda este tipo de sensores al adquirir el producto. Estos son necesarios para lograr una mayor precisión en el desenvolvimiento del robot.

En esta etapa se adquirieron algunos rasgos de la funcionalidad del sistema. A continuación se muestran las conclusiones obtenidas con respecto a la funcionalidad :

- El robot debe desplazarse por el terreno en búsqueda de posibles obstáculos. Éste será teledirigido desde

un lugar remoto dentro de una red local. El robot se encargará de reconocer los obstáculos a partir del choque con los mismos utilizando un sensor de choque.

- El terreno debe ser uniforme, preferiblemente liso, sin la existencia de hoyos ni desniveles que puedan ofrecer resistencia al momento de realizarse la exploración.
- La aplicación debe manipular el robot, así como mostrarle al cliente la representación del terreno obtenido por el robot. También debe mostrar ciertas estadísticas sobre la composición del terreno. Esta exploración puede inicializarse en cualquier momento.
- Para cumplir con los requerimientos del experimento, solo un usuario puede controlar el robot en un momento dado (exclusión mutua), de esta forma estamos asegurando la consistencia de la aplicación.
- Una vez obtenido el número de usuarios que pueden controlar el dispositivos en un momento dado, se concluyó que aunque los demás usuarios no podrían utilizar el recurso en ese momento, si podrían observar la composición del terreno y la posición del robot. De esta manera los demás usuarios pueden observar la exploración realizada por el operador desde cualquier parte de la red, obteniendo datos actualizados.
- Al momento en que el operador libera el recurso, éste debe ser reasignado a uno de los usuarios que así lo requieran. Este recurso es asignado preferiblemente al usuario que lleva mayor tiempo esperando en el sistema.

Fase de Elaboración

Esta fase posee 2 iteraciones en las cuales se tratan dos elementos por separado. El primero, todo lo concerniente con el control local del robot y segundo todo lo que tiene que ver con la parte de red enfocado a los resultados obtenidos en la primera etapa.

Investigación y diseño de los componentes locales (Iteración 1)

Desarrollo

En esta iteración el trabajo se enfoca en investigar y diseñar los componentes necesarios para la manipulación el robot localmente.

En primer lugar se buscó información en Internet y bibliografía acerca de los diferentes modos de programación del RCX para luego escoger la opción más calificada según los requerimientos del experimento y la que más adaptase para cumplir los objetivos planteados.

Una vez obtenida una visión más clara del funcionamiento de Lego Mindstorm, se procedió a un análisis exhaustivo para determinar las características mínimas necesarias para el funcionamiento del robot, tal es el caso del *firmware*, número de motores, tipo de sensores, un diseño aproximado del robot y otros elementos necesarios para la construcción del robot. También se estudió como debe ser el ambiente donde éste debe actuar como el tipo de superficie, el espacio y otros.

Una vez obtenida una posible estructura del robot, se realizó un diseño de la arquitectura necesaria para manipular el robot localmente, no olvidando que luego ésta debe ser capaz de interconectarse con otros componentes para su funcionamiento en Red.

Ésta etapa también incluye la investigación y obtención de las herramientas necesarias para la manipulación del RCX desde el computador, dependiendo de los resultados obtenidos en la fase anterior.

Resultados

El análisis acerca de las diferentes formas de programación del RCX, arrojó distintas formas para el control del dispositivo desde cualquier computador. para esto se pueden utilizar distintos *firmwares* mencionados anteriormente, pero las opciones más importantes para los objetivos del experimento son las siguientes:

Utilización del firmware LegOS: aunque este *firmware* no posee ningún tipo de código que permita controlarlo en tiempo real, es uno de los sistemas operativos más completos. Además posee un protocolo de comunicación denominado LNP (Lego Network Protocol) que permite enviar y recibir mensajes al RCX desde el computador. Aunque esto permitiría controlar el robot, es necesario la instalación de una aplicación especial que permita comunicar el RCX con la torre infrarrojo según el protocolo anteriormente descrito. Ésta aplicación actualmente disponible en Internet en el [site http://legos.sourceforge.net/files/linux/LNPD](http://legos.sourceforge.net/files/linux/LNPD) permite realizar esta función pero posee un inconveniente muy importante, está escrito en lenguaje C. Como JINI sólo puede interactuar con objetos en Java, su implementación podría ser un inconveniente al momento de adaptar el componente local y el remoto.

Utilización del firmware estándar de Lego: Como se menciona en el marco teórico, este sistema operativo ofrece un código RCX que permite controlar las funciones del RCX en tiempo real desde un computador. Dario Laverde desarrolló un programa

en Java que permite enviar estos comandos desde cualquier plataforma compatible con Java. Este paquete fue el que se utilizó para adaptarlo a las especificaciones y requerimientos del proyecto.

Pero existen varias formas de controlar el RCX desde el computador utilizando este programa. El primero es enviar todos los comandos desde el computador permitiendo controlar el robot a tiempo real y facilitando así las labores de mantenimiento. Esto es posible pero es muy ineficiente. Al enviar cada comando este consume un cierto tiempo el cual puede ofrecer cierto grado de imprecisión (sin mencionar cuando la señal es débil produciendo una pérdida del paquete y su debida retransmisión). Un ejemplo de la desventaja de este tipo de programación es: si prendemos el motor del puerto A y un segundo después prendemos el motor del puerto B, esto originaría que el robot no se desplace derecho sino que desviase a alguna otra dirección perdiendo la posición correcta del mismo.

Una segunda opción es que los programas estén almacenados en el RCX. De esta manera tenemos un mayor control de los motores, sensores y así lograr una mayor precisión y control del robot. Al tener almacenado estos programas en el RCX, el computador puede enviar comandos que permitan ejecutarlos evitando así la desventaja del tiempo entre comandos ya que este retardo entre los comandos no afecta el comportamiento del robot.

Una vez obtenido la forma en el que el RCX sería programado, se obtuvo un diseño aproximado del robot. Éste debe poseer las siguientes características:

- 2 motores que funcionen independientemente para desplazar el robot. Deben ser independientes para girar el robot en cualquier dirección.
- 1 sensor de choque que indique si el robot encontró o no un obstáculo en el terreno.

- El robot debe moverse sobre el plano de forma horizontal y vertical según las coordenadas cartesianas. Para lograr esto es necesario que el robot pueda girar y desplazarse con gran precisión .

Para esta etapa del proyecto se obtuvo que era necesario evaluar ciertas características para escoger un diseño determinado. Entre las actividades planteadas se encuentran:

- Debe evaluarse la utilización de 2 sensores de rotación contra el desplazamiento del robot en un tiempo determinado. Esto con respecto al grado de precisión obtenido en el desplazamiento y giro del

robot.

- Debe evaluarse cual debe ser la inclinación del RCX en el robot. La manera más sencilla de construir el robot es incorporarlo de forma horizontal, ya que este dispositivo posee una pieza de Lego en la parte inferior que permite fijar otras piezas brindándoles mayor consistencia. En cambio, al colocar el RCX vertical colocaría la parte inferior del RCX perpendicular al suelo necesitando piezas especiales que permitan incorporar estructuras paralelas al plano donde se desenvuelven. En otro ámbito, al colocar el RCX horizontal es necesario que el puerto infrarrojo siempre apunte a la torre para establecer la comunicación inalámbrica. En caso que esté vertical se puede colocar la torre apuntando hacia el suelo y siempre estará en contacto con el puerto infrarrojo del RCX independientemente de la posición del robot.

También se obtuvieron características representativas de cómo debe estar constituido el terreno a explorar:

- El terreno podría ser una cartulina dibujada con un formato cuadrangular. Cada cuadrícula debe poseer una dimensión mayor al robot y estas deben ser uniforme en todos los cuadros que conforman el terreno.
- Los obstáculos deben ser de forma cuadrangular y poseer las mismas dimensiones que los cuadros que conforman el terreno, para permitir que el robot pueda captarlos desde cualquier ángulo y posición. Estos también deben ser de un material suficientemente pesado para no ser arrastrados al momento del choque con el robot.

En esta etapa también se obtuvo una representación de la arquitectura para controlar el robot, ésta posee un enfoque local ya que en esta iteración se desconoce las características necesarias para controlar el robot remotamente.

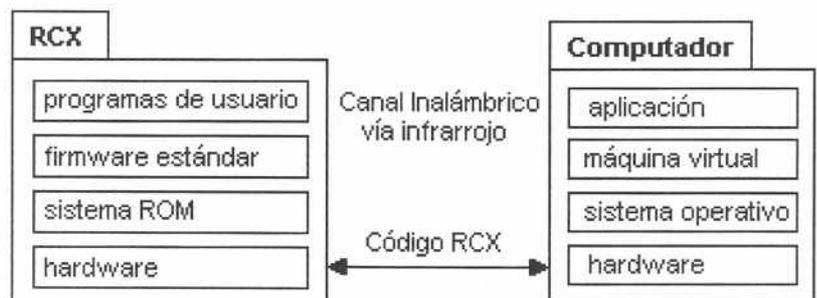


Figura 16: Arquitectura para la manipulación local del robot

Como se observa en la figura 16, la arquitectura del RCX se basa en el *firmware* estándar de Lego el cual posee 5 espacios de memoria para almacenar los programas de usuario. Este es controlado por un computador que se encarga de enviar código RCX al robot así como recibir una respuesta del estado de los sensores. Esto permitiría a la aplicación recibir si el robot detectó o no un obstáculo en la exploración. Todo esto se realiza a través de un programa realizado en Java.

Investigación y diseño de los componentes remotos (Iteración 2)

Desarrollo

En esta iteración se investigaron y diseñaron los componentes de la tecnología JINI necesarios para poder manipular remotamente la actuación del robot.

En primer lugar, se realizó un análisis más detallado y técnico de la tecnología JINI. También se observaron ejemplos prácticos obtenidos de Internet (<http://www.jini.org>) y posibles proyectos realizados por Jan Newmarch (2001) los cuales se había trabajado conjuntamente con Lego Mindstorm.

A partir de estos ejemplos se realizó una configuración general del ambiente distribuido basado en la ejecución del servidor de búsqueda así como corrida de ejemplos para así asegurar el dominio práctico de JINI.

Esta etapa también incluye el diseño de la interfaz utilizada por cada uno de los usuarios para controlar el robot y observar la composición del terreno explorado.

Finalizando esta etapa se diseñó una arquitectura posible para la manipulación del robot a partir de un cliente remoto.

Resultados

En esta iteración se logró un alto dominio en la configuración de servidores de búsqueda así como en la creación de políticas de seguridad, aunque estas últimas no son utilizadas en el experimento ya que cualquier persona en la red puede manipular el robot. También se realizó un ejemplo en el cual se obtenía

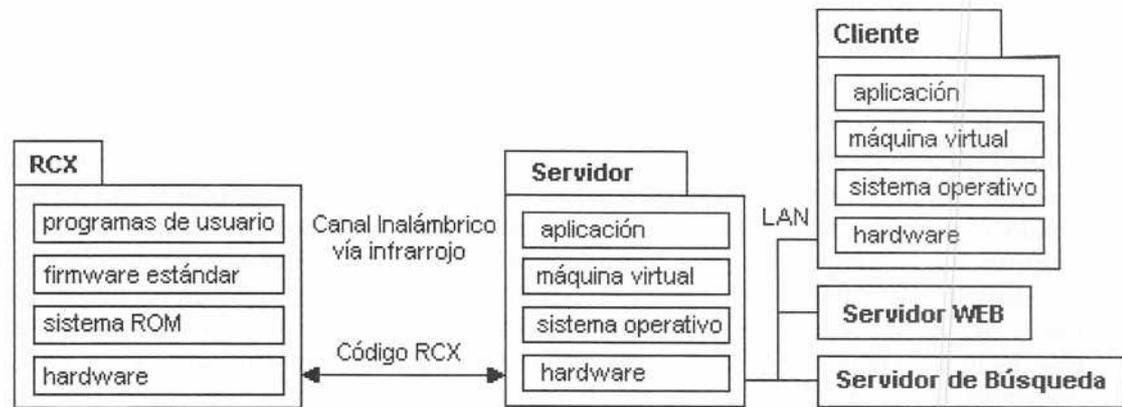


Figura 17: Arquitectura para la manipulación remota del robot

un objeto remoto hospedado en un servidor a partir de un cliente, esto se logró a partir de la tecnología JINI.

Por último se obtiene una representación aproximada de la arquitectura necesaria para manipular el robot remotamente. Este modelo es mostrado en la figura 17 y está conformada por un servidor conectado al robot vía infrarrojo y que se encarga de publicar en el servicio de búsqueda un servicio para manipular o visualizar el estado del robot. Un servidor *web* que se encarga de transmitir los objetos *stub* a los clientes que va a permitir la invocación de métodos remotos ubicados en el servidor. Por último, un servidor de búsqueda el cual se encarga de publicar y asignar el servicio.

Fase de Construcción

Esta fase se conforma principalmente de tres procesos esenciales. El primero es el Desarrollo o programación del código fuente, basado en el diseño obtenido en la fase anterior así como la configuración de todos los elementos necesarios para el buen funcionamiento de los componentes. En segundo lugar, las pruebas unitarias de cada componente realizado de manera de poder encontrar errores en la programación y diseño de los mismos. En tercer y último lugar el rediseño de todos los componentes que así lo ameritasen.

Desarrollo y prueba de los componentes locales (Iteración 1)

Desarrollo

Esta etapa se basó en el desarrollo y configuración de los componentes de Java necesarios para la manipulación del robot localmente. Pero antes de construir los componentes locales era necesario construir y configurar un robot que permitiera ser

controlado según las especificaciones obtenidas en la fase de elaboración. Las actividades realizadas en esta primera etapa fueron:

- Instalación del *firmware*.
- Construcción y prueba de diferentes robots tomando en cuenta los resultados obtenidos en la etapa de elaboración.
- Construcción del ambiente en la cual el robot se desenvuelve.
- Desarrollo de los programas de usuario del robot que permitieran su manipulación.

La primera actividad fue la instalación del *firmware* al RCX. Este permitiría programar las funciones del robot. Este *firmware* fue escogido en la fase de elaboración según las especificaciones del experimento.

Una vez instalado el sistema operativo del RCX, se procedió a construir varios prototipos del robot. Cada robot era probado de la siguiente manera: eran descargados tres programas, el primero desplazaba el robot hacia adelante hasta que este chocara con un obstáculo, el segundo y el tercero giraba el robot 90° hacia la derecha e izquierda respectivamente.

Una vez almacenado los programas en el RCX, eran corridos en cualquier terreno y se evaluaba el desempeño del robot. De esta manera eran reconstruidos para mejorar la precisión del dispositivo o simplemente optar por otro diseño que disminuya las limitaciones del robot.

También se realizaron pruebas en el que se evaluaba la precisión obtenida al usar sensores de rotación o simplemente ejecutar tareas en un tiempo determinado (un ejemplo es desplazarse por tres segundos). Esto permitiría comprobar cuán necesario es la utilización de los sensores de rotación para lograr un desplazamiento óptimo del robot.

Una vez obtenido el robot más capacitado para cumplir con los objetivos del experimento, se hicieron pruebas de navegación del robot en diferentes superficies. Entre ellas: granito, cemento, cartulina y fórmica. Esto con el fin de evaluar el desempeño del robot en cada una de estas y así escoger la alternativa más apta y más fácil de usar. También se definió la delimitación y composición del terreno tal es el caso como la distancia entre cuadros, entre otros.

Una vez finalizadas estas actividades, se procedió a la programación del RCX. Este paso es muy importante ya que aquí se da la funcionalidad al robot, lo cual es acompañado paralelamente con

reiteradas pruebas de cada uno de los programas por separado para lograr un alto nivel de precisión y evaluar el desempeño del robot. Las pruebas permitieron medir la capacidad de giro y desplazamiento preciso del robot así como evaluar el funcionamiento de los sensores utilizados por el robot.

Una vez lograda la precisión deseada, se procedió a instalar los paquetes necesarios para poder controlar el robot desde cualquier aplicación Java. Esto incluye los paquetes [javax.comm](#) distribuidos por Sun Microsystems y [rcx.jar](#) distribuido por Dario Laverde. El primero permite controlar los puertos seriales del computador independientemente de la plataforma y el segundo es un paquete realizado en Java que se encarga de enviarle comandos en tiempo real al RCX.

Resultados

A partir del análisis obtenido en las fases anteriores se realizaron dos prototipos de robots de exploración.

El primer robot construido fue el Signus Explorer. Este robot no fue utilizado por varias razones. La primera fue la falta de precisión del robot al momento de realizar las pruebas, su desplazamiento era medido en unidad de tiempo generando fuertes problemas de precisión a la hora de explorar. También se dificultaba el giro ya que las orugas ofrecían una gran resistencia a los motores. La segunda razón es que el robot no era capaz de recibir las señales de la torre infrarrojo desde cualquier posición por lo cual era necesario construir programas especiales que permitieran ubicarlo en una posición adecuada para recibir y transmitir las señales agregando mayor complejidad a la exploración.

Cierto tiempo después para cubrir las ineficiencias de Signus Explorer, fue contruido Omega Centaury (ver figura 18). Para esto fue necesario el préstamo de dos sensores de rotación que servirían como indicadores rotacionales ofreciendo una mayor precisión en el desplazamiento del robot. Este robot posee dos motores conectados a un sistema de engranajes que permiten movilizar las ruedas y los sensores de rotación al mismo tiempo. También está constituido por un sensor de choque unido a dos pequeñas piezas que funcionan como parachoques permitiendo registrar un tropiezo en varios puntos de la parte delantera del robot. Omega Centaury posee una pieza especial en la parte inferior que permite que el robot gire y se desplace libremente solucionando los conflictos producidos por la resistencia de las ruedas delanteras.

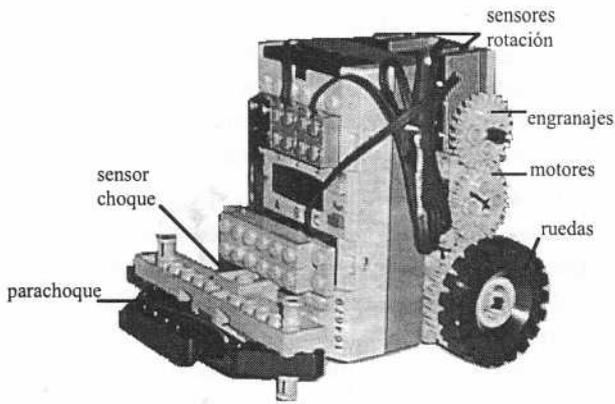


Figura 18: Prototipo del robot Omega Centaury

A partir de este robot, el desplazamiento del mismo viene dado por el número de vueltas que realizan los motores y no por el tiempo que ha transcurrido desde que el robot comenzó a moverse. Aunque todo esto aumenta significativamente la eficiencia del robot al momento de la exploración, este puede tener ciertas desventajas que serán mencionadas posteriormente.

Con respecto al terreno, éste es construido sobre una cartulina blanca el cual posee cuadros de 30 cm de lado. La longitud del lado fue obtenido a partir de los análisis realizados en las etapas anteriores y es aproximadamente tres veces mayor a las dimensiones del robot Omega Centaury. Esta cartulina es colocada encima de un pedazo de formica o cualquier otra superficie totalmente lisa para ofrecer la menor resistencia posible en el momento que el robot realice la exploración.

En esta fase también se obtuvo los programas que permiten al robot desenvolverse. Estos fueron programados y creados con la aplicación distribuida por Lego para luego ser descargados al RCX. El uso de NQC (ver sección de Lego Mindstorm) no fue necesario dado la simplicidad de los programas. En la tabla 2 se muestran cada uno de estos programas:

Una vez realizadas las pruebas unitarias de cada

programa, aparecieron ciertas limitaciones en el desenvolvimiento del robot:

- Es necesario el control de la velocidad. A mayor velocidad el robot obtiene mucha menor precisión (deslizamientos, mala lectura de los sensores de rotación, etc). Si la velocidad es muy baja, puede permitir la inmovilidad del robot por la resistencia ofrecida en los motores.
- La variación de la velocidad del robot con respecto a la energía. La energía es directamente proporcional a la velocidad del robot. Es decir, si la energía es alta la velocidad es alta y viceversa. Esto puede provocar problemas descritos en el primer punto.

En esta iteración se logró también la configuración de los paquetes javax.COMM y rcx.jar los cuales permiten controlar el robot desde cualquier aplicación Java. Una vez obtenida esta configuración se obtuvo un programa que se encarga de enviar los comandos que permiten ejecutar los programas ubicados en el RCX, logrando así un control del experimento localmente.

Una vez logrado estos resultados se obtuvieron nuevas limitaciones para controlar el robot desde un computador:

- La interferencia causada por la mayoría de las luces. Esta es agravada por la posición vertical del RCX (el cual coloca el puerto infrarrojo mirando hacia arriba) siendo interferido por cualquier luz de techo ubicado en el ambiente.
- Es necesario que la torre infrarrojo esté constantemente dentro del umbral de comunicación para evitar pérdida de paquetes. Para lograr esto es necesario que el terreno sea lo suficientemente pequeño o en su defecto lograr que la torre infrarrojo se movilice conjuntamente con el robot.

Desarrollo y prueba de la aplicación (Iteración 2)

Programa	Función
IrAdelante()	Mover el robot hacia delante tantas vueltas, si consigue un obstáculo detiene los motores e invoca la rutina atrás.
Atrás()	Se encarga de devolver al robot a su posición inicial al momento de chocar con un obstáculo
Medio(mensaje msg)	Se encarga de mover el robot pocas vueltas hacia atrás o hacia delante dependiendo del mensaje enviado por la aplicación ejecutada en el computador
Girar90Izq()	Gira el robot 90 grados hacia la izquierda
Mover90Der()	Gira el robot 90 grados hacia la derecha

Tabla 2: Especificaciones de los programas descargados al RCX

Desarrollo

En esta iteración se procedió a desarrollar una aplicación que sirviese como interfaz entre el operador y el robot. Para la elaboración de esta aplicación se toma en cuenta los resultados obtenidos tanto en la fase de principio como en la fase de elaboración. Esta aplicación es orientada a controlar el robot localmente, para así realizar pruebas que permitan mostrar tanto el desenvolvimiento del robot como la funcionalidad de la aplicación en sí.

Una vez construida esta aplicación, fue adaptada a los paquetes obtenidos en la iteración anterior con el fin de lograr una manipulación del robot a partir de la aplicación. Esta manipulación aunque es de forma local nos permitió evaluar el desempeño del robot luego de reiteradas exploraciones de un área del terreno.

Resultados

En esta etapa se obtuvieron distintos archivos que permiten ejecutar una aplicación gráfica para controlar el robot y ver el resultado de la exploración realizada por el robot. Este control es realizado localmente lo cual no posee ningún componente especial que permite controlarlo desde cualquier lugar de una red.

Una vez obtenida esta aplicación, se adapta a los

(Iteración 3)

Desarrollo

En ésta se crea un componente JINI que permite obtener un objeto remoto. De esta manera programaron los componentes necesarios para comunicar los clientes con el servidor en donde se ubica el servicio. Para esto son utilizados los conocimientos prácticos obtenidos en la iteración 2 de la fase de elaboración. En esta etapa se realizaron las siguientes actividades:

- Instalación de un servidor de búsqueda que permita publicar y ofrecer servicios en una red.
- Instalación de un servidor *web* que permita transmitir archivos de un lugar a otro. Para el experimento, este servidor es necesario ya que el proveedor de servicio transmite el objeto *stub* al cliente mediante el protocolo HTTP (para mayor información ver capítulo de resultado).
- Un proveedor capaz de publicar un servicio en cualquier servidor de búsqueda ubicado en la red así como brindar el servicio apoyándose en el uso de notificaciones remotas.
- Un cliente capaz de buscar el servicio en cualquier parte de una red para luego obtenerlo y usarlo según especificaciones del servicio.

Resultados

En esta etapa, se programa y prueba el componente JINI, dado por un servidor capaz de publicar un objeto remoto en los servidores de búsqueda ubicados en una red, así como un cliente capaz de obtener el servicio en cualquier servidor de búsqueda invocando así los métodos en forma remota vía RMI. En la figura 22 se muestra el proceso de obtención del servicio mediante el componente JINI construido.

En la figura 20 se puede observar como el servidor realiza una exploración de todos los servidores de búsqueda disponibles en la red a través del protocolo *Discovery* de JINI. Luego publica un servicio *Mapa_Stub* el cual contiene los métodos para manipular el robot y visualizar la composición del terreno de manera remota. Una vez publicado el servicio el servidor obtiene un ID que será utilizado posteriormente para poder reanudar de nuevo la publicación del servicio en el servidor de búsqueda.

Para la obtención del servicio, el cliente realiza una exploración de todos los servidores de búsqueda disponibles en la red (*Discovery*), para luego obtener el objeto por medio del protocolo *Lookup* de JINI. De esta manera el cliente obtiene un proxy RMI que es

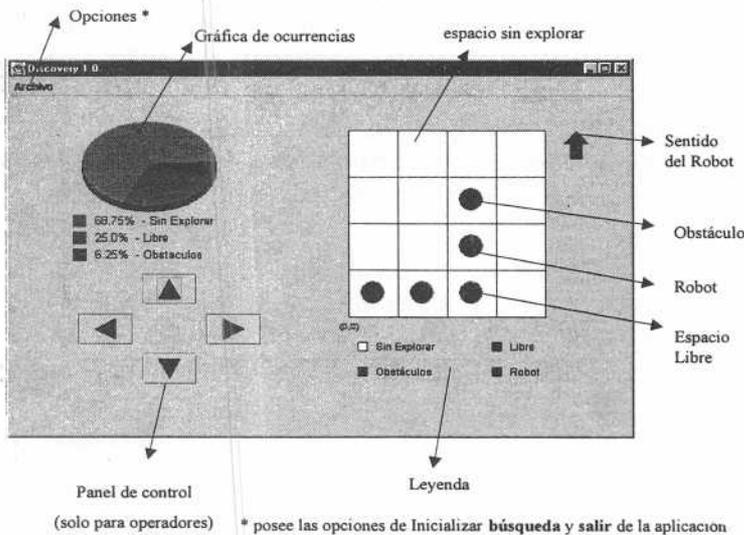


Figura 19: prototipo de la aplicación

resultados obtenidos en la iteración anterior, logrando obtener la manipulación local del robot a partir de una aplicación con interfaz gráfica.

Desarrollo y prueba del componente remoto

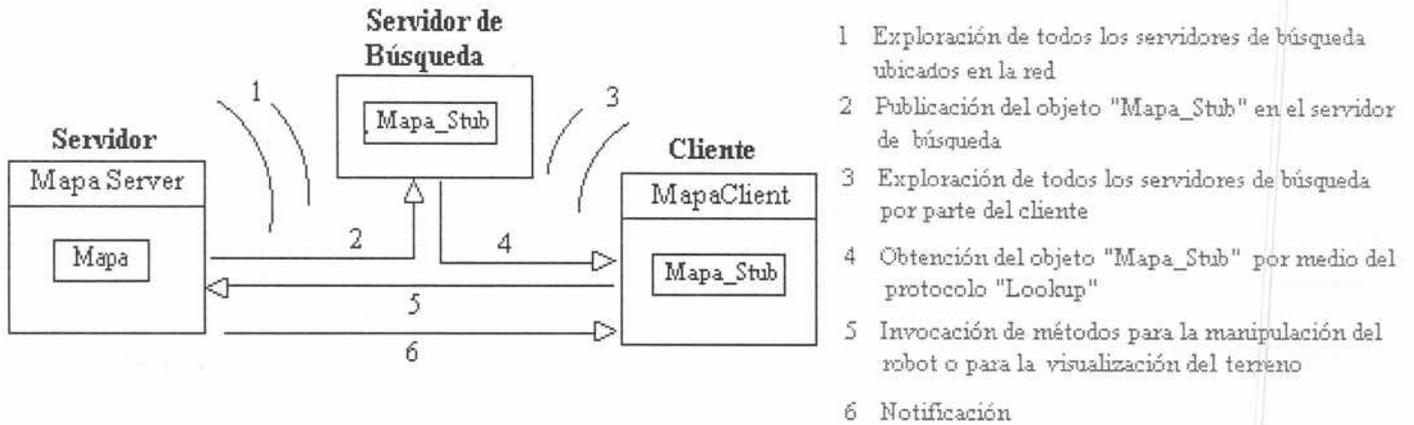


Figura 20: Proceso de obtención del servicio a través del componente JINI

definida por una interfaz *MapaInterface* que permite invocar los métodos del objeto Mapa (servidor) de forma remota. Asimismo, los métodos son ejecutados completamente en el servidor y no en el cliente. Esto permitió obtener un recurso centralizado dado por la manipulación del robot y una representación del terreno común a todos los usuarios de la aplicación.

Esta etapa también permitió desarrollar una comunicación entre el cliente y el servidor a través de eventos remotos, de esta manera podríamos notificar a cada uno de los usuarios que hubo un cambio en el sistema el cual debe ser registrado.

Adaptación y prueba de componentes (Iteración 4)

Desarrollo

Una vez culminado cada componente por separado (la interfaz, manipulación del robot localmente, y el componente JINI), se culmina la fase de construcción conectando cada uno de estos con el fin de lograr una manipulación remota entre la aplicación y el robot a partir del componente JINI.

Esta adaptación produjo pequeñas modificaciones de cada componente para lograr la unificación de las mismas en dos paquetes. Un paquete que contiene todas las funciones referentes al servidor quien debe controlar localmente el robot y un segundo paquete ubicado en el lado del cliente que permita, a partir de una aplicación, comunicarse con el servidor para manipular el robot.

Resultados

En esta etapa se obtuvieron dos paquetes divididos en las siguientes partes: un cliente el cual está formado por una aplicación que se encarga de obtener un objeto remoto (a partir de JINI) el cual viene dado por un mapa representando el terreno donde el robot se desenvuelve. También se obtiene un

servidor el cual se basa en notificaciones remotas para comunicar un cambio en el sistema y posee todos los métodos necesarios para controlar el robot según especificaciones de un operador.

Este objeto remoto (mapa) implementa una interfaz *MapaInterface*. Esta define todos los métodos necesarios para controlar el robot y a la vez todos los métodos necesarios para visualizar la composición del terreno y recibir notificaciones del servidor. El proceso de obtención del servicio Mapa es el siguiente. El cliente se conecta con el o los servidores de búsqueda realizando una solicitud de un servicio que invoque los métodos pertenecientes a la interfaz Mapa Interface. Una vez obtenido, el cliente verifica si algún usuario se encuentra manipulando el robot en ese instante, si no existe simplemente carga la aplicación como modo escritura. El modo escritura, permite ejecutar todos los métodos definidos por la interfaz *MapaInterface* y principalmente los métodos de control del Robot (mover el robot hacia el norte, sur, este u oeste).

En el caso en que no este disponible el recurso, éste se incorpora al sistema como sólo lectura. Este no es capaz de manipular el robot pero puede recibir

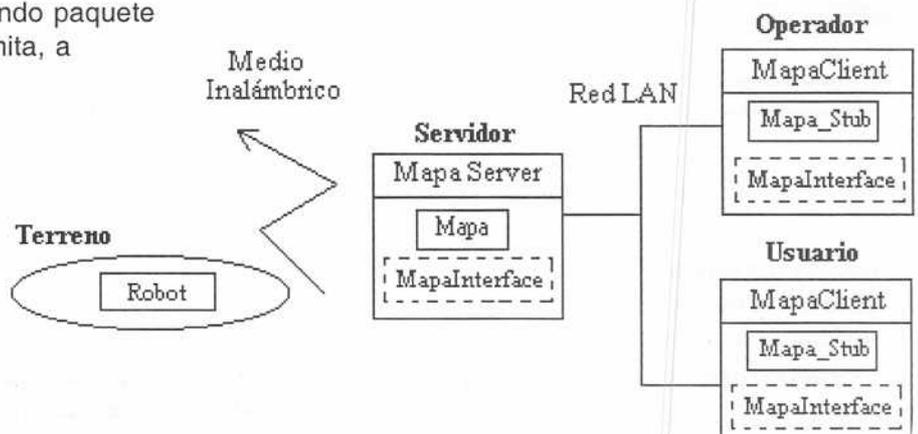


Figura 21: Segmentación del cliente en el sistema distribuido.

notificaciones remotas por parte del servidor acerca del estado de la exploración. En la figura 21 se muestra este proceso.

En la figura 21, se muestra un operador que obtiene un objeto *Mapa_Stub* que se encarga de realizar llamadas a métodos ubicados en el servidor. Este operador está capacitado para controlar el robot.

En caso de que otro usuario acceda al sistema este es colocado en una cola de espera (ubicada en el servidor) y obtiene un objeto *Mapa_Stub* que no puede manipular el robot pero es capaz de obtener información acerca del estado de la exploración. Una vez que el operador cierra la aplicación el primer usuario en la cola recibe una notificación especial en el cual se le asigna el permiso de controlar el robot. En caso de que este usuario haya perdido la conexión con la red, el recurso es asignado al próximo en la lista.

Fase de Transición

Desarrollo

En esta fase se realizó el montaje del experimento con sus respectivas pruebas así como pequeñas mejoras en el sistema. Esto incluye reuniones con diferentes personas como ingenieros y especialistas con el fin de obtener una retroalimentación con respecto a los resultados obtenidos en las fases anteriores.

En esta etapa también se solucionaron conflictos obtenidos en la fase de construcción tal es el caso en que un operador o usuario pierda conexión con la red. Esta se muestran a continuación:

- En caso de que el usuario en espera del recurso pierda la conexión, el recurso es asignado al próximo de la lista y así sucesivamente.
- En caso de que el operador se caiga, Es necesario correr un proceso paralelo o hilo en el servidor que notifique al objeto *Mapa* si un operador ha estado cierto tiempo sin controlar el robot. Este contador es reiniciado cada vez que el robot realiza un movimiento. En caso de que el operador no haya manipulado el robot en el tiempo reglamentario, es forzado a obtener el recurso como sólo lectura (mediante un mensaje) ubicándolo en la posición final de la lista de espera. Una vez culminado esto, el recurso es asignado al primer usuario en la lista.

Resultados

En la figura 22 se muestra la corrida del experimento. Se puede observar obstáculos construidos en madera con dimensiones de 30 Cm de lado. También se puede observar como el robot intenta explorar el recuadro en búsqueda de

obstáculos y transmitiendo la información hacia la torre infrarrojo del computador.

Una vez corrido el experimento reiteradas veces se obtuvieron los siguientes resultados:

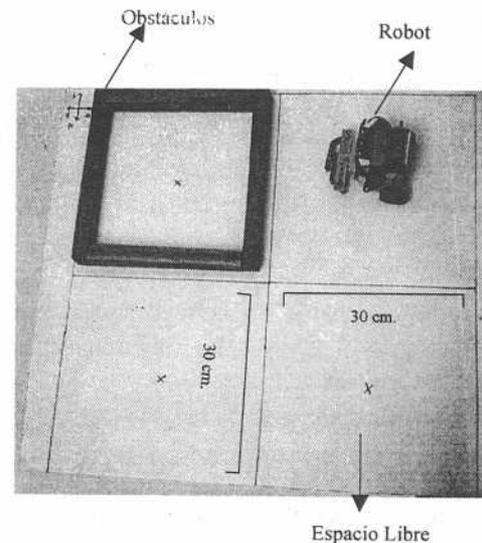


Figura 22: Corrida del experimento

- Frecuente pérdida de comunicación entre el RCX y la torre infrarrojo. Esto por limitaciones mencionadas anteriormente en la comunicación inalámbrica. Las condiciones del experimentos deben ser reducidas a un lugar poco iluminado, así como una posición y distancia correcta entre la torre y el RCX.
- Luego de que el robot realiza varios desplazamientos en el terreno, puede perder la posición correcta. Esto se debe a que cada movimiento realizado produce un pequeño margen de error que al final provoca que el robot pueda desviarse de su objetivo.

V. Conclusiones

A partir de los análisis realizados en este trabajo de investigación, sabemos que la tecnología JINI tiene la capacidad de ofrecer servicios tanto de dispositivos de *Hardware* como servicios de *software*.

En el caso de Lego Mindstorm, el RCX como dispositivo posee poder de procesamiento y memoria, pero este es muy limitado. Por esta razón el RCX no puede correr una máquina virtual de Java dentro del dispositivo y por consiguiente no puede almacenar los paquetes de JINI que permitieran al dispositivo comunicarse directamente con la red y ofrecer sus servicios sin necesidad de un computador centralizado

que lo controle. Además el RCX no posee mecanismos que permitan comunicarse con una red en específico. De esta manera es necesario comunicar el RCX con un computador que actúe como *proxy* del dispositivo dado las limitaciones del mismo.

Con respecto al experimento, la comunicación entre la torre infrarrojo y el puerto infrarrojo del RCX está muy limitada a la posición y espacio de separación entre ambos elementos, así como fuertes interferencias en relación al ambiente. Por esta razón no se recomienda la utilización de este dispositivo para usos avanzados en el cual se necesite una constante comunicación entre elementos móviles.

Las ventajas de la tecnología JINI que fueron observadas en la ejecución del experimento se muestran a continuación.

- La flexibilidad mostrada en la utilización de distintos protocolos de comunicación de redes. En el experimento se utilizaron los protocolos de RMI (para invocar métodos remotos ubicados en el servidor proveedor del servicio) y [http](#) (para transmitir el objeto [stub](#) al cliente y poder establecer la comunicación directa entre este y el servidor que provee el servicio).
- Permite una red más dinámica, las aplicaciones clientes no tienen que conocer donde está ubicado el servicio, de esta manera cualquier cambio ocurrido en la red con respecto a la ubicación del servicio es transparente para el cliente.
- Extiende las ventajas de un modelo cliente/servidor. Al facilitar la administración de la red se pueden crear servicios distribuidos vs. centralizados (dependiendo del caso), que permitan interactuar en una federación JINI y así cumplir con las necesidades de una organización.
- Gracias a las listas de seguridad, no es necesaria la instalación y configuración de *firewalls* internos que permitan restringir accesos a recursos no autorizados.

Como se observó a lo largo del proyecto hubo una gran desventaja en el uso de la tecnología JINI. Esta restringió el uso de otras alternativas de *firmware* (específicamente LegOS), por no existir aplicaciones realizadas en el lenguaje de programación Java que establecieran la comunicación entre el RCX y el computador. En la vida real, la mayoría de las aplicaciones están escritas en diferentes lenguajes de programación siendo esta razón principal por la cual esta tecnología pueda ser descartada en el uso dentro de una organización.

En un futuro, JINI tendrá que evolucionar para unificarse con otras tecnologías y así poder sobrevivir en un mundo cambiante, en el que predomina una fuerte competencia.

VI. Bibliografía

Dave Baum, Michael Gasperi, Ralph Hempel & Luis Villa (2000). Extreme Mindstorms: an advanced guide to Lego Mindstorms.

Sun Microsystems (1995-2001). Fundamentals of RMI. Jguru. Extraído de la página Web <http://developer.java.sun.com/developer/onlineTraining/rmi/RMI.html>.

Artima Software, Inc. (1996-2001). FAQ for JINI-user mailing list. Extraído de la página Web <http://www.artima.com/jini/faq.html>.

Jan Newmarch (12 de Junio de 2001). Jan Newmarch's Guide to JINI Technologies versión 2.8. Extraído de la página Web: <http://pandonia.canberra.edu.au/java/jini/tutorial/Jini.xml>.

Carlos Beltrán Gonzalez (1998-1999). RMI mano a mano con SSL: Construyendo aplicaciones distribuidas seguras. Extraído de la página Web: http://java.programacion.net/taller/joa_rmissl.php

Sun Microsystem (2000). Jini™ Architecture Specification versión 1.1. Documento Extraído de la página Web: <http://www.sun.com/jini/>.

Noel Enete (2001). Noel's Nuggets Examples. Extraído de la página web: http://www.enete.com/download/#_nuggets

Ivar Jacobson, Grady Booch & James Rumbaugh (1999). The Unified Software Development Process. Addison Wesley Longman, Inc.

Sun Microsystems Inc. (2001), commApi package Version 2.0.2 for Solaris Sparc & Version 2.0 for Microsoft Windows. obtenido de la página Web: <http://java.sun.com/products/javacomm/index.html>.

Dario Laverde (1999). rcx.jar. Extraído de la página web: <http://www.escape.com/~dario/java/rcx/>

Kekoa Proudfoot (1998-1999). RCX Internals. Extraído de la página Web: <http://graphics.stanford.edu/~kekoa/rcx/#Protocol>

Lego Group (2001). Extraído de la página web: <http://www.lego.com/home.asp>.

Cay S. Horstmann & Gary Cornell (2000). Core Java 2 Volume II – Advanced Features. Prentice may.



**REGIONALIZAR
COEFICIENTES DE
DISEÑO DE
MEZCLAS DE
CONCRETO PARA
DESARROLLAR
VIVIENDAS DE
INTERÉS SOCIAL**

■ Guillermo Bonilla

Centro de Investigación de Ingeniería - UCAB

■ Yelitza Sirit

Laboratorio de Materiales - UCAB

Mientras en países avanzados se evalúa concreto con polímeros para alcanzar menor relación peso/resistencia, aquí se plantea regionalizar coeficientes de diseño de mezclas como investigación, pero resulta que la realidad nuestra es que el concreto representa desde hace varias décadas uno de los materiales de mayor demanda para la ejecución de viviendas de bajo costo, motivado a la facilidad de ejecución, resistencia y durabilidad que presenta. Sin embargo, estas características pueden ocultar una amenaza derivada del elemental conocimiento que los trabajadores de la construcción tienen sobre su ejecución.

Sucede entonces que debido a la durabilidad y aparente resistencia de este elemento, se ha restado importancia a factores como la calidad de los componentes que lo conforman, la dosificación y forma de mezclarlo; pasando por alto el comportamiento final que tendrá la edificación, de manera que muchas veces la vivienda tendrá un deterioro prematuro y posiblemente capacidad menor de soportar con seguridad las cargas impuestas.

En este sentido, hay que reconocer que dentro del amplio espectro de la industria de la construcción existen empresas que solicitan estudios para determinar las dosificaciones óptimas, también es verdad que hay otras, donde la calidad es un requisito de ensayos de cilindros; pero para muchos pequeños constructores la noción de calidad de mezcla no existe de forma alguna. Y aunque la razón pueda ser el desconocimiento o quizá la imposibilidad de acceder a la información, resulta una situación grave en un

país donde gran porcentaje de la población de escasos recursos desarrolla su vivienda dentro de esta situación.

Bajo este contexto, el Ministerio de Ciencia y Tecnología mediante el FONACIT (anterior CONICIT) decidió co-financiar con la Universidad católica Andrés Bello el proyecto de investigación denominado "ACTUALIZACIÓN Y REGIONALIZACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO FRESCO A NIVEL NACIONAL", consistente en una investigación de campo a nivel experimental dirigida por los autores de este artículo, con la finalidad de crear una base de datos regionalizada que permita optimizar los diseños de mezclas de concreto fresco a ser utilizado en viviendas de interés social.

Conforme a lo anterior, es importante resaltar que el objetivo principal de la propuesta es mejorar la calidad del concreto utilizado en la construcción de viviendas de bajo costo, sustentado en diseños de mezclas referenciales adaptadas a las propiedades de los agregados en las principales regiones del País y, además complementado con la necesaria divulgación que permitirá llevar el conocimiento a los usuarios necesitados.

Con relación al método a utilizar para los diseños de mezclas se plantearon varios de los más conocidos: PCA, ACI, O'Reilly's, Manual de Concreto Fresco (CCCA) y el Método Directo (Vasiliu, D., 1978), que no precisa de estudios granulométricos; no obstante se decidió realizar la investigación con base al Manual de Concreto Fresco (Porrero, J; Salas, R y otros, 1996) por ser ampliamente utilizado, a pesar que los autores advierten que el mismo fue desarrollado con materiales que abastecen a la ciudad de Caracas, por lo que sus parámetros son específicos de esta región; situación que obliga a obtener y validar estadísticamente los coeficientes regionales de diseño de mezclas, como paso previo de la investigación.

Para elaborar la propuesta se visitaron los saques correspondientes a una muestra aleatoria de seis ciudades (Cumaná, Maracay, Coro, Barcelona, Valencia y Carúpano) estimándose un promedio de 3.8 fuentes por ciudad; por otra parte se revisaron antecedentes en congresos de Ingeniería, así como investigaciones en las siguientes universidades: Universidad Central de Venezuela (IMME), del Zulia, Lisandro Alvarado, Experimental de las Fuerzas Armadas (Maracay), Francisco de Miranda (Coro), de Carabobo, de Oriente (Puerto La Cruz) y Católica Andrés Bello; encontrándose en todas aspectos relacionados con el tema, destacando a nivel regional

los Trabajos de Soto, 1985 (Valencia –Estado Carabobo), Andueza y Oliveros (La pedrera y Macuto –Estado Lara).

Planteadas en cuatro fases a ser desarrolladas en año y medio, cuenta con el asesoramiento de los profesores Mario Papanoni, asesor del CIDI y Diego Calvo, ex jefe del Laboratorio de Materiales (promotor original de la idea); además, por solicitud del FONACIT deberá incluir personal de distintas universidades.

En fin, este tema de investigación aplicada pudiera ser necesario para racionalizar la elaboración de mezclas de concreto y asegurar la calidad en viviendas de bajo costo.

BIBLIOGRAFÍA:

- Andueza, S.; Oliveros, J. . Diseño de mezclas de Concreto con Materiales de Pedreras, El Valle, y Macuto, Ubicadas en el Estado Lara. Trabajo de para optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado. 1993.
- Dilio A.; Godoy, B. ; Lander M.; Lizardo L; Ensayo y Propiedades de la Mapostería simple, utilizando bloques de concreto. Memorias de las Jornadas de Ingeniería de la Universidad del Zulia. Vol.II. 1998.
- Instituto Mexicano del Cemento y Concreto Durabilidad el Concreto. ED. IMCYC. México. 1977
- Palencia, R.; Prato, M. Contribución al estudio de nuevos minerales en la elaboración del Concreto. Memorias de Segundo Congreso Iberoamericano de Patología de la Construcción. Volumen I. Barquisimeto, Venezuela. 1993.
- Porrero, J; Ramos C.; Grases J.. Manual de Concreto Fresco. Editorial Sidetur. Venezuela. 1996
- Vasiliu, D. – Direct meted for designing the optimum mix of concrete- Rilem
- Schwartz, M. Basic Engineering for Builders. Ed. Craftsman Bock Company. USA. 1993