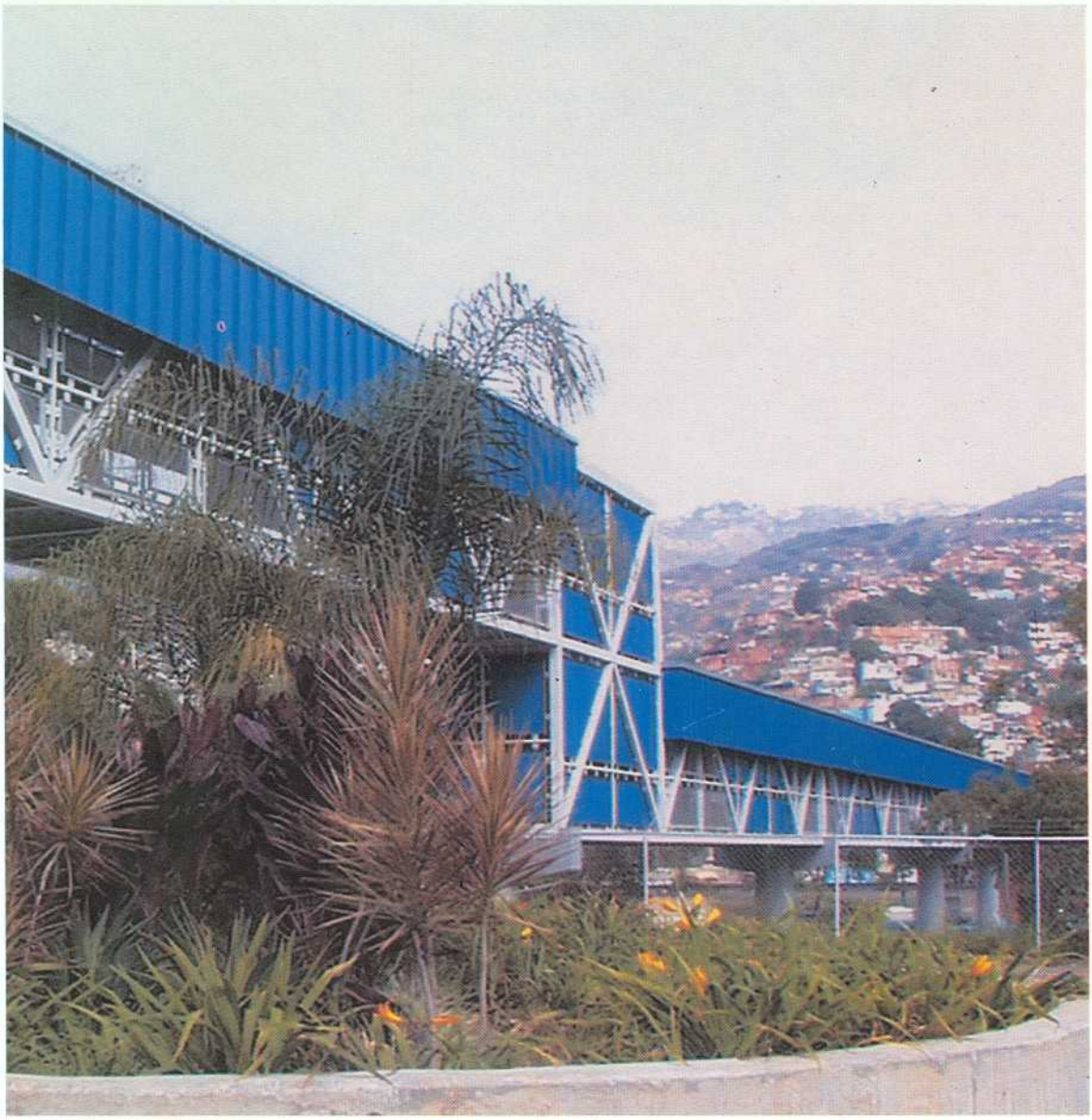
N°. 4 - 2000

# tekhne

Revista de la Facultad de Ingeniería



Universidad Católica Andrés Bello

Caracas, Venezuela

**tekhne**
**Revista de Ingeniería**

**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 Píriz 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. Píriz Pérez

Depósito legal
Pp 97-0007
ISSN: 1316-3930

Website
http://www.ucab.edu.ve/ingenieria
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

# tekhne

## Revista de Ingeniería

**Universidad Católica Andrés Bello**
**Facultad de Ingeniería**

# n° 4

SUMARIO

Editorial ..... 5

ESTUDIOS

1. Uso de las teorías de verdad para la validación de un modelo heurístico. *Roberto Vainrub* ..... 7

2. Desarrollo de un Sistema Estratégico de Planificación de Inventarios, como Soporte al proceso de Expansión de la Red Celular, en una Empresa de Telecomunicaciones. *Luis Felipe Pérez Bravini* ..... 23

3. Sistema Túy III. Pruebas de golpe de Ariete y puesta en servicio de la tercera línea. *Horacio Velasco* ..... 41

4. El SI y las Leyes sobre Pesas y Medidas. Parte I. *Joseba A. Lascurain* ..... 53

5. El SI y las Leyes sobre Pesas y Medidas. Parte II. *Joseba A. Lascurain* ..... 63

6. Diseño, ejecución e inspección de soldaduras en edificaciones según la nueva norma COVENIN-MINDUR 1618-98. *Arnaldo Gutiérrez* ..... 73

7. Un tratamiento matemático de la rigidez torsional de una planta de edificio con pórticos en direcciones arbitrarias. *M. Paparoni y P. F. Hummelgens* ..... 79

8. Elaboración de una metodología para el diseño optimizado de agencias de distribución para una empresa productora de refrescos, mediante el desarrollo de un modelo simplificado de simulación de escenarios. *E. Naranjo y A. Guerrero* ..... 87

ARTÍCULOS

1. El ingeniero Alfredo Jahn. Contribución lingüística. *Francisco Javier Pérez* ..... 101

2. Un proyecto para el estado Vargas. *Hugo Ignacio Pérez Ayala* ..... 107

# 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

Con el presente número hemos alcanzado el cuarto año de publicación de Tekhne. No ha sido fácil, y sólo gracias a la constancia y dedicación en utilizar los medios para alcanzar el fin de un grupo de profesores de nuestra Facultad, se ha hecho posible este logro.

A mediano plazo deseamos que la publicación sea semestral. Una vez que la Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones inicie sus actividades, estamos seguros que muchos de los especialistas e investigadores en este campo utilizarán esta revista como ventana para darnos sus comentarios, resultados de sus trabajos y orientaciones en ese mundo de tecnología tan profunda y cambiante como es el de las comunicaciones.

Ha sido este año un lapso intenso donde la Facultad de Ingeniería ha desarrollado actividades importantes: la celebración de Jornadas y Congresos en las Escuelas Civil, Industrial e Informática; el inicio del programa de pasantías con la Universidad de Carolina del Norte, los convenios con CANTV, con la Universidad Politécnica de Madrid y con la Asociación Hispanoamericana de Centros de Investigación y Empresas de Telecomunicaciones (AHCIET), están conformando la plataforma tecnológica para la entrada de nuestra Facultad en el siglo XXI.

A no dudar este nuevo siglo nos trae el reto de desarrollar mentalidad de innovación y de emprendedores en nuestros ingenieros, lograr que sus conceptos de internacionalización sean sólidos; establecer con ellos el compromiso de acción por una Venezuela diferente, que la ética no sea solo una palabra en sus vidas sino una forma permanente de actuar, y que encuentren la vía de generar riqueza para ellos mismos y los demás.

Gracias a todos los que han colaborado con este número de TEKHNE e invito a todos aquellos ingenieros que leen esta revista a participar con nosotros en esta ardua pero importante tarea.

# Uso de las teorías de verdad para la validación de un modelo heurístico

*Roberto Vainrub*

En este escrito se procura desarrollar una herramienta en forma de modelo heurístico conceptual que permita dar una medición del concepto de competitividad, y en particular de competitividad exportadora. Posteriormente, se somete al modelo aquí propuesto a su validación por medio de su contrastación con las principales teorías de verdad, tal como se conocen en Filosofía de la Ciencia.

Cabe reseñar que para comenzar, sería menester necesario tener una clara idea sobre lo que competitividad significa. Luego de una exhaustiva investigación bibliográfica (Vainrub 1998), el autor concluye que en la disciplina gerencial no existe un núcleo (Lakatos) compartido de lo que el término competitividad significa y propone la siguiente definición

**"Competitividad es la capacidad de adaptación que tiene una organización frente a un entorno cambiante con el fin de ser exitosa[1] en forma sostenida".**

## II.1. Demarcación gruesa del estudio-formulación de un modelo heurístico conceptual para la evaluación de competitividad de una industria

El objetivo final de este trabajo es el de procurar fomentar exportaciones de productos no tradicionales desde Venezuela, y se comenzó introduciendo el tema indicando considerando que para poder[2] exportar con éxito es necesario ser competitivos, para luego pasar a proponer una definición teórica sobre competitividad.

El próximo paso será procurar dar algunos argumentos del por qué pareciera que exportar es una actividad deseable, ***delimitando el estudio a empresas con fines de lucro***, para posteriormente procurar mecanizar el concepto de competitividad dado: **la capacidad de adaptación que tiene una organización frente a un entorno cambiante con el fin de ser exitosa en forma sostenida.**

***El enfoque es hacia empresas de carácter industrial***, definiéndolas como aquéllas que realizan un "conjunto de operaciones materiales ejecutadas para la obtención, transformación o transporte de uno o varios productos naturales" (del diccionario de la Lengua Española - Décimo octava Edición) y/o siendo más específicos, del sector manufacturero de acuerdo a la clasificación del código de la ISICA (Estándar de Clasificación Industrial Internacional).

El enfoque es del largo plazo en contraposición con exportar a corto plazo. ***El interés es éxito sostenible en el tiempo.*** Hacer exportaciones o ventas puntuales a costa del margen de comercialización o de otro tipo de concesiones, es mucho menos complicado que repetir este proceso en forma creciente y sostenida. El viejo adagio que indica que la venta se considera realizada cuando el cliente vuelve a comprar, es una de las bases de este trabajo.

El alcance de este artículo es la propuesta conceptual sobre competitividad a través de un modelo heurístico a ser contrastado en términos filosóficos frente a las principales teorías de verdad.

[1] Por ahora entenderemos éxito como la habilidad para cumplir con los objetivos de la empresa de la mejor forma posible.

[2] Ver referencia bibliográfica: Vainrub 1999 "Estrategia Exportadora"

Adicionalmente, se ofrece como anexo la formulación de un concepto definitorio de lo que se llamará índices de competitividad, los cuales se procurarán validar como concepto científico bajo el esquema Hempeliano. (1966, 1955, 1952).

## II.2. Un concepto de competitividad

Para justificar de alguna forma la importancia que tiene para un país la actividad exportadora, existen evidentes ventajas para el país relativas al crecimiento económico tales como, la nivelación de la balanza comercial, la creación de fuentes de empleo, la diversificación de fuentes de ingreso provenientes de exportaciones distintas al petróleo entre otras, las cuales no serán abordadas de acuerdo a lo planteado en la delimitación del tema a estudiar, pero que son de indudable relevancia.

Además de las ventajas macroeconómicas, que por supuesto de alguna forma benefician a la empresa y a sus integrantes, existen ventajas particulares para la industria exportadora, tales como:

a) Expandir el Mercado

b) Lograr economías de escala

c) Mejora la habilidad de competir de la firma exportadora en el mercado local

d) Compensar Estacionalidades

e) Disponer de un Flujo de Caja en moneda dura o en una mezcla de monedas

f) Pueden haber otras razones para que a la empresa le convenga exportar y que éstas no tengan un impacto inmediato en los estados financieros de la misma. Por ejemplo, para construir imagen positiva frente a la banca, a los clientes locales, a los proveedores, o al gobierno nacional que pueden redundar en importantes beneficios.

Hecha esta acotación inicial sobre algunos aspectos relativos a la importancia de exportar, se intentará dar carácter científico a la proposición anterior y ofrecer un concepto métrico de lo que puede significar el éxito como exportador para una organización con fines de lucro.

Hempel, en su libro "La Explicación Científica" (1955) establece las condiciones que debe satisfacer un concepto para ser considerado científico i.e. condiciones de adecuación. En Filosofía de la Ciencia, este autor representa en el presente la figura filosófica más citada en el tema señalado. Hempel, diferencia tres tipos de conceptos científicos: Cualitativos o Clasificatorios, Comparativos y Cuantitativos; los cuales de acuerdo a su criterio (que se adoptará en este trabajo) se enumeran en orden creciente en cuanto a su "cientificidad". Es decir, los conceptos definidos por medio de cualidades son científicos, pero menos científicos que los conceptos definidos en base a relaciones -comparativas- y a su vez menos que aquellos definidos en términos métricos.

Hempel, describe para cada uno de los conceptos antes señalados, condiciones específicas que se deben satisfacer. En este contexto, se identifican a los conceptos cuantitativos como los de mayor grado de cientificidad definiendo como uno de los requisitos a satisfacer para que un concepto sea cuantitativo, que antes haya satisfecho los requisitos establecidos para los conceptos cualitativos y comparativos. Además, otras condiciones de adecuación que se irán tratando en cada oportunidad en que se definan formalmente conceptos.

Se pasa ahora a procurar encontrar una función o modelo matemático que permita definir competitividad. Si se hace un alto nivel de abstracción, el problema se reduciría a **buscar una función de optimización del objetivo "exportar con éxito a largo plazo"**.

Entendiéndose al lucro i.e: utilidad, ganancias, como el objetivo central de las entidades organizadas para ese fin, una tendencia natural para dar una medida de éxito, sería la de formular una función objetivo que pronostique las ganancias de una empresa a largo plazo, en este caso, como función de las variables y factores a considerar a la hora de exportar.

En el caso hipotético de que la función fuese dependiente de una sola variable, este problema filosófico-matemático se reduciría a reconocer cual es esa variable - un problema epistemológico - y definir la función de "utilidades de la empresa a largo plazo" y aplicarle a dicha función las técnicas de cálculo diferencial que permiten reconocer los puntos críticos de la curva: máximo, mínimo, punto de inflexión, y definir así, el valor exacto de esta utópica función.

La realidad luce más compleja; no pareciera ser posible identificar una sola variable que sintetice todo lo que hace una empresa, por lo que la función "utilidades de la empresa a largo plazo", la cual se denota a partir de este momento como [ U ($\tau$) ], al menos dependerá de la forma más amplia de dos variables: 1) del costo del producto y 2) de los ingresos derivados de su venta.

Es decir, el primer postulado será que la competitividad de la empresa de la forma como se ha acotado, será igual a las utilidades que arroje la empresa en el tiempo. En este caso, la competitividad exportadora

(C. E.) sería la utilidad "U (τ)" que la empresa obtenga debido a la combinación de su actividad en el mercado local con su actividad exportadora, esto es:

$$C.E. = U(\tau) \qquad \text{donde } \tau = \text{tiempo}$$

Más aún, dependería del diferencial (Δ) de la utilidad de la empresa con actividad exportadora y sin dicha actividad. Pero, no se pudiera hablar de la utilidad producida directamente por la exportación, ya que la tesis es que al exportar, se afecta también la utilidad (o pérdida) de la empresa por efecto de la venta en el mercado doméstico. Por ejemplo, por efecto de exportar se pueden lograr economías de escala que reduzcan; o quizá cargos que incrementen los costos de los productos manufacturados para el mercado doméstico. También se pudiera lograr tener más rápidamente una tecnología de manufactura que mejore todos los procesos, o un nuevo diseño que guste al consumidor nacional. Todo esto, tendrá repercusión en la operación local y por ende en las utilidades de toda la empresa. Traduciendo matemáticamente en unidades monetarias se tiene:

$$C.E. = \Delta U(\tau) = U_{ce}(\tau) - U_{se}(\tau) \qquad (1)$$

donde:

C.E. = Competitividad Exportadora

$U(\tau)$ = Utilidades de la empresa en el tiempo como reflejo de la actividad total incluyendo la actividad exportadora y la actividad local

ce

$U(\tau)$ = Utilidad de la Empresa sin Exportaciones (la actividad que generaría la empresa que actúa sólo en el mercado nacional)

se

A su vez, de acuerdo a lo expuesto, las utilidades en el tiempo son función de las ventas en el tiempo y de los costos en el tiempo:

$$U(\tau) = f[V(\tau), C(\tau)] \qquad (2)$$

o al expresarlo en forma aditiva tomaría la siguiente expresión:

$$U(\tau) = \sum_{\tau=0}^{\infty} [V(\tau) - C(\tau)] \qquad (3)$$

donde:

- $V(\tau)$ sería una ecuación de las ventas de la empresa en el tiempo;
- $C(\tau)$ sería una ecuación de los costos de la empresa en el tiempo; pudiéndose profundizar el planteamiento indicando ventas producidas por las exportaciones y sus efectos en el mercado nacional y tratar a los costos de igual manera.

Se considera a la empresa en forma sistémica en término de ventas totales y costos totales y no se separarán los costos de exportar y las ventas producto de las exportaciones de los costos y las ventas asociados a la actividad doméstica. De esta forma, se expresa (1) sencillamente como:

$$C.E = U(\tau)$$

Se verá la utilidad global de la empresa y no la particularmente producida por las ventas de exportación. También se observa a la empresa en su conjunto, porque no se puede dejar de considerar el costo de oportunidad que estaría asociado en un momento dado a dejar de vender una unidad con mayor margen de utilidad en el mercado doméstico que en mercados foráneos por simple hecho de "exportar por exportar". De ahí la consideración del largo plazo, ya que en cierto período se pudiera considerar la situación de exportar puntualmente aún perdiendo, ya que esto pudiera significar "invertir" en otro tipo de variables como por ejemplo, participación de mercado, para recuperar con creces esta inversión en el futuro.

Además, se plantea que el precio de venta y el costo son variables totalmente independientes, ya que al consumidor le tiene sin cuidado cuanto cuesta producir el producto, siendo el precio una variable que depende de lo que el consumidor esté dispuesto a pagar por un cierto producto o servicio; el valor que el consumidor atribuya al producto (Kotler, 1993, 1987); Matthews y otros (1973). Evidentemente que si en forma sostenida, el consumidor paga menos que el costo del producto, la empresa desaparecerá.

El próximo paso será tratar de definir de que dependen a su vez estas dos variables: $V(\tau)$ y $C(\tau)$.

En el primer caso, se pudiera formular la siguiente pregunta: ¿Qué motiva a los compradores a comprar?.

Desde el punto de vista psicobiológico, desde la perspectiva del consumidor, la respuesta sería para satisfacer una necesidad. La necesidad pudiese ser alguna de las siguientes o combinación de varias:

- porque tiene un buen precio
- porque es más útil que cualquier otro producto para cierta función
- porque es el que está disponible en el momento
- porque tiene un mejor servicio de post-venta

- porque es de una firma prestigiosa, de una marca conocida
- porque lo vio en los medios de comunicación y lo quiere probar
- porque tiene un buen diseño
- porque le gusta el empaque
- porque es de muy buena calidad, etc.

Y por otra parte, surge inmediatamente la pregunta, ¿Qué permite que la empresa venda?.

Evidentemente que el consumidor compre, pero esto a su vez depende de un grupo muy grande de variables tales como las características del producto que se mercadea, de la estrategia de promociones y de comunicación de los beneficios del producto, de la selección de los medios publicitarios que se usen para transmitir el mensaje, de como se hagan las investigaciones de mercado, del volumen de producto que se ofrezca y de las calidades que estos presenten, de la mezcla de tamaños, empaques, colores. Además de restricciones gubernamentales, ambientales, etc., etc... y todo esto variando en el tiempo, ya que en un momento se puede adoptar una mezcla de estrategias que se vayan modificando a través del tiempo.

Es decir, se buscan una combinación de estrategias que en el largo plazo, procure la mayor utilidad desde el punto de vista económico a la empresa.

En la Figura II.2 se puede observar gráficamente lo que sería la función utilidad en el tiempo, entendiéndose convencionalmente la utilidad $U(\tau)$ como la diferencia entre las ventas de una empresa y sus costos asociados. Se ve en la gráfica, que se está en presencia de una función continua y de esta forma se define que máxima utilidad en el tiempo y competitividad es lo mismo. En términos de la Investigación de Operaciones (Hillier and Lieberman, 1995) se traduciría en:

**SE DEFINE COMPETITIVIDAD DE UNA EMPRESA CON FINES DE LUCRO COMO:**

$$\text{COMPETITIVIDAD} = \text{MAXIMIZAR}\{U(\tau)\} = \text{MAX}\left\{\int_0^{\infty}[V(\tau) - C(\tau)]d\tau\right\} \quad (4)$$

donde: $V(\tau)$ = Ventas en el tiempo

$C(\tau)$ = Costos en el tiempo

Como se indicó, tanto la ecuación $V(\tau)$ como $C(\tau)$ son a su vez función de un número indeterminado de variables, lo cual imposibilita la resolución de (4) por métodos tradicionales.

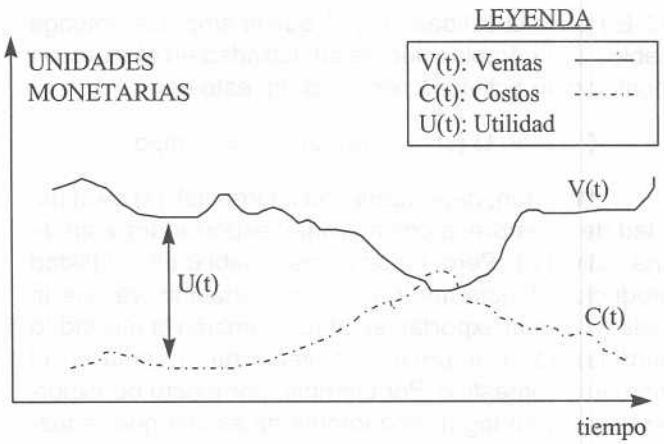



**FIGURA II.2**
**UTILIDADES EN EL TIEMPO**

## II. 3. EL CUBO DE LA COMPETITIVIDAD -UNA PROPUESTA-

En la revisión bibliográfica para este trabajo no se ha encontrado ningún enfoque parecido al ofrecido en (4), lo cual posiblemente afirma que aunque pareciera un camino bastante formal, el problema se vuelve demasiado complicado y pierde practicalidad, ya que maximizar la ecuación propuesta implicaría definir una función del tipo "todas las variables que hacen que se produzca una venta" incluso variables que pudieran estar en el inconsciente del individuo que compra y "todas las variables del costo". Aquí se encuentra un nuevo problema filosófico, ya que en el tiempo surgirán variables de costo o de ventas que ni siquiera hoy existen.

Se pueden proponer distintas formas de procurar dar alguna solución al problema indicado en (4), aunque las alternativas de solución necesariamente no lleven hacia la solución óptima. La búsqueda en este momento es la consecución de una buena solución, la mejor que se pueda aportar en este trabajo. Se pueden dar distintos enfoques a este problema, uno de ellos sería mediante la investigación de la aplicación de los conceptos de Algoritmos Genéticos (Mitchell, 1997), a la capacidad de adaptación de la empresa a su medio ambiente. Se ha decidido dejar este enfoque para futuras investigaciones porque representa una desviación muy importante respecto a esta proposición además de que no la compromete de ninguna forma. Otro enfoque sería el de pretender dar respuesta a priori a la interrogante planteada para posteriormente validarla. Para ello, se adaptará la modalidad reseñada por el filósofo de la Ciencia Karl R. Popper (Newton - Smith 1981), lanzando la siguiente hipótesis :

Si se obvian factores del entorno de la empresa, *una industria eficiente desde el punto de vista tecnológico, comercial y organizacional será una empresa competitiva.*

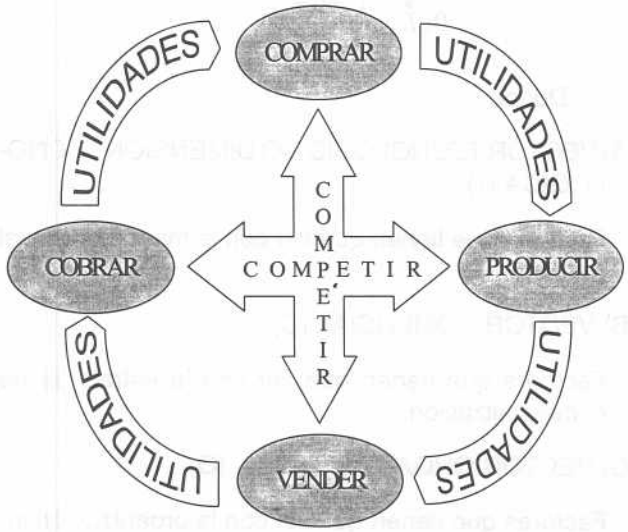



**FIGURA II.4**
**CICLO DE CONVERSION INCLUYENDO VALOR**

La figura II.4 describe de alguna forma las actividades fundamentales realizadas por una empresa manufacturera en su ciclo clásico de conversión. Es intuitivo pensar que mientras más eficiente sea la empresa en todas las áreas, más valor generará en cada uno de sus ciclos de conversión, o más rápido realizará dichos ciclos; la relación input (entrada) / output (salida) será mayor, lo cual en resumen significa que la empresa dará mayores utilidades en el tiempo. A su vez, estas actividades están íntimamente relacionadas entre si, ya que al realizar una de ellas con menor o mayor eficiencia pudiera afectar dramáticamente el desempeño de la otra, lo que haría pensar que hacer bien todas las actividades implica de alguna forma cuan eficiente puede ser la empresa y cuan competitiva es. Pero, además de hacer bien las actividades por separado, debe haber un magma que cree el sentido de causa común sistémica que permita dirigir todos los esfuerzos hacia un objetivo común.

Pero ¿Cuáles son las herramientas que tiene la empresa para realizar estas funciones?, el modelo planteará más adelante que las armas conque la industria puede competir son de carácter comercial, de carácter tecnológico y de carácter organizacional.

La hipótesis indica que las dimensiones antes citadas incluyen todos los aspectos necesarios para el éxito del exportador y que no hay otras variables controlables por la empresa que afectan su competitividad intrínseca.

Pronto se tratará de elucidar lo expuesto y se dejará la falsación de estas ideas a quienes lean estas proposiciones.

En forma empírica, se enumeran en forma ilustrativa algunos de los factores críticos para una actuación exitosa de la empresa. Estos factores se enumeran de acuerdo a la experiencia del autor y en principio a criterios de evaluación de competitividad de la empresa usados por:

1. El Modelo de Porter (Porter, 1990)
2. "La Norma Venezolana, Guía de Evaluación de la Gestión Tecnológica en Organizaciones Industriales COVENIN" (1989)
3. La Metodología de Evaluación usada por el Instituto de Comercio Exterior (ICE) en el Concurso "Venezuela Exportadora". (1994)

Esto equivaldría a definir en forma extensional todos los aspectos a considerar a la hora de exportar.

Sin seguir ningún orden definido, la competitividad de una empresa de carácter industrial estará relacionada íntimamente a las siguientes variables: PRECIO, VALOR AGREGADO, CALIDAD, ENTRENAMIENTO DEL PERSONAL, ADUANAS, PERMISOLOGIA ASOCIACIONES ESTRATEGICAS, FINANCIAMIENTO, FILOSOFIA EXPORTADORA, CAPITAL HUMANO, CANALES DE DISTRIBUCION, INVESTIGACION Y DESARROLLO, RELACIONES CON EL ENTORNO, COMPETIDORES, COSTO, APROVECHAMIENTO DE ASISTENCIAS AL EXPORTADOR, SEGUROS, PATENTES, CONTRATOS DE TECNOLOGIA, MATERIAS PRIMAS, INDUSTRIAS RELACIONADAS Y DE APOYO, CAPACIDAD DE LA PLANTA, SERVICIO DE POST-VENTA, ORGANIZACIÓN INTERNA, RELACION CON EL AMBIENTE ECOLOGICO, EMPAQUES Y EMBALAJES, METODOS DE MANUFACTURA, LA PROPIEDAD INDUSTRIAL, INVESTIGACION DE MERCADO, LINEAS DE PRODUCTOS, LINEAS DE PRODUCCION,POLITICAS CREDITICIAS, CALIDAD DE LOS PROVEEDORES, INVERSIONES, SELECCIÓN DE MERCADOS, DIVERSIFICACION DE MERCADOS, SISTEMAS DE INFORMACION, PROCEDIMIENTOS ADMINISTRATIVOS, CAPACITACION DE LOS RECURSOS HUMANOS, COMPENSACION, ETC., ETC.

Es de hacer notar, que no se han mencionado factores externos o del entorno, tales como paridad cambiaría, conducta de la economía mundial, costo del capital, subsidios, etc

Con seguridad habrán muchísimos miembros de la clase "aspectos a considerar para tener éxito exportando" que no se han señalado, por ello, se afirma que el dominio es más amplio que el antes indicado, es de-

cir, no es una partición completa ni representan todos los aspectos a considerar para tener éxito como exportadores, sin embargo se considera que el universo descrito es lo suficientemente amplio para servir de base para eventualmente formular estrategias que nos permitan ser competitivos como exportadores. Es de hacer notar que estas variables están en coincidencia con los factores considerados en el módulo anterior.

A fin de dar organización y estructura a los factores antes señalados para el éxito exportador de las industrias, se propone la clasificación de estos factores bajo un esquema de modelo analítico (Buffa, 1973) en las siguientes tres dimensiones:

A) LA DIMENSION TECNOLOGICA
B) LA DIMENSION COMERCIAL
C) LA DIMENSION ORGANIZACIONAL.

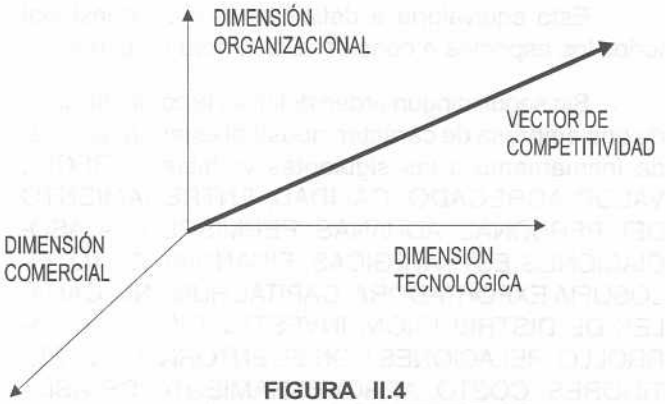



**FIGURA II.4**
**VECTOR DE LA COMPETITIVIDAD**

Al clasificar todas las variables que afectan el desempeño intrínseco de la empresa de la forma propuesta, se observa que las tres dimensiones interactúan y se soportan entre si de forma de mostrar el efecto sinergético que se da lugar en la dinámica industrial y en este caso, en la dinámica competitiva exportadora de la organización. En este sentido se pudiese visualizar un modelo espacial que se titulará "El cubo de la competitividad industrial", y que se explica con detalle más adelante.

En principio, se parte de un modelo vectorial tridimensional donde la interrelación entre las tres macrovariables seleccionadas se refleja en su suma vectorial. En efecto, la suma es una suma geométrica en la cual el efecto marginal de cada vector siempre suma sobre el resultado. A este vector se le denominará en adelante DINAMICA COMPETITIVA EXPORTADORA y estará definido como:

$$\overrightarrow{DCE} = \sqrt{\left(\begin{matrix}VECTOR\\TECNOLOGICO\end{matrix}\right)^2 + \left(\begin{matrix}VECTOR\\COMERCIAL\end{matrix}\right)^2 + \left(\begin{matrix}VECTOR\\ORGANIZACIONAL\end{matrix}\right)^2}$$

en contraposición a un modelo de variables independientes en el cual el resultado vendría dado por el promedio aritmético de sus variables:

$$\overrightarrow{DCE} = \frac{\vec{\tau} + \vec{C} + \vec{O}}{3}$$

Donde:

A) VECTOR TECNOLOGICO O DIMENSION TECNOLOGICA ($\tau$):

Factores que tienen que ver con la manufactura del producto.

B) VECTOR COMERCIAL (C)

Factores que tienen que ver con la estrategia de comercialización.

C) VECTOR ORGANIZACIONAL (O)

Factores que tienen que ver con la organización interna de la empresa, además, se incluiría aquí todo lo que no se clasificó como tecnológico o comercial y de esta forma se resolverá el problema clasificatorio de adecuación formal ya que cada factor cae en alguna clasificación interna de la empresa.

Bajo la clasificación propuesta se pudieran agrupar cada uno de los aspectos definidos extensionalmente en el dominio del universo antes descrito así como cualquier otro que no haya sido definido o incluso, cualquier otra variable que en este momento no exista y aparezca en el futuro.

Nuevamente refiriéndose a Hempel, se considera ésta, una clasificación válida de los objetos de un dominio dado, ya que satisfacen al menos dos criterios. En primer lugar, cada objeto satisfacerá -al menos en la forma en que se definieron- cada uno de los criterios clasificatorios seleccionados: Organizacional, Tecnológico o Comercial y en segundo término, en conjunto estarán representados todos los miembros del Dominio -recordando que el Vector Organizacional por definición incluye todo lo no clasificado como Tecnológico o Comercial-.

Pudieran existir varios aspectos que estuviesen incluidos en más de un subconjunto o clase, éstos serían conjuntos difusos o "fuzzy" tal como es el aspecto "calidad" el cual pudiese pertenecer a todas las clases propuestas. Se pudiera decir que el aspecto calidad es tecnológico, pero también organizacional y/o comercial, sin embargo, se incluirá a cada individuo de forma de que pertenezca a aquella clase que en concepto del analista mejor lo represente.

**La hipótesis será que una industria estará bien posicionada para competir con éxito en forma sostenida en el campo de las exportaciones si presenta un buen nivel de calificación en el tiempo en los tres vectores señalados**. La Figura II.5, es la traducción gráfica de esta hipótesis. Se deja para más adelante la tarea de definir en cada oportunidad, si hará falta dar niveles distintos de importancia a las variables: Organizativa, Comercial o Tecnológica, de acuerdo al sector manufacturero a que se haga referencia. Se procurará en el Apéndice diseñar un índice que permita tratar indistintamente a diferentes sectores industriales.

En resumen, se está en la búsqueda de una expresión heurística de la función matemática de competitividad (utilidad) propuesta en (4) y a su vez, entender un poco mejor la vinculación que existe entre las variables que definen la competitividad de una empresa. No es la intención en este momento matematizar o econometrizar un modelo, sino más bien se va en búsqueda de un modelo conceptual que permita comprender mejor un estado deseado de competitividad.

LA DINAMICA COMPETITIVA EXPORTADORA

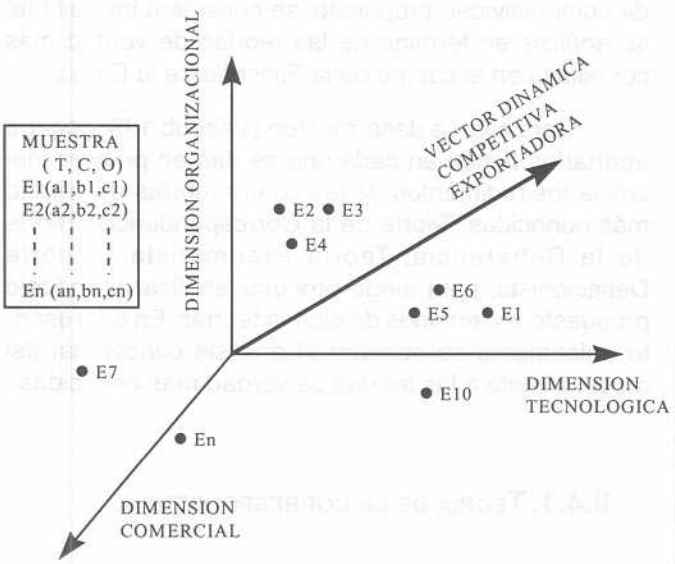



**FIGURA II.5**

Muchos estarán tentados a dar ponderación en el peso a alguna dimensión. En criterio del autor, a esta altura, no se considera conveniente porque se estima que se dejaría de ser objetivos o se perdería precisión al hacerlo, obteniendo un sesgo de acuerdo al criterio del evaluador. Un claro ejemplo es el de la materia prima barata como ventaja comparativa. El Japón ha dado en diversas oportunidades una excelente muestra de liderazgo en áreas como el acero, sin ventajas comparativas en relación al costo de la materia prima. Venezuela ha sido muchas veces ejemplo de lo contrario. Aguas arriba el país ocupa importantes posiciones en los sectores Petróleo, Hierro, Aluminio y Oro, por citar unos pocos. Aguas abajo en los sectores petroquímico, metalmecánico, manufactura de aluminio y manufactura de joyas, no sucede lo mismo (Vainrub 98).

Si se particulariza, seguramente se encuentra éxito exportador basado en una gran ventaja en alguna de estas dimensiones, pero intuitivamente no pareciera factible ser exitosos sin tener al menos un nivel competitivo mínimo en las otras dimensiones. De cualquier forma, ésta será una de las premisas del modelo, es decir, un alto nivel de competitividad requiere de una buena calificación en cada una de las dimensiones.

En el afán de buscar universalidad, no se hará distinción previa en cuanto a peso entre las tres dimensiones propuestas.

De forma de operacionalizar el modelo, se otorga una puntuación máxima de por ejemplo 10 puntos a cada uno de los ejes cartesianos, con lo cual el punto máximo (C,T,O) será el (10,10,10). Es decir, la calificación máxima o "empresa más competitiva" o "empresa mejor posicionada para exportar" será la que en teoría llegase al punto más alejado del origen, el de máxima calificación, que por definición se ubica en (10,10,10) en el espacio tridimensional (Figura II.5) DCE max (10,10,10). Donde DCE es Dinámica Competitiva Exportadora

Para ello se requiere diseñar evaluaciones, cuya máxima calificación será en cada caso 10, al desempeño de una empresa en los aspectos Comercial, Tecnológico y Organizacional.

De la forma que tome el mecanismo de evaluación, el criterio del evaluador y de otros factores que implican cierta imprecisión dependerá el resultado que se obtenga en la evaluación. Evidentemente se recomienda un mecanismo que pueda evaluar de la forma más objetiva el estado de cada una de estas variables, pero se debe reconocer, que en el mejor de los casos serán aproximaciones a una medición óptima, por lo cual se sugiere que en vez de dar calificaciones con precisión infinitesimal, se procuren entornos clasificatorios donde sean elementos comparativos los que se usen para calificar el grado de posibilidad de éxito de una empresa.

Bajo este esquema, el modelo sería en exceso absolutista, cuando en el mejor de los casos se espera que sea útil y que en ningún caso pretende ser infalible, por lo que se prefiere presentar en vez de resultados absolutos, rangos de resultados. Por ello, se propone el modelo de la Figura II.6 que se ha decidido llamar el **"Cubo de la Competitividad Industrial"**.

En el modelo así propuesto, en primer lugar se tiene que diseñar una herramienta que permita medir cada una de las dimensiones establecidas en forma escalar.

Hecha esta aclaratoria, se pasa a describir brevemente el modelo de la Figura II.6.

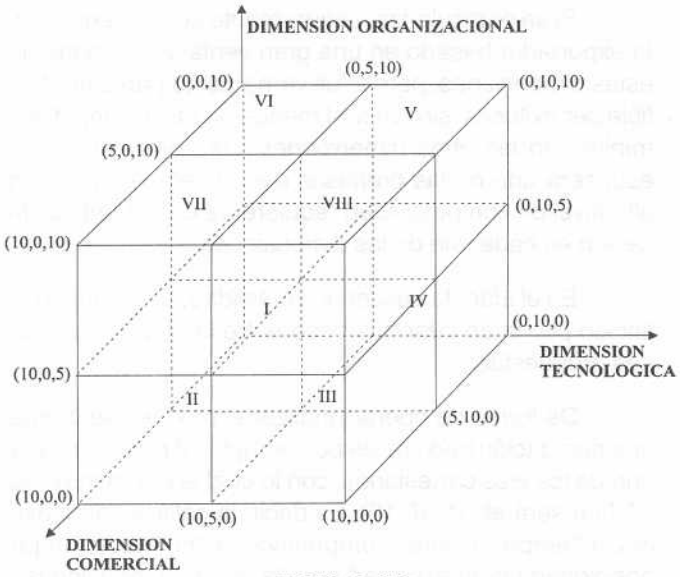



**FIGURA II.6**
**CUBO DE LA COMPETITIVIDAD INDUSTRIAL**

Se podrá observar que el Cubo está dividido en ocho[3] pequeños cubos de idénticos volúmenes. Una vez obtenida la evaluación de cada una de las dimensiones, se califica al mismo como alto o bajo (pasado/aplazado; bien/mal; 1/0) si su calificación en la prueba individual fue mayor o menor a 5 respectivamente, de esta forma se puede distinguir el siguiente cuadro (Figura II.7):

| EMPRESA TIPO | COMERCIAL | TECNOLOGICA | ORGANIZACIONAL | NIVEL DE COMPETITIVIDAD |
|---|---|---|---|---|
| I | Bajo | Bajo | Bajo | Nulo |
| II | Alto | Bajo | Bajo | Bajo |
| III | Alto | Alto | Bajo | Medio |
| IV | Bajo | Alto | Bajo | Bajo |
| V | Bajo | Alto | Alto | Medio |
| VI | Bajo | Bajo | Alto | Bajo |
| VII | Alto | Bajo | Alto | Medio |
| VIII | Alto | Alto | Alto | Alto |

**FIGURA II.7**
**CLASIFICACION DEL NIVEL DE COMPETITIVIDAD**

Así se obtienen ocho estados de competitividad y cuatro calificaciones básicas para el nivel de competitividad, de acuerdo al sector del cubo donde se ubique la punta del vector sumatoria de las clasificaciones de los tres (3) vectores definidos.

El modelo así descrito, permitirá a una empresa autoevaluar su nivel de competitividad; comparar su nivel de competitividad contra otras empresas del sector en caso de que los datos sobre las otras empresas estén disponibles; comparar distintos niveles de competitividad de la empresa en el tiempo; tomar acciones correctivas en determinadas áreas que le permitan ser más competitivas en el futuro, hacer planes de compensación gerencial basados en los resultados sectoriales; así como una cantidad de otras aplicaciones que la creatividad del gerente derive de este modelo.

## II.4. Analisis del modelo del "cubo de la competitividad" en terminos de algunas teorias de verdad

A los fines de dar sustento conceptual al modelo de competitividad propuesto, se consideró interesante su análisis en término de las teorías de verdad más conocidas en el campo de la Filosofía de la Ciencia.

Para ello, se desarrollaron (Vainrub 1998) cuatro apartados donde en cada uno se dan en primera instancia los rudimentos de las cuatro teorías de verdad más conocidas: Teoría de la Correspondencia, Teoría de la Coherencia, Teoría Pragmatista y Teoría Deflacionista; para luego procurar analizar el modelo propuesto en términos de dichas teorías. En este escrito únicamente se muestra el análisis conceptual del modelo frente a las teorías de verdad más conocidas.

### II.4.1. Teoria de la correspondencia

- EL CUBO DE LA COMPETITIVIDAD EN TERMINOS DE LA TEORIA CORRESPONDENTISTA DE LA VERDAD

Para el modelo de la competitividad es evidente que al definir competitividad de la manera como se hizo "la capacidad de adaptación que tiene una organización frente a un entorno cambiante con el fin de ser exitosa en forma sostenida" y considerando que en en-

[3] Se pudo haber dividido el cubo en mayor cantidad de volúmenes (igual al número de particiones elevadas al cubo; por ejemplo, si partimos en 3 cada dimensión tendríamos 27 cubos) de acuerdo al nivel de precisión conque se quiera trabajar en las evaluaciones. Esto se deja al criterio de los posibles usuarios de este modelo.

tidades con fines de lucro el "éxito" se mide como la maximización de las utilidades de la empresa en el tiempo, es evidente que en el más estricto sentido de la palabra, se ha definido en forma absolutista lo que competitividad quiere decir, y sólo existe una única respuesta óptima a este problema.

$$\text{MAXIMIZAR CE} = \text{MAXIMIZAR U}(\tau) = \text{MAXIMIZAR } \{\int_{0}^{\infty}[V(\tau)-C(\tau)]d\tau\} \quad (4)$$

Donde (4) sería la relación correspondentista asignada al problema de competitividad. Pero, así como se ha indicado anteriormente, no se cuenta con la herramienta matemática para ofrecer la solución óptima a este complejo problema.

Se busca el auxilio de otra herramienta que se acerque a esa verdad y como acercarse a la verdad implica muchas respuestas y por ello, la introducción de sesgos relativistas, el Cubo de la Competitividad no se adecuará materialmente a la teoría de la correspondencia, ya que el resultado óptimo del Cubo (10,10,10) (o más bien su ubicación en el octante # VIII), no necesariamente se corresponderá con el estadio de mayor competitividad que pueda alcanzar una empresa.

El modelo tampoco se adecuará formalmente a esta teoría de verdad porque el modelo presenta la paradoja de que una misma empresa en dos momentos distintos de su historia obtenga la calificación "óptimo", desde el punto de vista de la definición de competitividad, es decir, conseguir la misma calificación máxima que se obtiene en el Cubo, a pesar de no estar en el verdadero "óptimo" en ninguna oportunidad. Es decir, con dos arreglos totalmente distintos, el modelo puede arrojar el mismo resultado para ambos casos.

El modelo si está en línea con la teoría de la correspondencia en el sentido de que en caso de haber seleccionado adecuadamente los medios de evaluación de cada uno de los vectores, permitiría hacer un juicio al comparar dos empresas y emitir una sentencia donde en base al resultado obtenido por cada uno en la evaluación propuesta, se diga que una de ellas es más competitiva que la otra, lo cual es un juicio que se puede hacer a la luz de la Teoría Correspondentista, mientras que si la prueba fuese aplicada a dos juicios de hechos aislados, no se pudiera decir que uno se acerca más a la verdad que otro.

Quizá uno de los aspectos más importantes de una teoría correspondentista de verdad es definir explícitamente una asignación. En este caso se considera que el cubo de la competitividad está en línea con la teoría de Tarski en el sentido de que el mismo define la relación de correspondencia, asignando una metodología específica para definir que es una empresa competitiva. Para ello, usa un lenguaje formal y completo que define de manera explícita la relación de correspondencia. Evidentemente esto es válido por ahora únicamente en su forma más primaria, porque aún no se ha definido que significa aprobar las evaluaciones de los vectores Tecnológico, Comercial y Organizacional respectivamente.

Por otra parte, a pesar de que por la forma como se define competitividad originalmente, no se da pie para la formación de paradojas ya que se usa un lenguaje formal y preciso. Por otra parte, si se tendrían problemas con la extensión de Field a la teoría de Tarski, ya que en términos causales no es del común denominador el entendimiento del uso de la palabra competitivo(a). Es decir, existen muchas interpretaciones de lo que competitivo significa, incluso para audiencias especializadas. Es por ello, que al procurar no utilizar lenguajes naturales se pretende evitar caer en problemas de esta índole.

Luego, se concluye que con las excepciones antes indicadas, a la luz de la Teoría correspondentista de la verdad, ***el Modelo del Cubo de la Competitividad ofrece una herramienta útil para contrastar entre distintos estadios de competitividad.***

### II.4.2. Teoria coherentista de la verdad

- EL CUBO DE LA COMPETITIVIDAD EN TERMINOS DE LA TEORIA COHERENTISTA DE VERDAD

El argumento holista a nivel mental es que existe un todo y en términos de la teoría coherentista de la verdad, el significado de verdad es coherente con la estructura general de creencias sobre el entendimiento del universo como un todo, que es más que la suma de las entidades individuales que lo componen, lo cual se expresa en la concepción espacial y vectorial del modelo del Cubo de Competitividad Industrial.

La idea en este caso sería la de probar que el sistema de proposiciones o enunciados del Cubo de la Competitividad son consistentes o coherentes con un conjunto de creencias que son verdaderas. Bajo esta teoría de verdad, sería particularmente interesante procurar justificar deductivamente la proposición o hipótesis de este trabajo.

Para ello, se procura traducir a lenguaje lógico formal esta hipótesis; una empresa es competitiva si simultáneamente ella es eficiente en las tres dimensiones que fueron definidas previamente. Y definimos a una empresa como eficiente en cada uno de estos aspectos, si la misma aprueba una cierta auditoría o evaluación que se diseñará para cada uno de estos aspectos.

Traduciendo al lenguaje de la lógica deductiva proposicional (Deaño, 1983), (Echevarría, 1989):

**SI:**

**T** = Empresa Tecnológicamente eficiente
**M** = Empresa Comercialmente (Mercadotécnicamente) eficiente
**O** = Empresa Organizacionalmente eficiente
**C** = Una empresa competitiva[4]

| | | |
|---|---|---|
| 1) | $(T \wedge M \wedge O \rightarrow C$ | Pr |
| 2) | $P \rightarrow T$ | Pr |
| 3) | $Q \rightarrow M$ | Pr |
| 4) | $R \rightarrow O$ | Pr |
| 5) | $P \wedge Q \wedge R$ | Pr |
| 6) | P | S5 |
| 7) | Q | S5 |
| 8) | R | S5 |
| 9) | T | P2,6 |
| 10) | M | P3,7 |
| 11) | O | P4,8 |
| 12) | $T \wedge M \wedge O$ | A9,10,11 |
| 13) | C | PP1,12 |

A continuación se explica el argumento deductivo.

1) $(T \wedge M \wedge O) \rightarrow C$ Pr

La premisa inicial indica que para que una empresa sea competitiva es condición necesaria que simultáneamente se cumpla T, M y O. La verdad de esta premisa es la hipótesis. El planteamiento pudo haberse hecho utilizando la bicondicionalidad, donde se hubiese señalado que la relación es válida en ambos sentidos y la condición necesaria y suficiente; sin embargo se deja de esta forma porque la expresión original traduce mejor el texto de la hipótesis ofrecida

2) $P \rightarrow T$ Pr

La segunda premisa es que para ser T (tecnológicamente eficiente), una empresa debe cumplir, o aprobar un mecanismo de evaluación tecnológica P.

Haciendo un paralelismo el instrumento evaluatorio se pudiera comparar las evaluaciones propuestas por la Norma ISO 9000. Para la fecha que esto se escribe, ISO 9000 representa el estado del arte y la norma más ampliamente aceptada a nivel mundial para definir un criterio estándar en relación al tema aseguramiento de sistemas de calidad entre empresas de distintos tipos. Al tener la aprobación de la Auditoría ISO 9000 se puede asumir que la organización en análisis tiene un sistema de aseguramiento de calidad. No se debe entender como que quienes tienen ISO son exitosos o que sus productos tienen una excelente calidad, sino más bien como que tienen mayor probabilidad de tener éxito que si son sometidos a las pruebas de la evaluación ISO y no son aprobados. Evidentemente, esto sólo sería para efectos didácticos y de entender lo que esta premisa pudiera significar, ya que calidad, sería únicamente una de las variables de la dimensión tecnológica.

3) $Q \rightarrow M$ Pr

Esta tercera premisa significa que para ser M (comercial o mercadotécnicamente eficiente), una empresa debe aprobar un cierto mecanismo que evalúe la función comercial de una empresa. Para ello se propondría utilizar como referencia los difundidos criterios utilizados por el autor Kotler (1993), quien muy probablemente es la autoridad mundial más destacada en el área de mercadeo desde el punto de vista académico, siendo sus libros de texto los mayoritariamente utilizados por las escuelas de administración de negocios en todas partes del mundo. La verdad de esta premisa sería la universalidad en el uso de los conceptos Kotlerianos de estrategias de la mezcla de mercado o "marketing mix".

4) $R \rightarrow O$ Pr

Esta nueva premisa significa que para ser una empresa eficiente desde el punto de vista organizacional O, es necesario aprobar una cierta evaluación R.

5) $P \wedge Q \wedge R$ Pr

Esta premisa es la suposición original y su verdad sólo se puede hallar en la práctica gerencial y en la experiencia de no conocer empresas verdaderamente competitivas en ambientes de alta competencia que no sean eficientes en los tres aspectos. Se ha dicho que de acuerdo al sector industrial donde se desenvuelve la empresa, se puede encontrar que es más importante ser muy eficiente en algún aspecto más que en otro; lo que también se dijo es que no es factible ser competitivo y a su vez ser particularmente poco eficiente en alguno de estos parámetros.

[4] Se recordará que por efecto clasificatorio se han incluído todas las actividades de la organización en alguna de las tres dimensiones o vectores que se dieron por denominar Tecnológico, Comercial u Organizacional. Es decir, ser eficiente en cada una de las partes implicaría ser eficiente en el todo. Esto puede traer alguna argumentación de tipo conceptual, la cual no se pretende abordar, simplemente es la hipótesis propuesta. En el diseño de la herramienta para definir la evaluación de estos vectores en términos de su eficiencia, el analista incluirá lo que se considere la mejor forma de medirla, hasta que con el uso y el tiempo quizá se pueda llegar a un concenso de lo que eficiencia en este contexto pueda significar.

| | | |
|---|---|---|
| 6) | P | S5 |
| 7) | Q | S5 |
| 8) | R | S5 |

Aplicando el método de la simplificación a (5) obtenemos (6), (7) y (8) respectivamente (de P∧Q ∧ R se infiere P, Q y R).

| | | |
|---|---|---|
| 9) | T | P2,6 |
| 10) | M | P3,7 |
| 11) | O | P4,8 |

Aplicando el Modus Ponendo Ponens[5].

| | | |
|---|---|---|
| 12) | T ∧ M ∧ O | A 9, 10, 11 |

Por adjunción de T, M y O podemos inferir que T ∧ M ∧ O

| | | |
|---|---|---|
| 13) | C | PP 1, 12 |

Aplicando Ponendo Ponens a 1 y a 12 podemos inferir que C, o lo que es lo mismo que **una empresa eficiente desde el punto de vista Tecnológico, Comercial y Organizacional, es una Empresa Competitiva.**

Más elegante hubiese sido poder concluir con la premisa Nº. 1 en contraposición con plantearla como premisa para demostrar el antecedente. Se procuró hacer este ejercicio pero no nos fue posible demostrar (1) de la forma propuesta. Aquí se cae en un error que ha sido repetido en múltiples oportunidades[6], demostrar el consecuente a partir de una premisa que intuimos como verdadera.

Con el ejercicio mostrado, no se cree haber demostrado que la hipótesis es verdadera, sino más bien que es coherente con las premisas propuestas, por lo cual se puede concluir que el ***cubo de la competitividad es coherente bajo esta teoría.***

### II.4.3. El pragmatismo

• EL CUBO EN TERMINOS DEL PRAGMATISMO

El Cubo cumple con las dos condiciones formales de adecuación del Utilitarismo desde la perspectiva del Pragmatismo como Teoría de Verdad.

1.- Utilidad Conductual: Adoptar el Cubo como modelo de competitividad nos sirve de base para autoevaluar la posición competitiva de la empresa frente a un estado más deseable y ejecutar cambios específicos que nos llevan a ser más competitivos.

2.- Utilidad Cognitiva: El modelo del Cubo de la Competitividad presenta ***utilidad cognitiva***, pues aún cuando sabemos que la competitividad no es "cúbica" nos permite formular una teoría que nos ayuda a ubicarnos en forma escalar frente a una herramienta útil desde el punto de vista didáctico para esclarecer en algo el concepto de competitividad.

***En conclusión, el Cubo de la Competitividad está en línea y es verdadero a la luz de la Teoría Pragmatista de la verdad.***

### II.4.4. Teoria deflacionista

En este caso el concepto de verdad está completamente determinado por la función lingüística o gramatical que cumple en el lenguaje la palabra verdad.

En sentido estrictamente del entendimiento del lenguaje, sería idéntico decir "el cubo de la competitividad aporta un nuevo enfoque al concepto de competitividad" que decir " **es verdad que** el cubo de la competitividad aporta un nuevo enfoque al concepto de competitividad" ; pero si lanzamos la proposición "el cubo de la competitividad **es verdadero**" al quitarle "es verdadero" quedaría "el cubo de la competitividad" lo cual es evidentemente distinto a la proposición inicial. Esto es lo que se conoce como el uso ciego y es precisamente donde encontramos una dificultad; sin embargo, para quién escribe, más que una teoría de verdad, el deflacionismo, es una teoría que trata sobre la pragmática de la palabra ***verdad*** más que de su semántica. Aunque ello es interesante e importante, no resuelve el problema central de esta búsqueda. En este sentido, ***no pareciera plausible el análisis del modelo de competitividad a la luz de la Teoría Deflacionista.***

***Se concluye este análisis indicando que el cubo de la competitividad presentado en este trabajo, en líneas generales es verdadero a la luz de las tres teorías más importantes de verdad en uso actualmente en Filosofía de la Ciencia.***

[5] De afirmar el consecuente afirmando el antecedente.

[6] Por ejemplo: Descartes en su discurso del método, arranca con la hipótesis de que Dios existe, para posteriormente demostrar su existencia utilizando metodología de la lógica.

# APENDICE

## FORMULACIÓN DEL CONCEPTO DEFINITORIO DE LOS INDICES DE COMPETITIVIDAD Y SU VALIDACIÓN FRENTE A LAS CONDICIONES FORMALES DE ADECUACIÓN EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

El Cubo de la Competitividad propone la búsqueda de un mecanismo de evaluación para cada uno de los vectores que lo componen. Este sistema de evaluación debe arrojar en cada caso, un resultado escalar, cuyo rango esté comprendido entre uno y diez. De la forma como se define, el resultado debe estar en el campo de los números racionales sin importar que sea entero o fraccionario.

En este momento, el propósito del trabajo es dar un índice conceptual para efectuar estas mediciones. De ninguna forma se pretende dar la idea que el índice que se proponga será el único o el mejor método para otorgar valor a las dimensiones que componen el Cubo.

Se propone el siguiente índice para medir o dar valor a las distintas dimensiones que componen el Cubo de la Competitividad.

INDICE DE COMPETITIVIDAD = I.C.

$$I.C.=\left[\left|\frac{10\sum_{i=1}^{n} Xi\ Yi}{m\sum_{i=1}^{n} Yi} + 0.5\right|\right]$$

Donde:

I.C. = Indice de Competitivad
n = Número de preguntas que tiene la evaluación
m = Calificación máxima de cada pregunta de la evaluación
X = Calificación o puntuación de la pregunta número i de la evaluación
Y = Importancia relativa de la pregunta para el sector industrial donde se desempeña la empresa evaluada.

Se comenta a continuación la estructura del índice para luego describir el sistema de valoración propuesto:

a)

a.1) $10\sum_{i=1}^{n} XiYi$

El producto X.Y permite ponderar la importancia de la calificación obtenida por la empresa en la pregunta Xi, en base al grado de importancia Yi, que la variable tenga para el sector industrial donde se desempeña la empresa.

El signo $\Sigma$ se emplea para conseguir el resultado total de la empresa en la evaluación ponderada en base a su grado de importancia y el factor 10 se usa para eventualmente llevar el resultado a un valor entre 0 y 10 por razón de que en criterio del autor, un resultado entre 0 y 10 es de mayor facilidad de manejo que uno entre 0 y 1, u otro rango.

a.2) $m\ \Sigma\ Yi$

Siendo m la evaluación máxima que puede tener cada pregunta $m\ \Sigma\ Yi$ dará el resultado máximo que se puede obtener en la calificación; por lo tanto, al dividir el numerador entre este denominador se estará en primer lugar obteniendo un resultado entre 0 y 10, y en segundo lugar y de mucha mayor importancia, permitiendo que se puedan comparar resultados de competitividad entre empresas de distintos sectores industriales, y a su vez, permitiendo la posibilidad que cualquier empresa obtenga la calificación máxima, aún teniendo distintas preguntas diferentes niveles de importancia para cada sector.

a.3) $\left[\left|\ \frac{}{}\ + 0.5\right|\right]$

La fórmula propone expresar el resultado del índice como un entero. La razón nuevamente es por hacer más práctico su uso, ya que el grado de precisión de la evaluación no amerita el uso de decimales, para ello, se usa el símbolo [| |] (parte entera) y se suma 0.5 de forma de obtener un número natural y que a la vez, el redondeo se aproxime hacia arriba o hacia abajo, de acuerdo a cual de los extremos esté más cerca del resultado obtenido.

b) Valoración

Se puede asignar la Tabla de Valores que se considere apropiada, por ejemplo, en la tabla indicada a continuación se dan varias alternativas para los valores que pudieran tomar X o Y.

**TABLA DE VALORES**

| | X | | | Y | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | EXCELENTE | 3 | BIEN | ALTA | 3 | MUY IMPORTANTE | COMPLEJA |
| B | MUY BUENO | 2 | REG. | MEDIA | 2 | IMPORTANTE | INTERMEDIA |
| C | BUENO | 1 | MAL | BAJA | 1 | POCO IMPORT. | SIMPLE |
| | REGULAR | 0 | | | | | |
| | MALO | | | | | | |

## VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO CON LAS CONDICIONES FORMALES DE ADECUACIÓN DE LOS CONCEPTOS COMPARATIVOS DE ACUERDO A LOS ESQUEMAS HEMPELIANOS DE LOS CONCEPTOS CIENTIFICOS EN FILOSOFIA DE LA CIENCIA DEL INDICE DE COMPETITIVIDAD I.C

Las condiciones formales de adecuación para el concepto planteado son las siguientes:

si entendemos que:

a) se define **K** (I.C) como una relación de coincidencia, y si

b) se define **P** como una relación de precedencia, entonces las condiciones formales a cumplir serían:

1) **K** permite una relación de equivalencia.

Dos empresas pueden tener un mismo resultado -que en esta aplicación sería que dos empresas obtengan un resultado igual al calcular su I.C- y a su vez, para los criterios empleados, el resultado obtenido se entenderá como que ambas tienen igual nivel de competitividad.

$$2)\ (\forall x)\ (\forall y)\ (\forall z)\ [\,(Pxy \wedge Pyz) \rightarrow Pxz\,]$$

de donde **P** se define como una relación de precedencia.

Si la empresa "A" tiene una calificación mayor que la "B", y a su vez "B" tiene una calificación mayor que "C", el concepto indica que "A" tiene una calificación mayor que "C", por lo tanto, el índice I.C. permite una relación de precedencia.

$$3)\ (\forall x)\ (\forall y)\quad (Kxy \rightarrow \neg\ Pxy)$$

donde **K** se define como la relación de coincidencia.

Cuando la empresa "A", y la empresa "B" tienen el mismo índice de competitividad, una no puede tener mayor calificación que la otra.

$$4)\ (\forall x)\ (\forall y)\ (Kxy\ \underline{\vee}\ Pxy\ \underline{\vee}\ Pyx)$$

donde se refiere a "o exclusivo", es decir, "o lo uno o lo otro, pero no ambos".

En cada caso, la evaluación arrojará algún resultado dentro del dominio de los números reales y éste resultado siempre será o igual que, o mayor que, o menor que el resultado de la evaluación a otra empresa.

Con esto, se demuestra que el concepto así definido cumple con las condiciones formales de adecuación de los conceptos comparativos con lo cual, automáticamente se cumple con una de las condiciones formales de adecuación de los conceptos cuantitativos.

Además,

$$I.C.=\left[\left|\frac{10\sum_{i=1}^{n} Xi\ Yi}{m\sum_{i=1}^{n} Yi}+0.5\right|\right]$$

debe cumplir otras condiciones para ser considerado del tipo de los conceptos cuantitativos.

Se recuerda que las variables Xi y Yi, de acuerdo a lo propuesto, sólo puedan tener los valores 1, 2 ó 3; además de cero en el caso de X, y "n" es un número finito de características a ser evaluadas -los miembros de la clase- por ello, el Rango ( $\Re$ ) pertenece a los números reales. Es decir, se pudiera expresar como:

$$\alpha = \mathbf{D} \Rightarrow \Re$$

donde la función I.C es $\alpha$, y su dominio **D** es el conjunto que interesa, y cuyo rango $\Re$ es de la clase de los números reales.

Siendo las condiciones mínimas de adecuación las siguientes:

$$1)\ (\forall x)\ (\forall y)\ [\,\mathbf{K}\,xy \rightarrow \propto (x) = \propto (y)\,]$$

donde $\alpha$ es I.C. Existe una relación de equivalencia ya que un mismo resultado para dos empresas indicadas bajo el criterio, define un mismo nivel de competitividad para ambas empresas.

$$2)\ (\forall x)\ (\forall y)\quad [\,P\,xy \rightarrow \propto (X) < \propto (y)\,]$$

Así mismo, existe una relación escalar que identifica cuando una empresa tiene un mayor índice de competitividad, ya que se asignan valores a los miembros de la clase y se pueden agrupar sus valores con la operación de aditividad ( $\Sigma$ ), cuyo resultado es precisamente el Indice de Competitividad. Con lo cual, cumple con las condiciones mínimas de adecuación de los conceptos cuantitativos aunque posteriormente en el modelo, el concepto del Indice de Competitividad se use como concepto comparativo.

Bajo este esquema, ya que los conceptos cuantitativos tienen un grado mayor de cientificidad que los conceptos cualitativos, con mayor razón ***queda demostrada la validez del Indice de la Competitividad como concepto científico, al usarlo como concepto comparativo, de acuerdo a los esquemas Hempelianos en Filosofía de la Ciencia.***

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BUFFA ELWOOD. "Administración y Dirección Técnica de la Producción". 4° Edición, México: Limusa, 1973.

BURGOS JOSE. SYLABUS, "Filosofía de la Ciencia I y II", UCAB. 1996/97.

BRANDENBURGER-NALEBUFF. "Co-opetition". Harvard Business Scholl. USA: Doubleday. 1996.

CASTRESANA RUIZ-CARRILLO, BLANCO MARTINEZ. "Liderazgo Cultural Estratégico como Base de la Calidad de Gestión en la Empresa". España, Revista: Alta Gerencia, pp. 184. 1996.

COMPETITIVE POLICY COUNCIL. "A Trate for a more Competitive America". Trade Policy Summary: http:/ www.woc.gov. 1993.

CORBO, KRUEGER, OSSA. "Export-Oriented Development Strategies: The Success of Five Newly Industrializing Countries". London:WESTVIEW PRESS, Cap. 8, pp. 187-212. 1985.

COREY, RAYMOND E. "Industrial Marketing: Cases and Concepts". New Jersey: Prentice Hall.1976.

DEAÑO A. "Introducción a la Lógica Formal". Madrid, De. Alianza. 1983.

DE GEUS, P. "The Living Company: Habits for Survival in a Turbulent Business Environment". Massachusetts: Harvard Business School Press.1997.

ECHEVARRIA, J. "Introduccón a la Metodología de la Ciencia; La Filosofía de la Ciencia del Siglo XX": Barcelona: Barcanova Temas Universitarios.1989.

EDWARDS PAUL (Editor in Chief). "The Encyclopedia of Philosophy". Volumen Six, Pragmatic Theory of Truth (pp 427/435): New York, Macmillon Publishing Co & The Free Press.1951.

ENRIGHT, FRANCES Y SCOTT SAAVEDRA - "Venezuela: El Reto de la Competitividad". Caracas: Ediciones IESA,1994.

ETKIN J. "La Empresa Competitiva", NYC, Mc Graw Hill. 1996.

FERRE TRENZANO, J. M. "Marketing y Competitividad". Madrid, De. Díaz de Santos. 1995.

FRANCES, BRUNICELLI. "Las Empresas Comercializadoras Venezolanas y las Exportaciones no Tradicionales". Caracas. Papeles de Trabajo. Ediciones IESA.

FRIEDMAN JACK P. "Dictionary of Business Terms". Second Edition, USA, Barrons Educational Series Inc. 1994.

GORDON ROBERT. "MACROECONOMICS". Boston: Little, Brown and Company,1981.

GROVE ANDREW S. "Only the Paranoid Survive". USA: Doubleday. 1996.

HAMEL-PRAHALAD. "Competing for the Future". USA: Harvard Business School Press.1996.

HEMPEL, C. G. (1966). "Filosofía de la Ciencia Natural". Englewood Cliff, New Jersey: Prentice Hall. Versión Española de Ifredo Deaño, Madrid. Publicada por Alianza.1970.

HEMPEL, C. G. (1955). "La Explicación Científica". Versión Española de Alfredo Deaño. Buenos Aires: Paidós. 1970.

HEMPEL, C. G. (1952). "Fundamentos de la Formación de Conceptos en Ciencia Empírica, Versión Española de José Luis Rolleri: Madrid, Publicada por Alianza. 1970.

HILLIER AND LIEBERMAN. "Introducción to Operations Research". San Francisco: Holden-Day, Inc. 1995.

ICE "CONCURSO VENEZUELA EXPORTADORA", Caracas, 1994.

INTERNATIONAL INSTITUTE FOR MANAGEMENT DEVELOPMENT. "The World Competitiveness Yearbook". Lausanne: IMD Library. 1996.

JOAD C. E. M. "Guide to Philosophy: Dover New York. 1996.

JOHNSON, LAWRENCE E. "Focusing on Truth". London & New York: Routledge. 1992.

JONES, BARTLETT, GHOSHAL, MAHINI-"Global Competition" The Mc Kinsey Quaterly, Winter, 1990 pp 13-53. 1990.

KOTLER, P. "Dirección de la Mercadotecnia". Análisis, Planteamiento, Implementación y Control. México: Prentice Hall Hispanoamericana, 7ma. Edición. 1993.

MATTHEWS, BUZZELLM KEVITT Y FRANK. "Marketing". Barcelona: Editorial Hispano Europea (Mc Graw Hill), 3a. Edición. 1973.

MERHAV MEIR- "Posibilidades de Exportación de la Industria Venezolana", CORDIPLAN, 1973.

MINERVINI, N. "Manual del Exportador". México. Mc Graw-Hill, 1966.

MITCHELL MELANIE. "An Introduction to Genetic Algorithms". Cambridge, The Mit Press, 3ra. Edition. 1997.

MOORE JAMES F. "The Death of Competition: Leadership and Strategy in the Age of Business Ecosystems". USA, Harper Business. 1996.

NEWTON-SMITH. "La Racionalidad de la Ciencia". Capítulo 3. "Poper El Racionalista Irracional". Buenos Aires. Paidós Studio. 1981.

NORMA VENEZOLANA COVENIN. "Guía de Evaluación de la Gestión Tecnológica de Organizaciones Industriales": CIVENIN-ILDIS 2520-89.

OCEI "Anuario de Comercio Exterior de Venezuela, Tomo I, Exportaciones; Tomo II, Importaciones" - Caracas: OCEI, 1994, 1995, 1996.

OHMAE, KENICHI - "The Borderless World: Power and Strategy in the Interline Economy". Mc Kinsey and Company, Harper Business. 1990.

OHMAE, KENICHI. "Triad Power: The Coming Shape of Global Competition". Mc Kinsey and Company, The Free Press. 1985.

OHMAE, KENICHI. "Beyond National Borders: Refletions of Japan and the World". Mc Kinsey and Company, Dow Jones-Irving. 1987.

PLAZ REYNALDO. "Technological Innovation and Industrial Development". The case of the metalworking sector in Venezuela. Unpublished Ph. D. Thesis. University of Manchester. United Kindom. 1993.

PORTER, MICHAEL E. "COMPETITIVE ADVATAGE"; Creating and Sustaining Superior Performance. New York: The Free Press. 1980.

PORTER, MICHAEL E. "COMPETITIVE STRATEGY": Techniques for Analizing Industries and Competitors. New York: The Free Press. 1985.

PORTER MICHAEL E. - "THE COMPETITIVE ADVANTAGE OF NATIONS" - New York: The Free Press. 1990.

RUSSELL BERTRAND. "A History of Western Philosophy". New York Simon & Shuster. 1972.

SLYWOTZKY ADRIAN J. "Value Migration: How to Think Several Moves Ahead of the Competition". USA: Harvard Business School Press. 1996.

U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE. "A Basis Guide to Exporting" Telenos NTC Business Book. 1989.

VAINRUB ROBERTO. "Gerencia Industrial". Publicaciones Universidad Nacional Abierta 1984

VAINRUB ROBERTO. "Proyecto Tesis Doctoral: Exportaciones, un Enfoque Competitivo" - Tomos I y II - U.C.A.B. (1998).

VAINRUB ROBERTO. "Nacimiento de una Empresa: Qué hacer antes de fundar una empresa o comprar una empresa en marcha". Publicaciones UCAB. 1996.

VAINRUB ROBERTO. "Estrategia Exportadora" PAG IESA 1999

YARBROUGH, BATH AND ROBERT - "The World Economy: Trade and Finance" - FT Worth: The Dryden Press, 1994, 3rd Ed.

YIN ROBERT. "Case Study Research: Design and Methods". Beverly Hills, Sage Publications. 1984.

# Desarrollo de un Sistema Estratégico de Planificación de Inventarios, como Soporte al Proceso de Expansión de la Red Celular, en una Empresa de Telecomumicaciones

**Luis Felipe Pérez Bravini**

*Ingeniero Industrial*

Este Trabajo fue presentado por la Universidad Católica Andrés Bello, en el IX Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Industrial, obteniendo el primer lugar como proyecto de investigación concursante,en el área de Innovación y Tecnología. Maracaibo - estado Zulia, octubre de1999.

## Introducción

En la actualidad, los tiempos de respuesta para la toma de decisiones, el establecimiento de una buena comunicación y la transmisión de información de un lugar a otro, revisten vital importancia. El servicio celular proporciona la libertad de cumplir con estos objetivos. Esta tecnología, brinda la ventaja de establecer un enlace, personal e inmediato, del usuario con sus actividades de tipo social, económicas, etc.

Sin embargo, lo que representa para el cliente un servicio útil y práctico, para las empresas encargadas del suministro, representa una gran responsabilidad, ya que, detrás de la comunicación celular, existe una maquinaria que permite garantizar su calidad: personal altamente especializado y equipos de última tecnología.

La presencia física de estos elementos, es requerida para satisfacer los niveles de cobertura exigidos por los usuarios, haciendo indispensable, el manejo de una infraestructura plenamente funcional y en constante crecimiento.

Es aquí donde los suministros y otros factores tales como: recursos humanos y financieros, deben ser gerenciados de manera tal, que se minimice el impacto de las variaciones del entorno sobre las actividades de la empresa.

En consecuencia, surge la necesidad de emplear la "Planificación Estratégica", como soporte del proceso de expansión de la red celular, a fin de garantizar la presencia de los materiales requeridos, para establecer las nuevas áreas de cobertura, contemplando aquellas actividades que orientan la toma de decisiones a futuro "Planeación", así como las que producen la estructuración de las tareas y niveles de responsabilidad "Organización", asegurando que el desempeño global de los procesos, ocurra de acuerdo con lo planeado "Control".

## Planteamiento Del Problema

El Sistema Estratégico de Plaificación de Inventario, se fundamentó en una experiencia particular proporcionada por una de las primeras empresas en ofrecer el servicio de la telefonía celular en Venezuela. A tal efecto, el producto de la investigación se limitó, en primera instancia, a un caso único de estudio, el cual, por respeto a los derechos de propiedad e información de la compañía se presenta como: MODELO C.A.

## Antecedentes

La incursión de MODELO C.A. en el mercado nacional, produjo rápidamente grandes expectativas. Aquellos clientes que estaban representados por un número reducido de habitantes, concentrados en las principales ciudades del país, fueron incrementándose a lo largo y ancho de todo el territorio nacional demandando cada vez más y mejor servicio.

De esta manera, MODELO C.A., decide establecer una alianza estratégica con una empresa líder en telecomunicaciones a escala mundial, a fin de que ésta supliese los equipos para conformar el sistema celular, así como su soporte técnico.

Durante años, dicha empresa se encargó de dotar, masivamente, a MODELO C.A., los equipos necesarios para conformar una infraestructura, capaz de satisfacer a un mercado en pleno crecimiento. Sin embargo, un hecho trascendental definió un nuevo rumbo en la política de administración de materiales por parte de la empresa: **la tecnología**.

Como consecuencia del desarrollo de nuevos modelos de celdas[1] y equipos, por parte de su aliado estratégico, MODELO C.A. se vio obligada a ir adaptándose a estos cambios, pero, el hecho de ya poseer una amplia infraestructura celular, cuyo desempeño venía siendo satisfactorio, capaz de ofrecer un buen servicio a un costo inferior al que se incurriría al implementar masivamente estas nuevas tecnologías, estimuló la autogestión de materiales por parte de la empresa.

Así nace el desarrollo de un sistema celular mixto, compuesto por equipos de avanzada tecnología suministrados por su proveedor aliado y por equipos adquiridos de manera independiente, por parte de MODELO C.A.

Desde el punto de vista de la planificación de inventarios, los equipos de celda, pertenecientes a viejas generaciones, representan el centro de la atención. Esto se debe, a que las celdas nuevas, vienen constituidas por todas y cada una de las partes necesarias para su ensamblaje, por lo cual la adquisición de equipos complementarios, para su instalación, no se hace necesario. En cambio, para la construcción de una celda cuya tecnología no es tan reciente, los materiales asociados a este proceso, deben ser obtenidos de manera independiente, bien sea mediante la compra a proveedores o empleando las existencias en almacén.

Entonces, ¿Por qué seguir empleando celdas que tecnológicamente expiraron, cuando éstas requieren un tratamiento especial en comparación a los equipos de vanguardia, en un campo tan innovador como el de las telecomunicaciones?. La respuesta es la siguiente:

Cuando se posee un tipo de celda, cuyo funcionamiento sigue siendo satisfactorio en lo que al servicio se refiere, del cual se poseen altos niveles de inventario y que tiene un precio de mercado mucho menor que sus similares más recientes, se tiene la oportunidad de disminuir los costos operativos de la empresa y de sobrellevar los cambios tecnológicos, de una manera menos drástica, desde el punto de vista técnico y financiero.

De igual modo, el hecho de establecer una cultura de planificación y gestión de materiales, en una empresa donde la tecnología marca la pauta de su servicio, hace que los cambios, a los que esta se vea sometida, no incidan de una forma tan radical en su estructura de costos.

Por esta razón, surge la necesidad de emplear la planificación de inventarios, como soporte del proceso de expansión de la red celular, a fin de garantizar la presencia de los materiales requeridos, para conformar las celdas que, por cambios en su tecnología, pasaron a formar parte de generaciones pasadas.

## Objetivos

### Objetivos Generales

"Desarrollar un Sistema Estratégico de Planificación de Inventario"

### Objetivos Específicos

1. Establecer una estrategia de planificación de inventario que tome en consideración los mecanismos, para la adquisición y entrega de equipos, así como sus costos asociados y restricciones presupuestarias.

2. Determinar la cantidad necesaria de equipos en almacén, tomando en consideración los requerimientos de expansión de la red celular, así como los estándares de cobertura.

3. Identificar el momento adecuado para la adquisición de equipos, así como la cantidad que deberá solicitarse de ellos.

4. Establecer una metodología para el proceso de solicitud de equipos.

5. Plantear las acciones a tomar para la aplicación del sistema propuesto.

## La Administración De Los Inventarios

La Gerencia de Planificación y Equipos es el ente encargado de planear la adquisición de los insumos requeridos, para efectuar la expansión de la red celular. A tal fin, este departamento, debe identificar las variables que inciden directamente en el consumo de los materiales y así cumplir satisfactoriamente con su demanda.

Según las cuatro grandes ramas en que se agrupan los componentes de las celdas celulares: Antenas, equipos de celda, equipos de potencia y microondas; esta gerencia dispone de personal encargado de cubrir lo concerniente a cada uno de estos grupos. No obstante, elementos tan importantes como el conocimiento real de la demanda, el comportamiento de los proveedores, los niveles de inventario adecuados, así como sus costos asociados, son ajenos al departamento, por lo que las labores de planificación no cuentan con un respaldo técnico que soporte la toma de decisiones.

### Debilidades

**Los Clientes:** Es necesario que Planificación y Equipos identifique las necesidades de sus clientes y que aplique metodologías de análisis y pronóstico, que permitan definir la demanda de los materiales.

**Los Materiales:** No existe una clasificación de los materiales, que contemple la criticidad de los equipos, sus niveles de consumo y su valor estratégico para la expansión, por lo que la planificación de los inventarios, esta sujeta a grandes posibilidades de error, ya que no se están considerando los elementos claves para el ensamblaje de las celdas.

**Los Costos:** Es obligatorio abordar la planificación de los inventarios, tomando en consideración que se dispone de recursos limitados, y en la medida en que se logren reducir los costos inherentes a este proceso, se estará realizando una mejor labor.

**La Gestión de Inventarios:** Siendo una gerencia de planificación, esta carece de una política integral de gestión, que involucre desde la demanda hasta el comportamiento de los proveedores, los tiempos estimados de entrega, los tiempos entre pedidos, los puntos de reorden, los stocks de seguridad, y sus costos asociados.

### Amenazas

**La Comunicación:** Definitivamente, ningún esfuerzo por llevar a cabo una planificación efectiva, será exitoso, si la información asociada a todo este proceso no es fiable. Para ello la comunicación entre departamentos debe ser lo más clara y precisa posible. De igual modo, una visión aislada de la planeación involucra su fracaso, por lo cual, tanto el cliente como su servidor, deben interactuar y brindar la oportunidad de retroalimentar sus gestiones a fin de obtener el progreso mutuo (Ganar– Ganar).

### Fortalezas

**El Personal:** Existe la posibilidad de realizar la evolución de la planeación de los inventarios, mediante profesionales que poseen las herramientas para establecer e interpretar las variables involucradas en este proceso.

**Recursos:** La posibilidad asignar recursos en el ámbito de formación e instrucción técnica como soporte a la planificación es grande.

**La Tecnología:** A través de la red interna de MODELO C.A., existe la oportunidad del intercambio inmediato de información. Así mismo, el sistema administrativo con que cuenta la empresa, es desarrollado y mantenido por la Gerencia de Sistemas, lo que ofrece la oportunidad de agregar módulos, para el manejo del inventario.

### Oportunidades

**Reducción de Costos:** Planificación y Equipos tiene en sus manos la oportunidad de reducir los costos operativos de la empresa, disminuyendo la compra excesiva de equipos, evitando compras urgentes y traslados innecesarios.

**Productividad:** A través de una gestión más eficiente, Planificación y Equipos puede lograr que sus clientes también lo sean, haciendo oportuna la presencia de los materiales requeridos para la expansión celular y reduciendo los costos de penalización.

**Unión:** Planificación y Equipos ha de servir como mecanismo de enlace entre las gerencias del área de ingeniería y las pertenecientes al área administrativa, esto permitirá lograr acciones coordinadas entre los distintos departamentos.

### Estrategia De Ataque Hacia El Problema

Visto el entorno global, que delimita la gestión de materiales, así como definido el perfil del ente encargado de llevar a cabo la planificación de los inventarios, es necesario definir una estrategia que permita dirigir la evolución del proceso actual de planificación, hacia un sistema que sea capaz de suplir de manera acertada, los insumos requeridos para la puesta en servicio de celdas análogas de tecnologías anteriores.

Haciendo alusión al caso particular de estudio, y retomando planteamientos señalados con anterioridad, una estructura basada en cuatro eslabones fundamentales (Proveedores, Materiales, Demanda y Gerencia) se convierte en el centro de la atención a la hora de hablar de la Gerencia de Planificación y Equipos:

**Proveedores:** Representan más que una fuente de suministro de materiales. Estos juegan un papel relevante en la estimación del tiempo de planificación, así como sus costos asociados.

**Materiales:** Son el sustento de la red celular y, desde su gestión hasta su consumo, representan un punto clave en la planificación.

**Demanda:** Es el requerimiento de los equipos en sí y representa la razón fundamental de la planificación de materiales. De su estimación y análisis, parte el proceso formal de planeación.

**Gerencia:** Son los vínculos interdepartamentales y los procedimientos y políticas de gestión por las que se rigen las gerencias. Este eslabón comprende, también, el intercambio de información, así como su análisis para la posterior toma de decisiones.

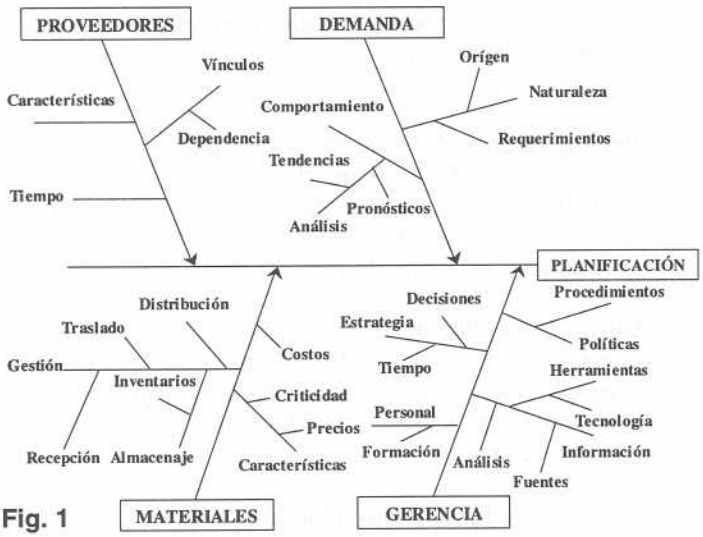



Fig. 1

## Las Celdas y sus Materiales

### Estructura

Varios tipos de celdas analógicas han sido fabricadas y algunas variaciones, para soportar mejoras en la tecnología y satisfacer los requerimientos de los sistemas celulares alrededor del mundo, se han venido realizando. Sin embargo, a pesar de tales cambios, estas siguen manteniendo una configuración básica:

**Antenas de Radio Frecuencia (RF):** Son dispositivos encargados de recibir y emitir señales de radio. En el caso de recepción, reciben las señales originadas por móviles, en el caso de transmisión, irradian la potencia que le entrega el canal de voz o de señalización que se encuentra en la celda.

**Equipos de Celda:** Son los equipos necesarios para procesar las llamadas celulares y establecer comunicación con la central electrónica de telefonía móvil (MTSO). Estos se pueden dividir en: BSC y equipos de RF.

El BSC o Base Site Controller, provee la interfaz entre los equipos de radio de la celda y el MTSO; este controla la celda y está compuesto por un número específico de tarjetas que pueden variar según la configuración de radio base.

Los equipos de RF, son los elementos que, además de las antenas, hacen posible el recibir, transmitir y procesar las llamadas y estos comprenden desde un simple cable hasta equipos de avanzada tecnología que, junto con el BSC, ayudan a establecer con éxito la comunicación celular.

**Equipos de Potencia:** Hacen posible el funcionamiento de las celdas a través del suministro de energía eléctrica e impiden, además, daños a la estación por fluctuaciones de tensión, asegurando el funcionamiento continuo de la misma.

**Equipos de Microondas:** Son las radios y antenas de microondas requeridas para unir las celdas a la central electrónica de telefonía móvil (MTSO).

## Explosión de Materiales - Antenas y sus Accesorios

Para obtener la cantidad de materiales necesarios, a los efectos de instalar una antena, deben tomarse en consideración muchas variables de las cuales depende este proceso: tipo de antena, condiciones atmosféricas, terreno, etc.; no obstante, un estimado bastante preciso de los materiales requeridos para la instalación, puede obtenerse con la identificación del número de antenas y la altura a la cual estas serán colocadas. A continuación se presenta el cálculo de los materiales requeridos para la instalación de las antenas en una celda, en función del número de antenas (A) y su altura de colocación en metros (H):

| Conectores | H<50 | 50<=H<100 | 100<=H |
|---|---|---|---|
| Cable 1-5/8" | - | - | 2*A |
| Cable 1-1/4" | - | 2*A | - |
| Cable 1-5/8" | 2*A | - | - |
| Jumper 1/2" | 2*A | | |

Tabla. 1a

| 1 | H<50 | 50<=H<100 | 100<=H |
|---|---|---|---|
| Cable 1-5/8" | - | - | (H+10)*A |
| Cable 1-1/4" | - | (H+10)*A | - |
| Cable 7/8" | (H+10)*A | - | - |
| 2 | H<50 | 50<=H<100 | 100<=H |
| Jumper 1/2" | 2*A | | |
| 3 | H<50 | 50<=H<100 | 100<=H |
| Snap-In Hanger 1-5/8" | - | - | (H+10)*A |
| Snap-In Hanger 1-1/4" | - | (H+10)*A | - |
| Snap-In Hanger 7/8" | (H+10)*A | - | - |
| 4 | H<50 | 50<=H<100 | 100<=H |
| Botas 1-5/8" | - | - | A |
| Botas 1-1/4" | - | A | - |
| Botas 7/8" | A | - | - |
| 5 | A<=12 | 12<A | |
| Ventanas | 1 | 2 | |
| 6 | H<50 | 50<=H<100 | 100<=H |
| Weather Proofing | 1,5*A | | |
| 7 | H<50 | 50<=H<100 | 100<=H |
| Grounding kit1-5/8" | - | - | 3*A |
| Grounding kit1-1/4" | - | 3*A | - |
| Grounding kit1-5/8" | 3*A | - | - |

**Tabla. 1b**

| Otros Cables | H<50 | 50<=H<100 | 100<=H |
|---|---|---|---|
| Cable 1/2" TM | 30 | | |
| Cable 1/2" S-F | 10 | | |
| Conectores3 1/2" | 2 | | |
| Conectores 1/2" S-F | 4 | | |

**Tabla. 1c**

## Explosión de Materiales - Equipos de Celda

A pesar de las celdas pertenecer a una misma tecnología, su configuración, al nivel de equipos de celda, varía ligeramente de acuerdo al número de racks[2] que la conformen, es decir, la configuración, para una celda que cuente con 6 racks de 10 canales[3], varía ligeramente con la configuración de una celda que cuente con 4 racks de 15 canales o con una que posea 3 racks de 20 canales, aunque todas ofrezcan la capacidad de trabajar simultáneamente con 60 canales a la vez.

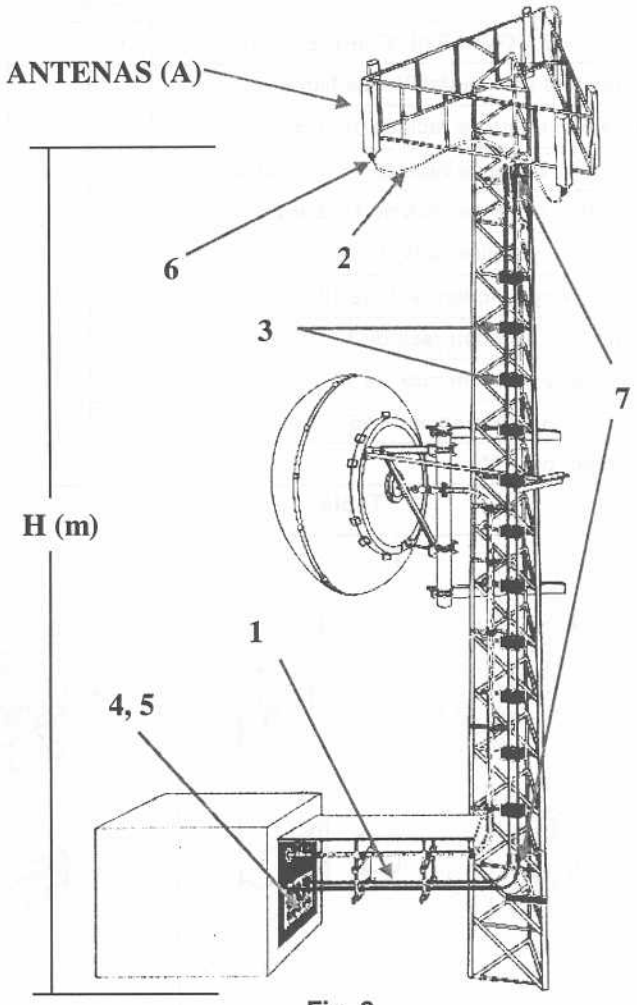



**Fig. 2**

La elección de un tipo de celda u otro, así como sus elementos depende, principalmente, de la planificación de frecuencias y los niveles de tráfico en el área, no obstante, dados los requerimientos en canales y definidos los tipos de Racks a emplear en la celda (10, 15 o 20 VCH[5]), puede obtenerse con bastante certeza su configuración.

Relacionando información suministrada por los proveedores y los ingenieros de implementación de MODELO C.A., los equipos celulares por unidad que constituyen las celdas pueden obtenerse de la siguiente manera:

| EQUIPOS COMPLEMENTARIOS DE RF | RACK 10 | RACK 15 | RACK 20 |
|---|---|---|---|
| Planchas para instalción de filtros | 4 | | |
| Phasing cable de rack de 15 (Corto) | | R | |
| Phasing cable de rack de 15 (Mediano) | | R | |
| Phasing cable de rack de 15 (Largo) | | R | |
| Two way junction rack de 10 | R | | |
| Three way junction rack de 10 | R | | |
| Four way junction rack de 10 | R | | |
| Four way junction rack de 15 | | R | |
| Six way junction rack de 15 | | R | |
| Jumper de 1/2" | 7*R | | |

Tabla. 2a

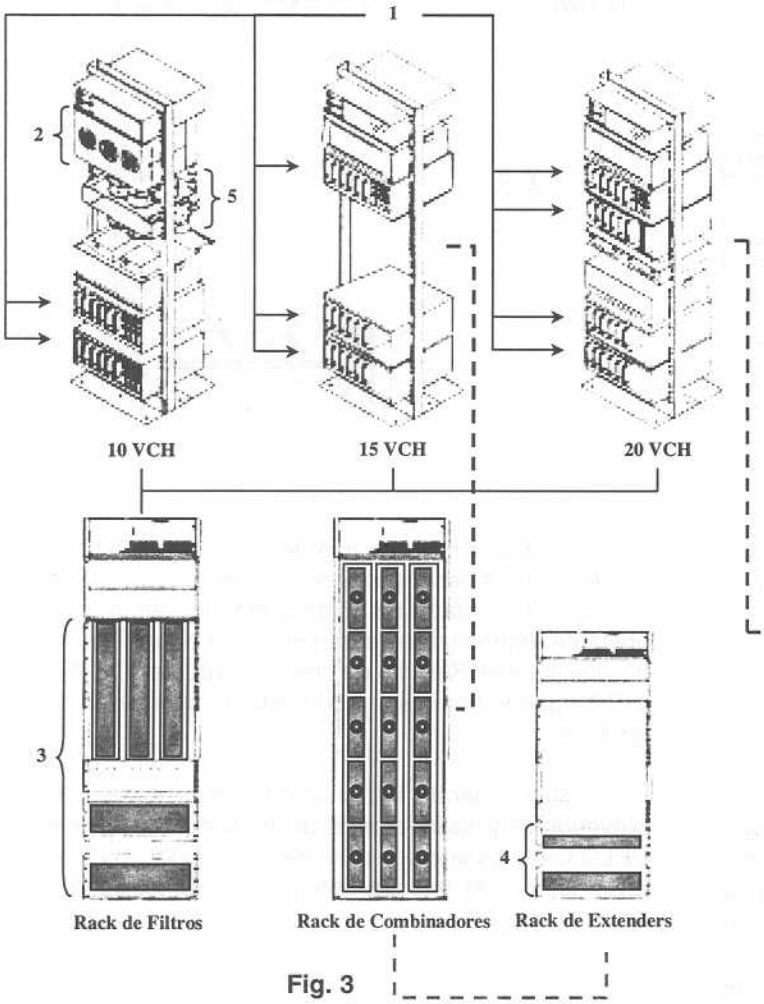
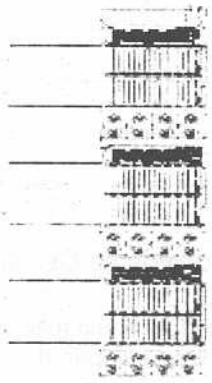



Fig. 3

| 1 | Rack 10 | Rack 15 | Rack 20 |
|---|---|---|---|
| VCC + | R*(VCH/15) | | |
| SCC | 2 | | |
| CSC | 2 | | |
| EMPI | 2 | | |
| CANAL DE VOZ | R*VCH | | |
| SIG | 2 | | |
| SCAN + | R*(VCH/15) | | |
| ERROR | | | 12 |
| PRE - ERROR | | | 12 |
| DRIVER | | | 12 |
| FINAL DE ALTA | | | 48 |
| **2** | **Rack 10** | **Rack 15** | **Rack 20** |
| Amp. de Potencia | (R*VCH) + 2 | | |
| **3** | **Rack 10** | **Rack 15** | **Rack 20** |
| Filtros | 6 | | |
| Multicoupler | 1 | | |
| **4** | **Rack 10** | **Rack 15** | **Rack 20** |
| Multicoupler Extender | SÍ R < 6 entonces 0<br>SÍ 6 < R <= 9 entonces 1<br>SÍ 9 < R <= 12 entonces 2 | | |
| **5** | **Racks 10 y 20** | | **Rack 15** |
| Combinadores | Con el Rack | | ------ |

+ Entero Superior

Tabla. 2b



Rack LPA para
Rack de 20 VCH

| RACKS DE EQUIPOS |
|---|
| Rack de Filtros |
| Rack para Amplificadores.<br>(Solo Celdas con Racks de 20 VCH) |
| Rack para Multicouplers Extender.<br>(Solo para R >= 6) |
| Rack de Combinadores.<br>(Solo Celdas con Racks de 15 VCH) |

Tabla. 2c

**R (Número de Racks de Canales de Voz)**
**VCH (Canales de Voz del Rack)**

## Explosión de Materiales - Equipos de Potencia

La configuración de las celdas, a nivel de equipos de potencia, es prácticamente invariable, indistintamente que estas se constituyan por racks de 10, 15 o 20 VCH; por lo general cuentan con los mismos componentes:

| Cables | RACK 10 | RACK 15 | RACK 20 |
|---|---|---|---|
| Cable Plano 10 hilos | 30 | 40 | 40 |
| Cable Plano 16 hilos | 15 | 20 | 20 |
| Cable 25 pares | 20 | 30 | 40 |
| Cable 2/0 negro | 15 | | |
| Cable 2/0 rojo | 15 | | |
| Cable 2/0 verde | 10 | | |
| Cable #10 rojo | 10 | | |
| Cable #10 negro | 10 | | |
| Cable #10 verde | 10 | | |
| Cable #12 rojo | 15 | | |
| Cable #12 negro | 15 | | |
| Cable #12 verde | 15 | | |
| Cable #14 rojo | 5 | | |
| Cable #14 negro | 5 | | |
| Cable #14 verde | 5 | | |
| Cable RG 59 | 15 | 20 | 20 |

Metros de cable requeridos por celda. **Tabla. 3a**

| Equipos | RACK 10 | RACK 15 | RACK 20 |
|---|---|---|---|
| PDB | Si VCH < 120 ; 1 sino 2. | | |
| Rectificadores * | VCH / 20 | | |
| Convertidores * | VCH / 10 | | |
| Shelf convertidores | 1 | | |
| Breakers 100A | 10 | 15 | 20 |
| Breakers 50A | 2 | | |
| Breakers 30A | 2 | | |
| Breakers 20A | 2 | | |
| Breakers 5A | 4 | | |
| Panel de Breakers | 1 | | |
| Baterías | Si VCH < 120 ; 1 sino 2. | | |
| **Conectores** | **RACK 10** | **RACK 15** | **RACK 20** |
| Cable plano 10 hilos | 10 | | |
| Cable plano 16 hilos | 10 | | |
| Amphenol Hembra | 2 | | |
| Amphenol Macho | 2 | | |
| Cable RG59 | 2 | | |

* Entero Superior.
Cantidad unitaria de Materiales. **Tabla. 3b**

## Clasificación General de los Materiales

## Análisis ABC

Aplicando el criterio, de que la mayor parte del capital invertido en materiales se concentra en un pequeño porcentaje del inventario o existencia y, por el contrario, un gran porcentaje del inventario, concentra una pequeña porción del valor del mismo, se obtuvo lo siguiente:

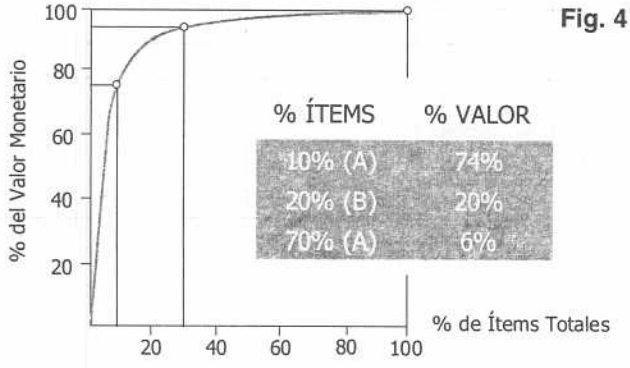



**Fig. 4**

## Análisis de Criticidad

Asignando niveles de criticidad (1, 2 o 3) a los artículos, se obtiene una nueva clasificación, donde del nivel 1 viene a representar aquellos insumos de los cuales depende, directamente, el proceso de construcción y puesta en servicio de una celda o que presentan altos niveles de consumo; seguido por el nivel 2, el cual comprende aquellos artículos cuya ausencia temporal no incide, tan drásticamente, en el ensamblaje o en el funcionamiento parcial de la celda y, por último, el nivel 3, el cual incluye los artículos restantes que, por sus bajos niveles de consumo o importancia estratégica, no representan una carga tan grande en la planificación de los inventarios.

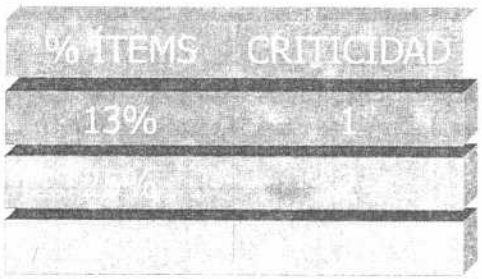



**Fig. 5**

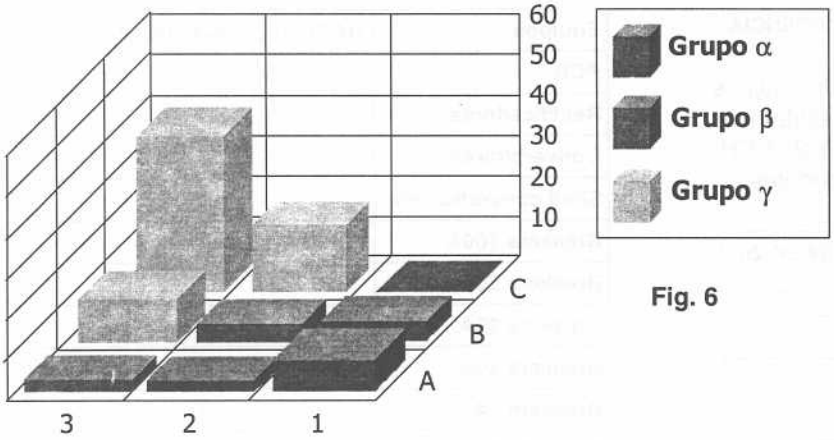



Fig. 6

## Análisis Combinado (ABC – CRITICIDAD).

Uniendo los niveles de criticidad asociados a los materiales, con su impacto sobre el costo del capital, se tiene una matriz de correlación, de donde se definen los grupos de control de los insumos. Los materiales definidos con la letra alfa (α) abarcan el 15 % del total de artículos contemplados para la planificación, mientras que los insumos beta y gamma, (β y γ), representan el 85% restante. (Ver Fig. 6).

## Estudio De Los Proveedores

### Tiempos de Entrega

**Tabla 5**

| | Tiempo Medio (Semanas) | Límite Inferior (Semanas) | Límite Superior (Semanas) |
|---|---|---|---|
| | ANTENAS Y ACCESORIOS | | |
| PROVEEDOR 1 | 4 | 2 | 6 |
| PROVEEDOR 2 | 5 | 4 | 7 |
| PROVEEDOR 3 | 8 | 5 | 10 |
| PROVEEDOR 4 | 8 | 6 | 11 |
| | EQUIPOS DE CELDA | | |
| PROVEEDOR 5 | 8 | 5 | 10 |
| | EQUIPOS DE POTENCIA | | |
| PROVEEDOR 6 | 2 | 1 | 4 |
| PROVEEDOR 7 | 3 | 2 | 5 |
| PROVEEDOR 8 | 4 | 3 | 6 |
| PROVEEDOR 9 | 9 | 5 | 12 |
| PROVEEDOR 10 | 10 | 8 | 13 |
| PROVEEDOR 11 | 11 | 7 | 15 |
| | Tiempo Medio (Meses) | Límite Inferior (Meses) | Límite Superior (Meses) |
| | EQUIPOS DE MICROONDAS | | |
| PROVEEDOR 12 | 4,13 | 4 | 5 |
| PROVEEDOR 13 | 4,59 | 4 | 5 |

Nivel de Servicio 95% ; k=1,65

**Grupo α de Materiales**

**Tabla 4**

| | | |
|---|---|---|
| **Antenas** | A | 1 |
| **Banco de Baterías** | A | 1 |
| **CANAL DE VOZ** | A | 1 |
| **PDB** | A | 1 |
| **SCAN** | A | 1 |
| **VCC** | A | 1 |
| **Amplificador (PA)** | A | 2 |
| **Cable 1-1/4"** | A | 2 |
| **EMPI** | B | 1 |
| **CSC** | B | 1 |
| **SIG** | B | 1 |
| **SCC** | B | 1 |

## Clasificación General De Los Proveedores

A continuación se resume la clasificación de los proveedores de acuerdo a su criticidad con relación a la gestión de los inventarios.

Esta clasificación fue obtenida considerando, tanto la importancia estratégica del proveedor como fuente exclusiva de suministro, así como los porcentajes de órdenes de compra y de dinero facturado, asociados a cada uno de ellos.

**Tabla 6**

| | | Órdenes de Compra (% Acumulado) | Dinero Facturado (% Acumulado) | Importancia Estratégica |
|---|---|---|---|---|
| MUY CRITICO | PROVEEDOR 2<br>PROVEEDOR 4<br>PROVEEDOR 12<br>PROVEEDOR 13 | 60 % | 72% | ALTA |
| CRÍTICO | PROVEEDOR 1<br>PROVEEDOR 5 | 25% | 13% | ALTA |
| | PROVEEDOR 8<br>PROVEEDOR 9<br>PROVEEDOR 10 | | | MEDIA |
| POCO CRÍTICO | PROVEEDOR 3<br>PROVEEDOR 6<br>PROVEEDOR 7<br>PROVEEDOR 11 | 15% | 15% | BAJA |

## La Demanda De Materiales

Indistintamente de los planes de expansión de la red celular, el consumo de materiales, asociado a la construcción de las celdas, depende del número de radio bases puestas en servicio y de cómo éstas se encuentren configuradas. Por esta razón, si se logra definir la cantidad de celdas instalada, para un período de tiempo determinado, así como su configuración asociada; el proceso de planificación de los inventarios puede realizarse en función de estos parámetros.

## Las Celdas

El pronóstico del número de celdas a ser puestas en servicio, representa el parámetro principal para llevar a cabo la estimación del consumo de materiales, ya que de éste dependen todas las fórmulas obtenidas para el cálculo de la demanda de insumos.

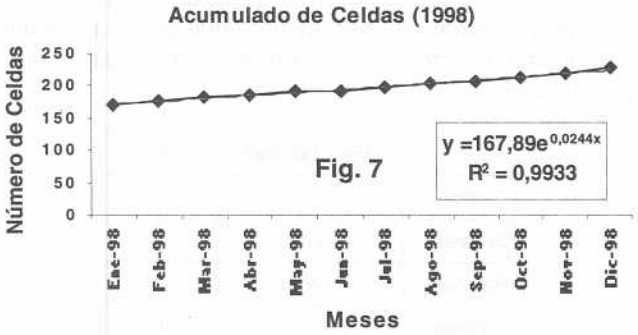



Fig. 7

Los registros del acumulado mensual de las celdas puestas en servicio, obedecen a una curva exponencial. De esta manera, la demanda de equipos puede ser obtenida a través de la extrapolación de esta curva de tendencia, cuyo coeficiente de determinación (R2), asevera el hecho de que el incremento de las celdas es realmente exponencial.

Estos valores servirán como punto de partida para el proceso de explosión de materiales y definición de la demanda, siempre y cuando se adecue esta información, a los parámetros exigidos por las formulas de materiales propuestas con anterioridad.

## Antenas y Accesorios

Tres parámetros fundamentales son requeridos para obtener el consumo de antenas y sus accesorios, según las ecuaciones correspondientes de estos materiales: Número de Celdas, Número de Antenas y Altura de elevación de las antenas. (Ver Tablas 1a,b y c)

El número de celdas es proporcionado, directamente, por la ecuación de ajuste que se señala con anterioridad, pero el número de antenas y su altura de elevación debe ser estimada.

| ANTENAS | Promedio | Coeficiente de Variación |
|---|---|---|
| Transmisión | 5,466 | 19,943% |
| Recepción | 5,529 | 19,674% |

**Tabla 7a**

En promedio, las celdas tienden a estar constituidas por 5 antenas de transmisión y 6 de recepción. Este hecho se encuentra respaldado por los bajos coeficientes de variación obtenidos por estrato, lo cual permite definir dicha configuración como un estándar general.

A diferencia del numero de antenas, la altura de colocación de estos elementos, presenta una variabilidad tal, que imposibilita definir en forma directa un estándar específico. Para solventar esta situación, se procedió a analizar la configuración de las celdas, en lo que a la altura de las antenas se refiere, obteniéndose lo siguiente:

| Distribución de Probabilidad Asociada | GAMMA |
|---|---|
| Parámetro $\alpha$ | 8 |
| Parámetro $\beta$ | 7 |

**Tabla 7b**

La altura de las antenas viene dada según una distribución de probabilidad Gamma de parámetros $\alpha$=8 y $\beta$=7.

Tomando esto en consideración, se obtuvieron las probabilidades de los rangos especificados en las fórmulas de materiales para las antenas y sus accesorios:

| Intervalo de Alturas (H) metros | Probabilidad |
|---|---|
| H < 50 | 0,42 |
| 50 <= H < 100 | 0,55 |
| H > = 100 | 0,03 |

**Tabla 7c**

Las probabilidades de que una celda caiga en cualquiera de estos tres estratos son 0,42, 0,55 y 0,03 respectivamente, por lo que, si se multiplica el número de celdas pronosticadas por estas probabilidades, se obtendrá el valor esperado de celdas que entrarán en tales estratos.

No obstante, todavía es necesario definir la altura de las celdas que quedaron agrupadas en estos intervalos. Para ello, se determinaron los promedios de altura de los rangos señalados, obteniéndose lo siguiente:

| Intervalo de Alturas (H) metros | Promedio (metros) | Coeficiente Variación |
|---|---|---|
| H < 50 | 26,56 | 18,63% |
| 50 <= H < 100 | 62,24 | 8,47% |
| H > = 100 | 108,00 | 10,14% |

**Tabla 7d**

Nótese como los coeficientes de variación, para los rangos, son lo suficientemente bajos como para considerar estos promedios un estándar, por lo cual, teniendo las celdas esperadas en cada intervalo, estas pueden asociarse directamente a la altura promedio de dicho estrato.

## Equipos De Celda y Potencia

Los equipos de celda y de potencia dependen, al igual que las antenas y sus accesorios, de tres parámetros principales: Número de Celdas, Número de Racks y Número de Canales de voz (VCH). (Ver Tablas 2a, b y c)

La distribución de los canales de las celdas viene dada por una distribución de probabilidad exponencial. Sobre la base de esto, se obtuvieron las probabilidades de los rangos especificados de canales para las celdas[4]:

**Tabla 8a**

| Distribución de Probabilidad Asociada | EXPONENCIAL |
|---|---|
| Parámetro θ | 47,14 VCH/Celda |

| Canales Asignados por Celda | Probabilidad |
|---|---|
| VCH <= 30 | 0,47 |
| 30 < VCH <= 90 | 0,38 |
| 90 < VCH | 0,15 |

**Tabla 8b**

Si se multiplica el número de celdas pronosticadas, por estas probabilidades, se obtendrá el valor esperado de celdas que entrarán en tales estratos. Entonces, partiendo del criterio, de que las celdas tienden a conformarse según los canales de voz que les son asignados; un promedio de canales, en función del estrato al que estas pertenezcan, servirá para definir un estándar de configuración por grupo:

| Canales Asignados por Celda | Canales Promedio | Coeficiente Variación |
|---|---|---|
| VCH <= 30 | 23,11 | 24,50% |
| 30 < VCH <= 90 | 57,65 | 17,77% |
| 90 < VCH | 115,80 | 8,72% |

**Tabla 8c**

De esta manera se tiene que las celdas, cuyo número de canales sea inferior o igual a 30 VCH, tenderán a estar constituidas por 3 racks de 10 VCH (30 canales), mientras que una celda, cuyo número de canales esté comprendido entre 30 y 90 VCH, tenderá a constituirse por 3 racks de 10 VCH y 2 racks de 15 VCH (60 canales) y, por último, aquellas celdas que tengan un número de canales superior a los 90 VCH poseerán, en su interior, 6 racks de 20 VCH aproximadamente.

## Presición del Pronóstico

El hecho de multiplicar varias probabilidades, para obtener un pronóstico, acarrea grandes posibilidades de variabilidad. Indistintamente de haber utilizado, para la estimación del consumo de materiales, los mejores indicadores con el objeto de definir este comportamiento, la variabilidad siempre estará latente.

Como consecuencia, es necesario determinar cuan acertados son los mecanismos de pronóstico propuestos y proporcionar una herramienta que permita ejecutar la planificación de los inventarios contemplando esta variabilidad.

| | Error Relativo | Se |
|---|---|---|
| Celdas | 6,56% | 2 |
| Antenas | 13,76% | 18 |
| Baterias | 9,46% | 3 |
| Canales | 11,33% | 82 |
| PDB | 11,67% | 3 |
| SCAN | 6,14% | 8 |
| VCC | 4,60% | 12 |
| PA | 11,03% | 68 |
| Cable | 10,38% | 533 |
| EMPI | 15,09% | 5 |
| CSC | 12,50% | 4 |
| SIG | 24,32% | 5 |
| SCC | 16,42% | 4 |

**Tabla 9**

Empleando la ecuación exponencial que indica el acumulado de celdas puestas en servicio, se realizaron extrapolaciones en períodos donde era posible obtener el consumo de materiales. Se tuvieron errores relativos que oscilaban entre un 6% y un 25%, lo que indicó que el pronóstico es bastante bueno; de igual modo, la desviación para los errores del pronóstico (Se), se tomó como parámetro para realizar la planificación de los inventarios.

## Costos Asociados Al Inventario

Básicamente, existen cuatro tipos de costos relacionados con los inventarios: los Costos del Producto, los costos de Adquisición, los del Manejo de Inventarios, y los de Penalización (falta de existencias).

## Costos Del Producto

A nivel de planificación, este costo podría considerarse como el precio promedio de cada ítem, según las cotizaciones obtenidas en un período de tiempo específico (por lo general un año).

Precios Unitarios Promedio. (1996 - 1998)

| Ítem | Medida | Precio |
|---|---|---|
| Antenas | Unidad | $1.000,00 |
| Banco de Baterías | Unidad | $12.000,00 |
| Canal de Voz | Unidad | $1.000,00 |
| PDB | Unidad | $22.000,00 |
| SCAN | Unidad | $2.500,00 |
| VCC | Unidad | $2.000,00 |
| Amplificador (PA) | Unidad | $225,00 |
| Cable 1-1/4" | metros | $26,00 |
| EMPI | Unidad | $1.000,00 |
| CSC | Unidad | $1.000,00 |
| SIG | Unidad | $1.200,00 |
| SCC | Unidad | $2.500,00 |

**Tabla 10**

## Costos Del Manejo del Inventario

Empleando información proporcionada por el sistema administrativo de la empresa, se relacionó un aproximado de los gastos destinados a los inventarios, con el valor del stock medio de los artículos almacenados para el período 1996 – 1998.

Este cálculo dio como resultado que, aproximadamente, el 20% del valor del material está destinado a cubrir los costos inherentes al inventario.

La cantidad anterior puede ser complementada, sumándole el costo de inmovilización financiera, producto de la tenencia de los inventarios, tomando como referencia, el promedio de la tasa pasiva de interés del mercado, para el período a ser planificado.

De esta forma, el costo del manejo de los inventarios está dado, aproximadamente, por un 35,10% del valor promedio de cada ítem, para el año 1998 y 46,40% para el año 1999[5].

## Costos De Colocación

Tomando en consideración un sueldo base de 1000.000 de bolívares mensuales, para una jornada de trabajo de 176 horas al mes, se realizó un estimado de la cantidad de dinero, por hora, devengada por los analistas de planificación y compras. Esta cifra se multiplicó por el tiempo aproximado de trámite global que cumple una órden y se le sumó el costo de los servicios empleados, para el trámite de las mismas, en especial el telefónico. De esta manera se obtuvo un valor aproximado del costo de colocación de la solicitud.

| | |
|---|---|
| Bolívares por Hora | 5.681,82 Bs |
| Tiempo Global de Trámite (dos horas) | 11.363,64 Bs |
| Gastos en Servicios | 10.000,00 Bs |
| Costo de Solicitud en Bolívares | 21.363,64 Bs |
| Costo de Solicitud en Dólares | 36 $ |

Dólar Calculado a 602,5 Bs.

**Tabla 11**

## Costos De Penalización

Para este caso en particular, el costo de penalización será dado por aquellas llamadas que se dejaron de facturar, como consecuencia del retraso en la puesta en servicio de una celda.

De reportes de tráfico, proporcionados por la empresa, se obtuvo que, a grandes rasgos, una celda puede facturar en un mes, unos 80.000 dólares aproximadamente. Es importante destacar, que, esta cifra, no representa un valor totalmente representativo de la realidad, no obstante es la única opción que se presentó, para obtener una referencia de lo que el costo de penalización representa.

## El Sistema De Planeación

## Elementos De Información

Tres elementos fundamentales de información son determinantes para el proceso de planificación de los inventarios: el programa de expansión de la red celular, los inventarios, y los materiales para la conformación de las celdas. Usando estas fuentes de información, la lógica del procesamiento, proporciona tres tipos de resultados sobrelos componentes de los productos:

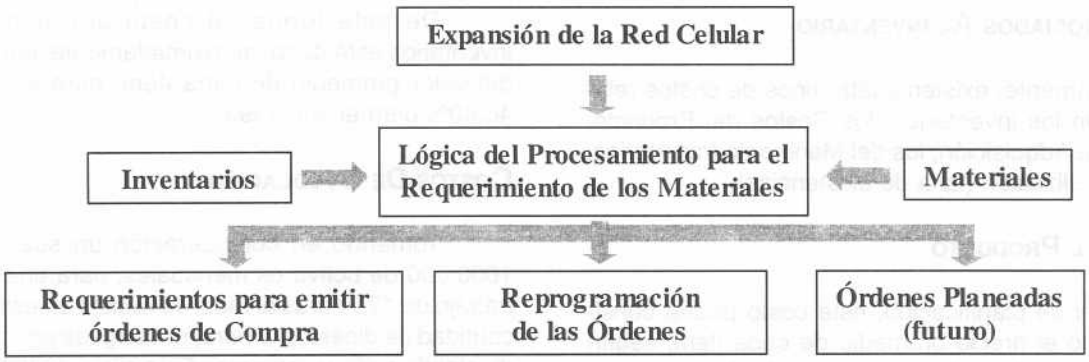



Fig. 8

**Programa de Expansión de la Red Celular:** La planificación se inicia, a partir de los pronósticos de las celdas a ser construidas, para un período de tiempo determinado. Diseñado para satisfacer la demanda de materiales, el sistema de planeación debe identificar las celdas a ser ensambladas, dentro de un horizonte específico de tiempo, con el fin de asegurar la presencia física de los insumos necesarios en el proceso de expansión de la red celular.

**Lista de Materiales (Explosión de Materiales):** Esta identifica cómo se constituyen cada una de las celdas ensambladas, especificando sus artículos subcomponentes y su secuencia de integración. Las celdas vienen a ser artículos terminados de nivel superior, de los cuales depende la demanda de los insumos que se ubican en un nivel inferior. (Ver Fig. 9)

**Los Niveles de Inventario:** El sistema debe contener información actualizada de los niveles de inventario de cada uno de los artículos en la estructura de las celdas. Esto, proporcionará información precisa sobre la disponibilidad de cada artículo controlado. De igual modo, este debe manejar información concerniente a las existencias de seguridad, para los materiales, así como el tiempo de espera para la adquisición de cada uno de los artículos.

**Lógica de Procesamiento del Sistema Estratégico de Planificación de Inventarios:** La lógica de procesamiento se inicia, aceptando el pronóstico de las celdas a ser construidas y determinando, mediante la explosión de materiales, los diversos componentes asociados a la estructura de las celdas.

De acuerdo a un horizonte de tiempo de planificación, el sistema deber calcular, para cada uno de los períodos que lo conforman (semanas, meses), cuántos de cada artículo se necesitan (requerimientos en conjunto), cuántas unidades del inventario existente se encuentran ya disponibles y la cantidad neta que se debe planear al recibir las nuevas entregas (recepción de órdenes planeadas), para luego colocar nuevas órdenes de embarque que garanticen la presencia de los materiales cuando se necesiten.

**Información para la gerencia derivada del sistema de planificación:** Como resultado de la aplicación del sistema, ha de obtenerse información suficiente que identifique, claramente, qué acciones se requieren para mantener la construcción de las celdas dentro de la planificación de frecuencias. Igualmente, como la construcción de las celdas puede estar sujeta a cambios en el tiempo, las modificaciones en los pronósticos, dictarán los ajustes correspondientes para los requerimientos de los materiales.

## La Gestión De Inventario

Se decidió emplear una modificación de un modelo general de punto de pedido.

Fig. 9

Este modelo se fundamenta en lo que se conoce como punto de reorden. El punto de reorden no es más que un número preestablecido, con el que se comparan los niveles de inventario, los cuales dependiendo de como se encuentren (por arriba o por debajo del reorden), se procede a emitir o no una nueva orden de compra.

Para este caso en particular, el número a emplear será el siguiente:

$$CEM + CET \leq De + k.\sigma_{De} \qquad [1]$$

Siendo CEM, la cantidad en mano o existencia física disponible de un material para un momento determinado y CET, la cantidad en tránsito y no recibida de dicho material.

En la expresión anterior, el primer término del lado derecho viene a representar la esperanza matemática del uso de material durante el tiempo de reposición, representada por los pronósticos obtenidos mediante la explosión de materiales. El segundo término, es el inventario de seguridad, calculado como un intervalo de confianza, multiplicando el valor de la distribución normal estándar, para una probabilidad representada por el nivel de servicio proyectado, por la desviación de la esperanza.

## El Tiempo De Reposición

El tiempo de reposición viene dado por la cota superior del intervalo de confianza obtenido, para los tiempos de entrega de cada proveedor.

## Punto De Pedido

El punto de pedido para un período i, viene dado por la demanda esperada en el tiempo de reposición (T), más su desviación:

$$R_i = \sum_{j=i+1}^{i+T} De_j + k \cdot \sqrt{\sum_{j=i+1}^{i+T} Se_j^{\,2}} \qquad [2a]$$

Ri representa el punto de reorden para el período i, Dej, la demanda esperada (pronosticada) para períodos sucesivos, Sej, su desviación, y k, el nivel de servicio. Sej no puede ser pronosticado, ya que este depende directamente de los valores del consumo de materiales, como consecuencia de esto, se asume que para el período de reposición de los materiales, la desviación del consumo de los artículos viene dada por el último valor obtenido de dicha desviación, así pues la ecuación cambia a esta nueva fórmula:

$$R_i = \sum_{j=i+1}^{i+T} De_j + k \cdot \sqrt{T \cdot Se^2_{\,Conocido}} \qquad [2b]$$

Donde nuevamente Ri viene a representar el punto de Reorden para el período i, Dej la demanda esperada (pronosticada) de un período y k el nivel de servicio. La diferencia es que ahora, el termino del inventario de seguridad, viene expresado en función de la desviacióndel pronóstico conocido Se Conocido y del tiempo de reposición T.

De esta forma se obtiene la posibilidad de desarrollar la planificación en un entorno simulado, que permite contemplar el futuro.

Obviamente, aquí se esta hablando de un proceso iterativo, el cual consiste en actualizar la variación de la demanda esperada pronosticada, en la medida en que las demandas reales se vayan conociendo. Por supuesto, esta actividad debe realizarse de acuerdo a un período de tiempo preestablecido (trimestral, semestral o anualmente), a fin de que el proceso de planificación no sea desvirtuado, al tener que trabajar prácticamente con la demanda individual de cada ítem. De esta manera, se tiene la oportunidad de medir el acierto del pronóstico, con la intención de tomar, o no, medidas correctivas al respecto.

## Nivel De Inventario (INV)

Históricamente, el concepto de inventario se ha asociado a la cantidad física existente, en almacén, de un producto que se encuentra en disponibilidad inmediata (cantidad en mano). Sin embargo, en esta definición debe contemplarse la cantidad de materiales que vienen en camino, y que aún no han sido recibidos, cuya disponibilidad existe, antes de colocar una nueva orden de compra (cantidad en tránsito).

## Cantidad En Mano (CEM)

$$CEM_i = CEM_{i-1} + \mathrm{Re}c_i - De_i \qquad [3]$$

La cantidad en mano, para un período i, se obtiene sumando la cantidad en mano correspondiente al período anterior (CEMi-1), más las recepciones hechas en el período actual (Rec i), menos el consumo estimado de ese momento (demanda esperada Dei). Obviamente, si esta cifra es negativa, la cantidad disponible será igual a cero y, el número obtenido, representaría la escasez del material.

## Cantidad En Tránsito (CET)

$$CET_i = CET_{i-1} + OCL_{i-1} - \mathrm{Re}c_i \qquad [4]$$

La cantidad en tránsito, para el período i, se obtiene sumando la cantidad en tránsito más las órdenes de compra liberadas del período anterior (CET i-1 y OCL i-1), menos las recepciones realizadas para ese momento (Rec i). Esta formula siempre arroja valores mayores o iguales a cero.

## El Reordenamiento

El reordenamiento no es más que el producto de comparar el nivel de inventario obtenido, para una período determinado (INVi), con su punto de pedido (Ri).

Si el nivel de inventario es menor o igual al punto de pedido, debe procederse a liberar una orden de compra, mientras que, si este nivel resulta ser mayor, esta acción deberá ser postergada.

Existen diversos métodos para obtener las cantidades óptimas a comprar, no obstante, según el perfil obtenido para la gestión de inventarios, por parte de la Gerencia de Planificación y Equipos, una herramienta, casi elemental, puede ser empleada para la definición de los montos a comprar en materiales: el lote económico de Wilson.

Pero, ¿por qué usar esa herramienta, si la ecuación de pronóstico obtenida, para la predicción de la demanda, posee una connotación exponencial? y el lote de Wilson se emplea cuando la demanda presenta un comportamiento determinista (conocido) y constante. La respuesta es la siguiente:

Fig. 10

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Celdas | 4,92 | 6,45 | 8,64 | 11,6 | 15,5 | 20,8 | 27,2 | 35,6 | 46,5 | 60,9 |
| Coef. De Variación | 0,14 | 0,13 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,08 |

Períodos

El gráfico , representa los promedios anuales de las celdas construidas, para 10 años consecutivos de pronóstico, a partir de 1998. Nótese como para cada año, los coeficientes de variación muestran un valor realmente bajo. Esto permite desglosar la curva de pronóstico, en rectas diferenciales, las cuales unidas, producen el incremento exponencial.

Otro factor por el cual se eligió esta herramienta, es que la misma involucra los dos costos principales relacionados al proceso de gestión de la Gerencia de Planificación y Equipos: el costo de colocación y el de almacenamiento.

$$Qóptimo = \sqrt{\frac{200 \cdot D \cdot Cs}{Ca \cdot C}} \qquad [5]$$

De esta manera, cuando el nivel de inventario de una artículo sea menor o igual al punto de reorden, debe emitirse una orden de compra por la cantidad anteriormente señalada, donde:

**Q** = Cantidad de Pedido.
**D** = Consumo (o demanda) anual de un artículo.
**C** = Precio unitario del artículo.
**Ca** = Costo de almacenamiento anual expresado como % de su precio unitario.
**Cs** = Costo de solicitud de un artículo.

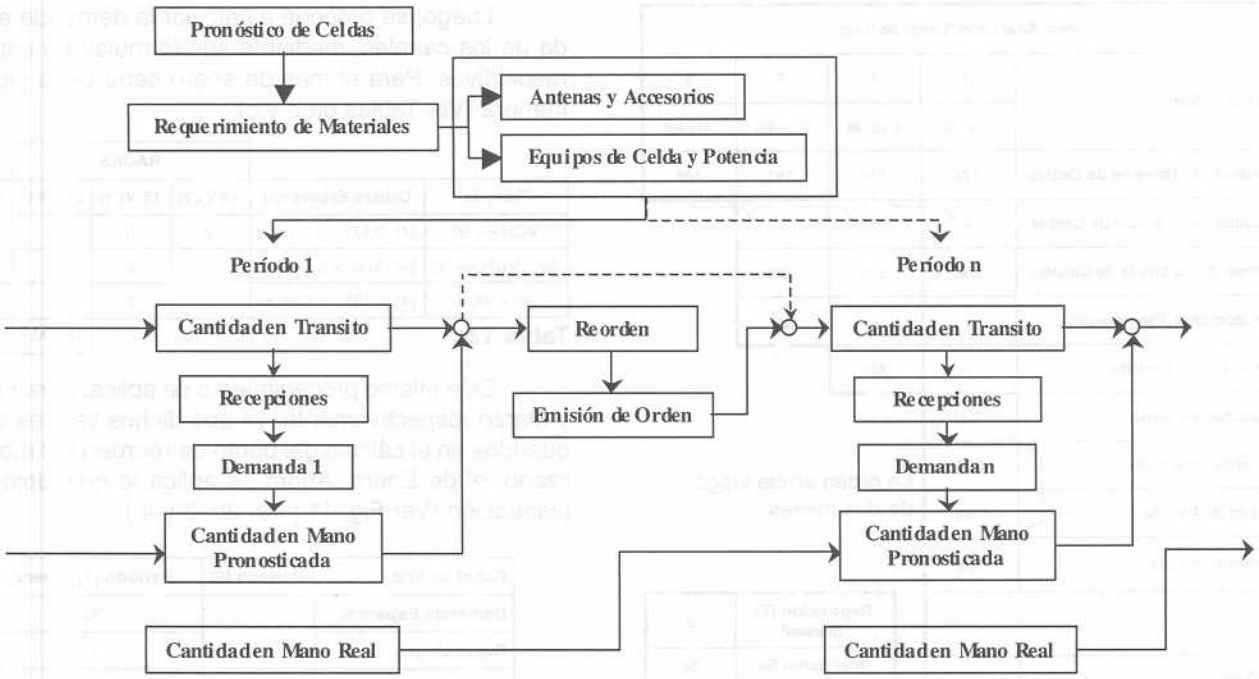
## La Planificación (Metodología)

Los modelos de punto de pedido, se caracterizan por la revisión continua de los niveles de inventario, con el fin de dilucidar si se procede o no a la emisión de una orden de compra. El sistema de planificación propuesto, busca predecir, en función de los niveles actuales de inventario y los pronosticados, las órdenes de compra requeridas tanto en la actualidad como en el futuro, con la intención, de poder satisfacer la demanda a corto, mediano y largo plazo. Así pues, la labor de revisión del inventario, más que indicar qué cantidad debe ser adquirida en ése momento, servirá para planear los requerimientos a futuro.

Supóngase que el período en el cual se efectuando el estudio de planificación, corresponde al número uno. (Fig. 11)

El pronóstico de las celdas a ser construidas y la posterior explosión de materiales ya ha sido realizada.

El primer paso a seguir consiste en determinar los parámetros requeridos, por las fórmulas de inventario para aplicarlas en el punto analizado: la cantidad que se posee en mano del período anterior, la cantidad en tránsito, recepciones pendientes y el consumo. Aquí se inicia el




$$CEM_1 = CEM(real)_0 + \mathrm{Re}\,c_1 - De_1 \ldots .. CEMn = CEM_{n-1} + \mathrm{Re}\,c_n - De_n$$

$$CET_1 = CET_0 + OCL_0 - \mathrm{Re}\,c_1 \ldots .. CET_n = CET_{n-1} + OCL_{n-1} - \mathrm{Re}\,c_n$$

$$INV_1 = CET_1 + CEM_1 \ldots .. INV_n = CET_n + CEM_n$$

**Fig. 11** $$R_1 = \sum_{j=2}^{1+T} De_j + k \cdot \sqrt{T \cdot Se^2_{Conocido}} \ldots .. R_n = \sum_{j=n+1}^{n+T} De_j + k \cdot \sqrt{T \cdot Se^2_{Conocido}}$$

proceso de simulación para la demanda y compra de materiales, pronosticando hacia adelante, la gestión de materiales para un número determinados de etapas, hasta cubrir el horizonte de planificación.

Una vez definidos los valores, para el período uno, se procede a realizar el análisis de reorden, comparando el nivel de inventario obtenido, para esta etapa, con su punto de pedido; esto permitirá establecer las órdenes de compra a ser liberadas para ese momento y actualizar las cantidades en mano, en tránsito y a ser recibidas, que se emplean en cálculos posteriores.

Finalmente, los valores requeridos para realizar el estudio de planificación, se obtienen mediante la aplicación secuencial de este procedimiento, en cada período.

Por último, una consideración muy importante, debe ser empleada como complemento del cálculo de las cantidades de compra.

Si el punto de pedido, resulta ser mayor al nivel de inventario, la cantidad a comprar vendrá dada por el siguiente número:

$$\mathrm{Entero\,Superior}\left(\frac{De_i}{Q}\right) \cdot Q \qquad [6]$$

El número multiplicado por la cantidad de Wilson, es la cantidad de pedidos necesarios para nivelar la demanda, con la cifra que está siendo solicitada. Esto se debe, a que la demanda esperada, está siendo aproximada a un valor constante en el tiempo, de esta forma, si la demanda del período $\mathbf{De_i}$, es mayor a **Q**, antes de culminar esta etapa, habrá que emitir un nuevo pedido.

## Ejemplo De Planeación

En las tablas se señala, la planeación para un meses del año 1998, de uno de los ítems más importantes del grupo control de materiales: Los Canales de Voz.

| Ítem Analizado (Canal de Voz) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Período (Mes) | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | Ene-98 | Feb-98 | Mar-98 | Abr-98 |
| Acumulado Mensual de Celdas | 172 | 176 | 181 | 185 |
| Incremento Mensual de Celdas | 4 | 5 | 4 | |
| Demanda Estimada de Canales | 300 | 300 | 300 | |
| Recepciones Programadas | - | - | 322 | |
| Cantidad en Transito | - | 322 | | |
| Cantidad en Mano | 300 | | | |
| Nivel de Inventario | 300 | | | |
| Punto de Pedido | 791 | | | |
| Orden Planeada | 322 | | | |
| | | | | |
| Q Óptimo | 27 | | | |
| Número de Pedidos | 12 | | | |

La órden arriba luego de dos meses

**Tabla 12a**

Tabla de Valores Iniciales y Parámetros para el enjercicio.

| | |
|---|---|
| Reposición (T) (Meses) | 2 |
| Desviación Se | 82 |
| 95% de Confianza | k=1,65 |
| Valores Iniciales | |
| CEM (o) | 600 |
| CET (o) | 0 |
| Costos | |
| Almacén | 36% |
| Unitario | $1.000,00 |
| Colocación | $36,00 |

**Tabla 12b**

Para mostrar el cálculo de los valores, tómese como referencia el período uno (Enero). El paso inicial, consiste en identificar las celdas asociadas a los materiales; para ello, debe pronosticarse el acumulado de celdas, para tres meses sucesivos, al analizado, además del mes de Enero: Febrero, Marzo y Abril. (Ver Fig. 7 y Tabla 12a)

Celdas (1) Ene = $167,89.e^{0,024.(1)} \approx 172$ Celdas
Celdas (2) Feb = $167,89.e^{0,024.(2)} \approx 176$ Celdas
Celdas (3) Mar = $167,89.e^{0,024.(3)} \approx 181$ Celdas
Celdas (4) Abr = $167,89.e^{0,024.(4)} \approx 185$ Celdas

Una vez obtenidas **las celdas acumuladas de cada mes**, se definen los incrementos **(celdas construidas)** de cada periodo , esto se hace restando las celdas pronosticadas para dos meses consecutivos:

Incremento (1) Ene = Celdas (2) – Celdas (1) = 4
Incremento (2) Feb = Celdas (3) – Celdas (2) = 5
Incremento (3) Mar = Celdas (4) – Celdas (3) = 4

Luego, se procede a calcular la demanda esperada de los canales, mediante sus fórmulas de explosión respectivas. Para el mes de enero sería de la siguiente manera (Ver Tablas 8a,b y c):

| | | RACKS | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Rangos | Celdas Esperadas | 10 VCH | 15 VCH | 20 VCH | Canales |
| VCH <= 30 | (4).(0,47) ≈ 2 Celdas | 3 | 0 | 0 | 60 |
| 30 < VCH <= 90 | (4).(0,38) ≈ 2 Celdas | 3 | 2 | 0 | 120 |
| 90 < VCH | (4).(0,15) ≈ 1 Celdas | 0 | 0 | 6 | 120 |
| | | | | TOTAL: | 300 |

**Tabla 12c**

Este mismo procedimiento se aplica, para Febrero y Marzo respectivamente, ya que dichos valores son requeridos en el cálculo del punto de reorden del mes analizado, el de Enero. Ahora se aplica la metodología de planeación (Ver Fig. 11 ; Ec. 2b, 3 y 4 ):

| Canal de Voz | Período (0) | Período (1) (Enero) |
|---|---|---|
| Demanda Esperada | | 300 |
| Recepciones | | 0 |
| Cantidad en Mano | 600 | 600 + 0 -300 = 300 |
| Cantidad en Tránsito | | 0 |
| Nivel de Inventario | 600 | 300 + 0 = 300 |

**Tabla 12c**

| PUNTO DE REORDEN (Período 1) | | |
|---|---|---|
| Demanda Esperada (Tiempo Reposición) | 300 + 300 Feb Mar | $600 + 1,65.\sqrt{(2).(82)^2} = 791$ |
| Desviación Se | 82 | |

**Tabla 12a**

El nivel de inventario es menor o igual al punto de reorden, entonces se procede a ordenar (Ver Ec. 5 y 6 ):

**Canales de Voz**

$$Q = \sqrt{\frac{200 \cdot 12 \cdot 300 \cdot 36}{1000 \cdot 36}} = 26,83 \text{ Canales}$$

Número de Pedidos = 300/26,83 ≈ 12 pedidos

Cantidad a Comprar = (26,83).(12) ≈322 Canales.

Finalmente, el período analizado ha sido totalmente definido y lo que sige es un proceso repetitivo para el resto de los meses. De esta manera se está simulando la planificación de inventarios para un horizonte de tiempo determinado.

Ahora queda en manos del analista la toma de decisiones en cuanto al proceso de planeación.

A continuación se muestran las tablas resumen, donde se señala la reducción de los costos inherentes al manejo de los inventarios para el año de 1998 mediante la aplicación del sistema de planificación para este período.

**Tabla 13a**

| | Cantidad en mano | Manejo de Inventario |
|---|---|---|
| | Reducción | |
| Antenas | 65,85% | $ 113.724 |
| Baterías | 62,50% | $ 252.720 |
| Canal Voz | 69,19% | $ 1.078.272 |
| PDB | 25,00% | $ 92.664 |
| SCAN | 33,33% | $ 84.240 |
| VCC | 69,57% | $ 134.784 |
| Amplif. (PA) | 23,01% | $ 49.280 |
| Cable 1-1/4" | 54,45% | $ 211.796 |
| EMPI | 72,22% | $ 54.756 |
| CSC | 16,67% | $ 12.636 |
| SIG | 60,61% | $ 101.088 |
| SCC | 29,41% | $ 52.650 |
| | Media | Total |
| | 48,48% | $ 2.238.611 |

| Celdas Desarmadas (Para Nuevas Construcciones) | |
|---|---|
| Reducción | Ahorro |
| 100,00% | $480.000,00 |

**Tabla 13b**

| Reducción Solicitudes | |
|---|---|
| Número | Costo |
| 70,83% | $ 4.896,00 |

**Tabla 13c**

| Relación de Costos Año (1998) | |
|---|---|
| Almacenamiento: | $ 2.238.611 |
| Colocación: | $ 4.896,00 |
| Penalización: | $ 480.000,00 |
| Ahorro Total: | $ 2.723.507 |

**Tabla 13d**

## Conclusiones y Recomendaciones

Tras haber culminado el proceso de análisis, desarrollo y evaluación del Sistema Estratégico de Planificación de Inventario, se puede afirmar que, el cumplimiento de los objetivos propuestos en la investigación, se consiguió.

El soporte técnico, para la toma de decisiones vinculadas al manejo de los materiales, aportando herramientas capaces de respaldar el estudio de la demanda de materiales, la planeación del inventario y el análisis de los costos asociados a esta gestión, incluyendo además, el desempeño de los proveedores así como los procedimientos requeridos para brindar, al planificador, la oportunidad de retroalimentar la información con la cual gerencia el manejo de los materiales, permitiéndole ajustar, en un momento determinado, los esquemas básicos de planeación y adaptarlos a las necesidades futuras de la empresa.

Según el perfil obtenido, del manejo y consumo de los materiales, se recomienda la aplicación del sistema propuesto, *bajo un período experimental*, sobre el grupo control de insumos que se define en la investigación. Esto permitirá determinar los niveles de servicio requeridos, para la gestión de estos artículos, así como el comportamiento de los pronósticos establecidos, los niveles de inventario, los costos y tiempos involucrados. Así mismo, del resultado de esta prueba, podrán crearse las políticas de reestimación de parámetros, cálculo de los niveles de inventario y cantidades de pedido, además de establecer los procedimientos para implementar, o no, el sistema, aquellos materiales de menor significado estratégico.

Para esta etapa introductoria, se sugiere trabajar en un horizonte de planificación semestral, con periodos de revisión y cálculo de parámetros mensual, a fin de establecer una evaluación minuciosa del sistema.

A nivel Gerencial, se recomienda el uso de indicadores que permitan medir la función logística, para establecer la competitividad de la empresa en el mercado e incentivar la mejora: Rotación de inventarios, costos del manejo de inventario, tasas de cumplimiento de pedidos, exactitud del pronóstico, etc.

Es conveniente implementar políticas de distribución de información con el fin de obtener una gestión más acertada, a través de calendarios y eventos, para el intercambio de información, y definir un control que asegure reacciones rápidas, a los errores, en el pronóstico o en la estimación de parámetros.

Incorporar elementos tales como: revisiones periódicas de los niveles de materiales, estándares ajustados estacionalmente, cantidades eficientes de reorden con ajustes menores, basados en señales de demanda actualizada, así como el contemplar prácticas tales como el outsourcing para los artículos de baja criticidad, pueden favorecer ampliamente la gestión de la empresa en general.

Finalmente, el método propuesto para la planificación, representa una alternativa para soportar el proceso de gestión de los inventarios, en función de las características de la Gerencia de Planificación y Equipos de MODELO C.A., no obstante, su implementación, conlleva la responsabilidad de asumir las tareas de cálculo y estimación de las que depende esta herramienta, por tal motivo, se sugiere evaluar esquemas procedimentales que permitan llevar con éxito esta labor: desarrollo de herramientas complementarias en computadora, estudio de compatibilidad entre los archivos aportados por el sistema administrativo de la empresa y los recursos empleados para la planificación, etc.

## Notas

1. **Celda:** Es el área en que se divide cada zona de cobertura y en las cuales se ubican las estaciones celulares, que consisten en equipos tales como: antenas, equipos para procesamiento de voz y la conexión con la central.

2. **Racks:** Son estructuras físicas con apariencia de estantes rectangulares, donde se colocan el grupo de elementos que constituyen los equipos de celda. Estos se asocian comúnmente a la configuración de las radio baes: racks de 10, 15 o 20 VCH (Voice Channels o canales de voz). Suelen instalarse tantos racks como la sumatoria de canales logre suplir mejor la planificación de la celda.

3. **Canales, VCH o Canal de Voz:** Frecuencia que se le asigna a un móvil (Teléfono Celular), para transmitir y recibir señales de voz. En las celdas estan representados físicamente por tarjetas rectangulares empotradas en los racks.

4. Función de probabilidad discreta, aproximada a una distribución exponencial contínua.

5. Los Indicadores macoreconómicos empleados en el complemento del costo de manejo de inventario (la tasa pasiva del mercado) se obtuvo como el promedio anual de las estimaciones publicadas por las siguientes fuentes: VenEconomía, Metroeconomía y PDVSA.

## Refenecias Bibliográficas


1. ANIXTER. Wire & Cable Catalog. S/e. USA, 1996. Glosario.

2. ARVELO, Francisco. Guía de Muestreo Aleatorio U.C.A.B. S/e. Venezuela. Pág. 1 –20.

3. BUFFA, Elwood. Sistemas de Producción e Inventario Planeación y Control. S/e. Editorial Limusa. México, 1992. Pág. 40 – 120.

4. CORPORATION BELLSOUTH. Documentación de Operaciones de Mercadeo. (Programa de Orientación – Introducción al Sistema Celular). S/e. USA, 1990. Pág. 3.

5. DÍAZ, Ángel. Gerencia de Operaciones – Inventario. IESA. Venezuela, 1998. Pág.1-26.

6. EVERETT, Adam. Administración de la Producción y las Operaciones. 4ta edición. Prentice Hall. México 1991. Pág. 41-47; 83-126; 494-520; 530-610.

7. FREUND, John. Estadística Elemental. 8va edición. Prentice Hall. México, 1994. Pág. 75-78; 217-220; 260-262; 373-375; 428; 436; 460-465.

8. GNB TECHNOLOGIES. Guía de Productos. S/e. USA, 1995. S/p.

9. POWERSAFE BATTERIES LTD (INFORMATION). S/e. USA 1997. S/p.

10. RELTEC CORPORATION, Communications Power Equipment and Systems Catalog. S/e. USA, 1996. S/p.

11. TAHA, Hamdy. Investigación de Operaciones. 2ª edición. Alfaomega Editores. México, 1991. Pág. 421-435; 552-610.

12. TELCEL CELULAR C.A. Guía de Inducción Técnica. S/e. Venezuela, 1996. S/p.

13. WALPOLE MYERS. Probabilidad y Estadística. 4ta edición. Mc Graw Hill. México, 1996. Pág. 143-150; 170; 356-360; 378-398.

# Sistema Tuy III
# Pruebas de Golpe de Ariete y Puesta en Servicio de la Tercera Línea

*Ing. Horacio Luis Velasco*


## Sinopsis

Luego de 14 años de servicio, se tomó la decisión de ampliar la capacidad de conducción del sistema Tuy III, con la instalación de una bomba adicional en cada una de las estaciones 32 y 33, que conducen el agua tratada hasta Caracas. Parte de los trabajos requeridos consistieron en la graduación de los mecanismos de accionamiento de las válvulas de cierre controlado del sistema, que permiten la atenuación de los efectos del régimen transitorio o golpe de ariete hasta valores admisibles por los componentes del sistema de aducción. Si los mecanismos de accionamiento se encuentran desgraduados o no permiten el correcto funcionamiento de los dispositivos de atenuación, el sistema puede fallar, a través de una ruptura de la tubería (por exceso de presión) o daños en los equipos de bombeo (por exceso de giración en sentido inverso al normal); lo cual pudiese ocurrir en un lapso de tiempo de 5 a 10 segundos (las bombas) o de 30 a 60 segundos (la tubería). Desde su instalación en 1980, los mecanismos de protección del sistema Tuy III han tenido desgaste, de forma que no protegían adecuadamente al sistema; al igual que ocurre en los sistemas Tuy I y Tuy II. El proceso de graduación y ajuste de los mecanismos requiere de instrumentos de medición y personal técnico especializados, debido a la rapidez y magnitud de los cambios en las variables que se desean medir. Por este motivo, y para efectuar periódicamente la graduación de los elementos de atenuación del golpe de ariete en todas sus estaciones de bombeo, Hidrocapital tomó la decisión de formar un equipo local de trabajo para realizar estas actividades. La especial importancia de las pruebas y ajustes en el Tuy III radica en que, por primera vez fueron realizadas enteramente por empresas venezolanas especializadas en las diversas actividades requeridas. Las pruebas de puesta en servicio y ajuste de los mecanismos de control resultaron exitosas; se ha logrado una excelente descripción analítica del fenómeno transitorio en el sistema; se realizaron las graduaciones y ajustes a los mecanismos de accionamiento, los cuales se han mantenido hasta el presente y han permitido la operación de tres bombas en cada estación del Tuy III, de forma continua a partir de febrero de 1994, con un aumento del suministro de agua a Caracas de unos 3 m3/s.


## I. Introducción

El sistema Tuy III actualmente aporta un caudal del orden de 10 a 11 m3/s para el abastecimiento del Area Metropolitana de Caracas, cuya demanda se estima en unos 16 a 17 m3/s. El sistema consta de dos estaciones de bombeo, denominadas 32 y 33, y una tubería de acero de 18,2 km de longitud y 2,54 m de diámetro que conduce el agua desde la planta de tratamiento de Caujarito, cerca de Charallave, a la cota 340 msnm, hasta los estanques de Baruta, en Sartenejas, a la cota 1.080 msnm, para ser distribuida a la ciudad. El sistema fue puesto en servicio en 1980 con la instalación de tres equipos de bombeo en cada estación, de los cuales dos eran para operación permanente y otro como reserva en caso de falla o mantenimiento (2+1); en ese entonces, la capacidad de bombeo era del orden de 7 m3/s, suficiente para enviar hacia Caracas el caudal disponible en la planta de Caujarito con agua proveniente del embalse Camatagua, cerca de Camatagua, en el estado Guárico. La capacidad final del sistema de conducción es de 21 m3/s con la instalación de (6+1) bombas, cada una con capacidad de elevar 3,25 m3/s a una altura de 404 mca, para conducir el agua proveniente del embalse de Camatagua, y la proveniente del futuro sistema Tuy IV (planificado con puesta en servicio en 1990), a ser tratada también en Caujarito. Ante el retraso en la construcción del sistema Tuy IV, Hidrocapital tomó la decisión de aumentar el caudal enviado desde el embalse Camatagua hasta la planta de Caujarito, mediante la construcción de la es-

tación de bombeo de relevo de Mamonal, y algunas mejoras en la capacidad hidráulica de la planta de Caujarito, realizadas en 1992, con un incremento del caudal disponible para Caracas del orden de 2,5 m3/s; lo cual permitió instalar y poner en servicio un equipo adicional de bombeo en cada estación del sistema Tuy III, denominado tercera línea, en 1993.

Ahora bien, durante la operación normal de un sistema de bombeo, además de las condiciones estables o permanentes de flujo, ocurren eventos puntuales, tales como el accionamiento y/o desconexión programadas de las unidades de bombeo, o la desconexión en emergencia de una o todas las bombas por falla del equipo o del suministro de energía. Estos eventos inducen un comportamiento en el sistema de bombeo que se caracteriza por variaciones temporales de los parámetros característicos de funcionamiento en la estación de bombeo, como lo son: la velocidad de giro de las máquinas y el caudal y presión en la tubería. Los cambios de caudal y presión en una sección particular del sistema se transmiten elásticamente como ondas de presión a lo largo de las conducciones hasta sus puntos extremos, donde ocurre un reflejo de esas ondas. Se configura entonces, en el sistema de bombeo, un conjunto de ondas primarias y reflejadas, superpuestas, que definen en cada punto unas condiciones particulares de caudal y presión interna. Este fenómeno, de naturaleza variable en el tiempo, se denomina Régimen Transitorio o Golpe de Ariete, y puede ocasionar presiones internas elevadas, hasta el punto de poner en peligro la integridad estructural de la tubería o de las bombas si no se protege debidamente al sistema de conducción. En general, y para una aducción particular por bombeo, los presiones derivadas del régimen transitorio son más severas en cuanto mayor es el caudal conducido.

A manera de ilustración del fenómeno transitorio se ha preparado la figura N° I-1, en la cual se muestran dos de los registros medidos de la evolución temporal de la presión en la tubería inmediatamente aguas abajo (descarga) de la estación de bombeo 32, luego de la detención en emergencia de una bomba en operación, un registro corresponde a la bomba instalada en la quinta posición, G5, y el otro a la bomba instalada en la séptima posición, G7, del patio de bombas. En la figura hay dos aspectos relevantes que se deben comentar: (i) la diferencia en las presiones transitorias, aún cuando las bombas son iguales entre sí; (ii) y el valor de la presión máxima observada en la detención de G5, de 650 mca, 210 mca mayor que la presión derivada del régimen permanente, de 440 mca; mientras que la presión máxima luego de la detención de G7 es de sólo 475 mca. La explicación de las diferencias se observa en la figura N° I-2, en la cual se muestra la evolución del comportamiento de uno de los elementos de protección, válvulas

*Figura N° I-1*
*Aducción Sistema Tuy III - Estación de Bombeo 32 - Detención de (1) Bomba*

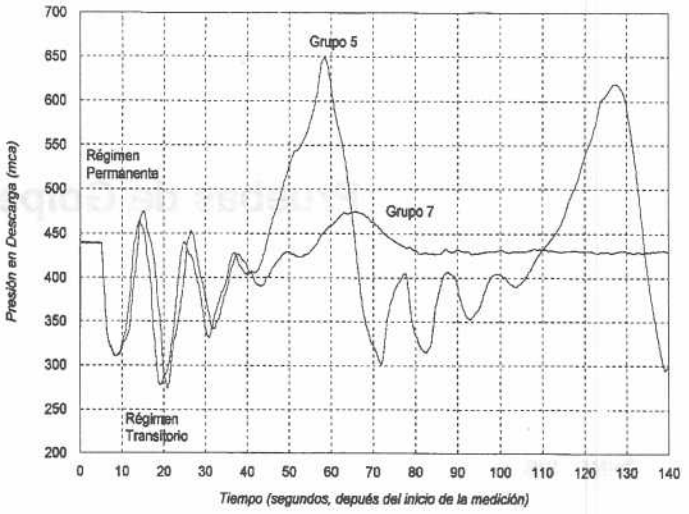
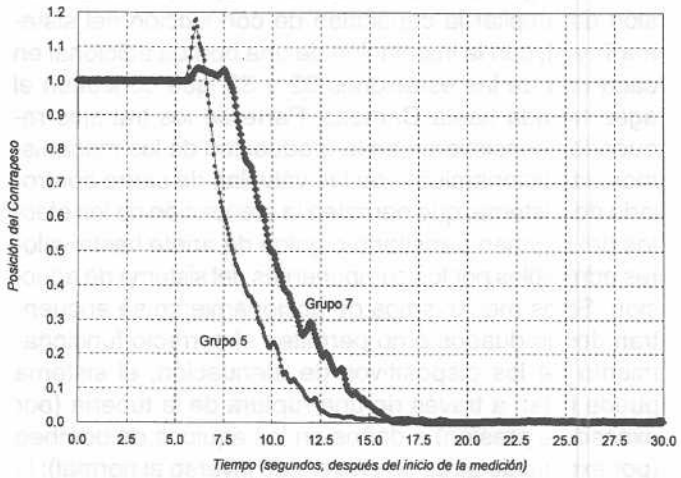
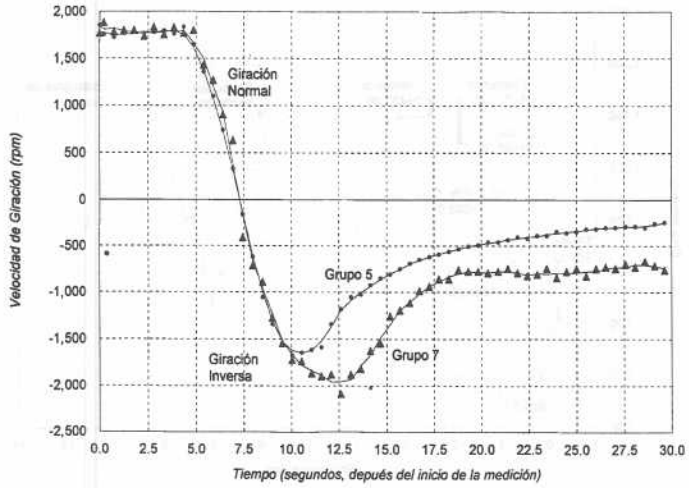



*Figura N° I-2*
*Aducción Sistema Tuy III - Estación de Bombeo 32 - Detención de (1) Bomba*




de cierre controlado instaladas en el ramal de descarga de cada equipo de bombeo, la cual cierra automáticamente luego de la falla en emergencia de la bomba, con un mecanismo oleo-hidráulico con contrapeso que mueve el obturador de la válvula en un movimiento ajustable de cierre. Los registros muestran, primero, un desfase en el accionamiento, inducido por los relays de caída de tensión, y luego, una diferencia en el patrón de cierre de las válvulas de los grupos G5 y G7. La válvula de G5 cierra en un tiempo de 8,0 segundos, mientras que la de G7 cierra en unos 10,6 segundos. Para una misma posición, el margen se incrementa de 1 segundo al inicio del movimiento hasta 2,6 segundos al cierre total. Esta diferencia en el patrón de cierre es suficiente para ocasionar la diferencia de presiones transitorias observadas. La diferencia en el cierre de las válvulas induce no solamente un cambio en la presión en la tubería, sino también un cambio en el comportamiento de los equipos de bombeo. En efecto, en la figura N° I-3 se muestran los registros de la evolución transitoria de la velocidad de giro de los grupos G5 y G7, a partir de la velocidad del régimen permanente 1.790 rpm,

Figura N° I-3
Aducción Sistema Túy III - Estación de Bombeo 32 - Detención de (1) Bomba




hasta su detención. Se observa que las bombas giran a velocidades cada vez menores y luego comienza un movimiento giratorio en sentido inverso al normal, para luego detenerse gradualmente. Este fenómeno se debe a que el flujo en la tubería invierte su sentido y se devuelve, como parte de su evolución transitoria, y disipa energía en el flujo a través de la válvula y bomba. En sentido inverso se alcanzan velocidades de 1.670 y 2.100 rpm, grupos G5 y G7, respectivamente. La norma de fabricación de las bombas indica que estas con capaces de soportar velocidades inversas de 2.160 rpm, por lo que se está cerca del límite admisible por los equipos, que puede ser sobrepasado en otras condiciones, más severas, de flujo transitorio. Cabe destacar que durante otro ensayo, luego de la detención simultánea de los grupos G5 y G7, se observaron velocidades inversas de 2.760 rpm durante 1 segundo, y mayores de 2.160 rpm por un período de 6 segundos. Por último, cabe mencionar otro aspecto importante puesto de manifiesto en la figura N° I-1 (presión en la descarga, detención de una unidad de bombeo), en la cual se observa una oscilación de presión durante los primeros 30 segundos del fenómeno transitorio, seguida de un aumento hacia los 60 segundos luego de la desconexión, y la presión aumenta en unos 100 mca; este fenómeno es ocasionado por el cierre controlado de grupos de válvulas instaladas en diversos puntos de la tubería, cuyo funcionamiento es tal que admiten aire y luego expulsan agua con un cierre controlado graduable, denominadas válvulas de chorro. En este punto vale mencionar la rapidez de la evolución del golpe de ariete: en 10 segundos ocurre el accionamiento de la válvula de cierre controlado en la estación de bombeo, en 10 segundos se ha alcanzado la velocidad máxima inversa en las bombas, en 60 segundos ha ocurrido la presión máxima en la descarga; en un minuto puede ocurrir la falla de alguno de los componentes de la aducción, si no son capaces de resistir las solicitaciones, presión en la tubería y velocidad inversa en las bombas, inducidas por el golpe de ariete.

Se observa que la respuesta transitoria del sistema dependerá no sólo de las condiciones iniciales, representadas por el número de bombas en operación, sino también de la graduación de los mecanismos de control de los elementos de protección del sistema ante el régimen transitorio. Ahora bien, las ecuaciones descriptivas del fenómeno transitorio son más complejas que las ecuaciones que describen el régimen permanente en tuberías a presión. Se requiere de la integración numérica de un sistema de ecuaciones diferenciales, el cual permite determinar en cada punto de la tubería, y durante el transcurso del tiempo, las condiciones de caudal y presión, así como el comportamiento de los equipos de bombeo. Para lograr una adecuada concordancia entre los resultados de un modelo de cálculo y la realidad se debe tener buena información sobre las características físicas de la conducción, tales como diámetros, longitudes, tipos de material y espesores de la tubería, altimetría, características de comportamiento y graduación de los equipos de bombeo y elementos de atenuación del golpe de ariete, y de la celeridad de transmisión del tren de ondas a lo largo de la tubería. Si, además de la información indicada, se tienen observaciones del comportamiento transitorio del sistema en algunas situaciones, es factible mejorar la calidad de su representación matemática, mediante un proceso de ajuste de parámetros, denominado calibración; y se tendrá, entonces, mayor confianza en los resultados del modelo y se podrá inferir la respuesta transitoria del sistema en condiciones que no pueden ser probadas de antemano, tal como el aumento del número de unidades de bombeo instaladas hasta su capacidad máxima prevista y/o probar otros elementos de atenuación en caso de ser necesario.

Es el objetivo de las pruebas de puesta en servicio del sistema de bombeo, efectuar la graduación de los mecanismos de protección del golpe de ariete en valores tales que la respuesta transitoria del sistema (presiones y velocidades de giro de las bombas) se encuentre dentro de los valores admisibles por los equipos; y, simultáneamente, realizar mediciones de los parámetros hidráulicos que permitan efectuar una calibración precisa de los modelos de cálculo de golpe de ariete en ese sistema de conducción, con el objetivo de predecir con mayor precisión el efecto probable de los ajustes que sean realizados en los elementos de protección durante la puesta en servicio. Cabe destacar que, antes de proceder a la graduación de los elementos de protección es necesario tener un modelo de cálculo representativo de la conducción, para así evitar una graduación que induzca solicitaciones estructurales inadmisibles en el sistema. En este sentido, se han

tomado los resultados de las pruebas realizadas en el mismo sistema durante 1980 en la oportunidad de puesta en servicio inaugural del sistema Túy III, con dos bombas en cada estación.

## II. Características del sistema de aducción Túy III

En este punto del informe se destacan las características de los principales componentes del sistema de conducción Túy III, que resultan de interés para la comprensión de los resultados de las pruebas de bombeo, así como necesarias para la calibración de los modelos de cálculo del golpe de ariete.

### II.1 Tuberías

El trazado de la conducción ha sido dividido en dos tramos; el primero entre la estación de bombeo N° 32 y el estanque de succión de la estación de bombeo N° 33, con una longitud aproximada de 7,7 km, y el segundo tramo entre la estación de bombeo N° 33 y los estanques de Baruta, con una longitud del orden de 10,5 km. La altimetría de la tubería ha sido obtenida de los planos de construcción, y los tramos de aducción se presentan en las figuras N° II-1 y II-2, respectivamente. La aducción tiene un diámetro interno de 2.540 mm (100"), y es fabricada en acero, con juntas soldadas, y de dos clases diferentes de material: acero ASTM A-36, con punto cedente no menor de 2.500 kgf/cm2 y esfuerzo de ruptura no menor de 4.200 kgf/cm2, y espesor 16 mm; y acero WELTEN-60, con punto cedente no menor de 4.550 kgf/cm2 y esfuerzo de ruptura no menor de 5.600 kgf/cm2, de espesor variable de 16 hasta 30 mm, dependiendo de las presiones de servicio. La celeridad de transmisión de las ondas de presión en las tuberías se ha estimado, en promedio, en 960 m/s, casi la velocidad del sonido en el medio líquido confinado.

*Figura N° II-1*
*Aducción Sistema Tuy III - Tramo Estación de Bombeo 32 a Estación de Bombeo 33*

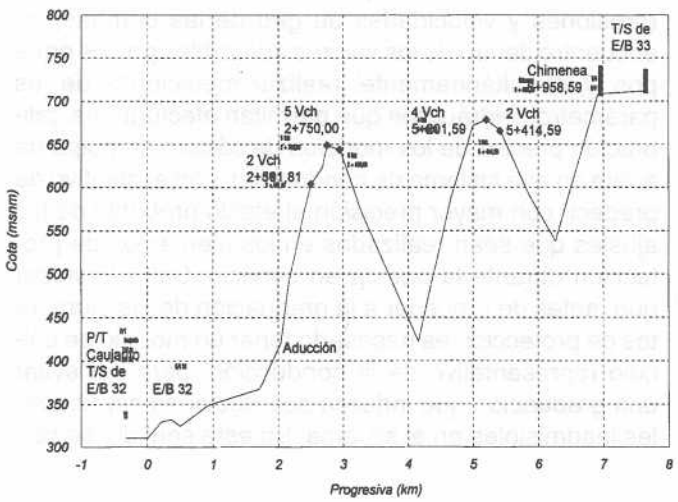
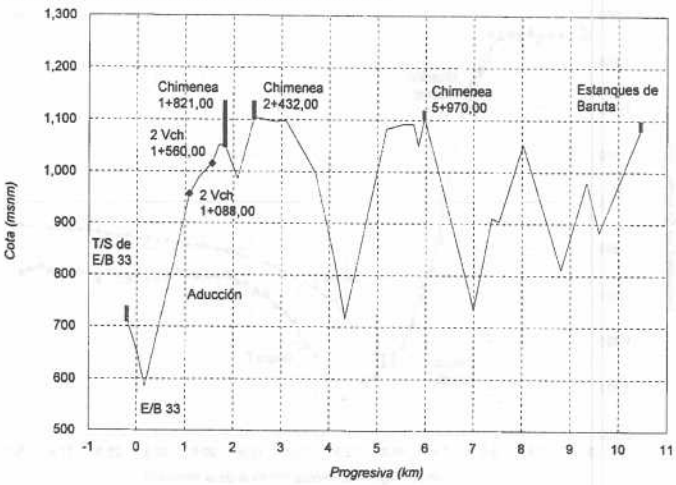



*Figura N° II-2*
*Aducción Sistema Tuy III - Tramo E/B 33 a Estanques de Baruta*



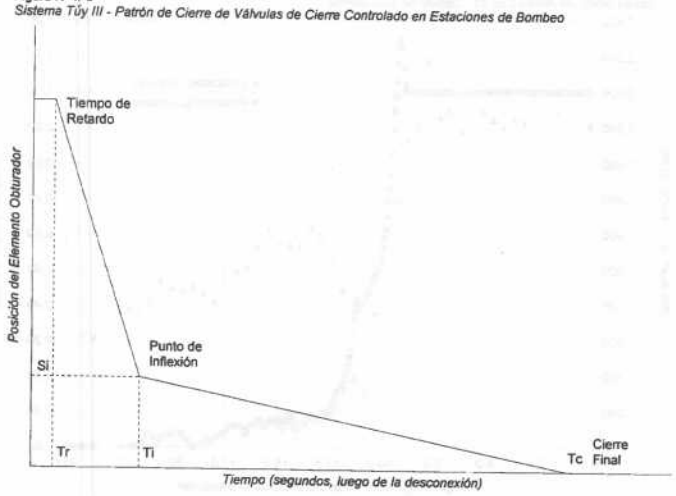

### II.2 Moto-bombas

Para la representación del comportamiento de los grupos de bombeo en régimen permanente y transitorio, se usa la información proveniente de las pruebas realizadas en los prototipos, proporcionada por Sulzer de Venezuela. Las características de las bombas permiten determinar la altura de bombeo y torque en el eje para cada combinación de caudal y de velocidad de giro. La representación es adimensional, sobre la base de las características nominales de los equipos de bombeo, en su punto de mayor eficiencia; los cuales corresponden a una velocidad de giración de 1.790 rpm, un caudal de 3,25 m3/s y altura de bombeo 404 mca. En cada estación de bombeo se ha previsto la instalación de un máximo de (6+1) unidades, todas iguales entre sí.

### II.3 Válvulas de Accionamiento Controlado en las Estaciones de Bombeo

En los ramales de impulsión de las estaciones de bombeo se han instalado válvulas de cierre controlado, tipo paso anular, de diámetro 800 mm. El comportamiento hidráulico de las válvulas puede ser expresado como una pérdida localizada de energía, $dh = k\,V^2/2g$, en la cual el término k representa el coeficiente de pérdida de energía, en función de la posición del elemento obturador, variable en el tiempo según un diagrama similar al indicado en la figura N° II-3. Las válvulas tienen mecanismos óleo-hidráulicos, auxiliados por contrapesos, que permiten un movimiento del elemento obturador en forma lineal, en dos etapas, con grado de libertad en cuanto a la fijación de los parámetros Si, Tc, Ti, indicados en la figura. El parámetro Tr es el tiempo de retardo en el accionamiento del mecanismo de control. En los cálculos, de acuerdo con las pruebas anteriormente realizadas en el sistema, y corroborado por las realizadas en enero y febrero de 1994, se ha toma-

Figura N° II-3
Sistema Túy III - Patrón de Cierre de Válvulas de Cierre Controlado en Estaciones de Bombeo




do un valor de 1 segundo. La curva de resistencia hidráulica de las válvulas, en flujo normal e inverso, provienen de sus fabricantes.

## II.4 Válvulas de Chorro

Estas válvulas se han instalado en línea como elementos de protección ante el golpe de ariete. Su función es permitir el ingreso del aire a la tubería cuando la presión interna tienda a ser menor que la atmosférica y, posteriormente, actuar como una válvula de alivio, mediante la graduación del tiempo de cierre de la válvula. La capacidad de descarga puede alcanzar valores de 10 a 20 m3/s, debido al número de válvulas instaladas. El fabricante ha suministrado las características del comportamiento de la válvula en sus fases de admisión y expulsión de aire, y durante la expulsión de agua; así como las características del cierre controlado del dispositivo, lineal en una etapa. Las válvulas de chorro tienen un diámetro de 20" (500 mm), y su número y ubicación se indican en los perfiles de la tubería, figuras N° II-1 y II-2.

## II.5 Tanques de Succión

Cada estación de bombeo tiene un estanque de succión abierto a la atmósfera, cuya función principal es permitir flexibilidad en la operación normal del sistema, y, adicionalmente, actúa como amortiguador de los efectos transitorios. El estanque de la E/B 32 se encuentra aguas abajo de la planta de tratamiento de Caujarito, con cota de rebose 340,01 msnm y de fondo 335,24 msnm. El estanque de la E/B 33 tiene cota de fondo 711,61 msnm y de rebose 734,64 msnm. La ubicación de los tanques se indica en el perfil de la tubería, figura N° II-1.

## II.6 Chimeneas Abiertas

A lo largo de la conducción se han colocado cuatro chimeneas abiertas a la atmósfera, cuya función principal es la de atenuación de los efectos del golpe de ariete. El diámetro de las chimeneas es de 1.524 y 2.540 mm (60" y 100"), y su ubicación se muestra en los perfiles de la aducción, figuras N° II-1 y II-2.

## II.7 Condiciones Piezométricas de Borde

Corresponden a los niveles del agua en algunos de los componentes del sistema que son independientes de las pruebas realizadas y de la evolución del régimen transitorio en la aducción. Estas condiciones están constituidas por las cotas del agua en el estanque de succión de la Estación de Bombeo 32, con un rango de variación entre 335,2 y 340,0 msnm, y por la cota del agua en los estanques de Baruta, comprendida entre 1083,6 y 1096,1 msnm. En algunos casos, ocurre una condición interna de borde, cuando la descarga del bombeo ocurre en la chimenea ubicada en la progresiva 5+970 del segundo tramo, con cota de fondo 1103,59 msnm. Estas condiciones, conjuntamente con los resultados de las mediciones de las pruebas de golpe de ariete, serán usadas para la calibración de los modelos de cálculo del régimen transitorio.

# III. Pruebas de Campo y Medición de Parámetro Hidráulicos

Durante los meses de enero y febrero de 1994 se llevaron a cabo las pruebas requeridas para la puesta en servicio del tercer grupo de bombeo en las estaciones N° 32 y 33 del sistema Túy III. Se contó con aparatos de medición apropiados para observar la respuesta transitoria del sistema: velocidad de giración de los motores; patrón de cierre de las válvulas de control; presiones en la succión y descarga de las estaciones de bombeo; y el caudal (cuyos valores resultaron poco confiables). Aunque el objetivo principal de las pruebas realizadas era el de ajustar los patrones de cierre de las válvulas de paso anular para permitir el servicio con tres grupos de bombeo, los resultados de las observaciones se han utilizado para calibrar los modelos de cálculo de golpe de ariete, para extrapolar la respuesta transitoria a condiciones de operación diferentes a las actuales, tales como la instalación de otros equipos de bombeo (hasta el máximo previsto), o la colocación de dispositivos adicionales de atenuación del golpe de ariete que sean requeridos. El motivo de la calibración simultánea de los modelos de cálculo era no realizar ajustes que pusieran en peligro la integridad estructural de los

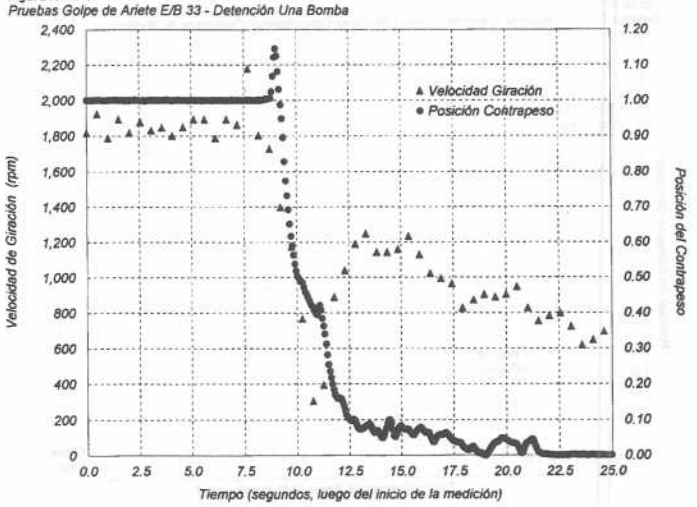
componentes de la aducción Túy III, ya que una falla en las bombas o tubería reduciría el suministro de agua a Caracas a niveles críticos. Las mediciones de los parámetros hidráulicos fueron ejecutadas por la empresa MECOFLU, contratada para esa actividad por HIDROCAPITAL. Todas las actividades realizadas en las estaciones de bombeo fueron registradas por los instrumentos de medición, y se generaron unos 40 MB de información.

Las pruebas de golpe de ariete se efectuaron en las estaciones 32 y 33, durante y luego de un proceso de ajuste del patrón de cierre de las válvulas de cierre controlado del sistema, tanto en las estaciones de bombeo como a lo largo de la tubería. En ellas se simuló la detención en emergencia de (1), (2) y (3) grupos en operación (manteniendo la otra estación de bombeo en servicio continuo); la detención de (1) bomba estando otra en operación en la misma estación de bombeo; así como los arranques y paradas normales de los grupos moto-bomba. En cada prueba se contó con instrumentos de medición, que permitían la captación, transmisión, procesamiento y almacenamiento digital de la información. Las variables observadas fueron:

- Velocidad de giración de las bombas, este parámetro se midió mediante un contador que recibía impulsos eléctricos de un emisor-receptor de rayos infrarojos, cuyo haz se reflejaba en láminas reflectantes adheridas a las partes giratorias de los equipos de bombeo.
- Posición angular del brazo del contrapeso que mueve el pistón de las válvulas de cierre controlado (paso anular) en las estaciones de bombeo, este parámetro se midió con un potenciómetro que mide movimiento circular, que emite una señal eléctrica lineal de 4 a 20 mA, que permite la transformación del movimiento angular del brazo del contrapeso de la válvula a un movimiento lineal registrado.
- Presión en el múltiple de succión y descarga de la estación de bombeo; este parámetro se midió con un trasductor de presiones cuya señal es conducida hasta los tableros de control de cada estación de bombeo, de donde fue registrada.
- Caudal en el múltiple de succión de la estación de bombeo, pero la lectura del medidor resultó poco confiable debido a que estaba instalado en una zona de flujo muy inestable. Por esta razón no se contó con este parámetro en la calibración de los modelos de cálculo.

En las figuras III-1 y III-2 se presenta un registro característico de los datos captados. El registro corresponde a la detención en emergencia del grupo 4 de la

Figura N° III-1
Pruebas Golpe de Ariete E/B 33 - Detención Una Bomba

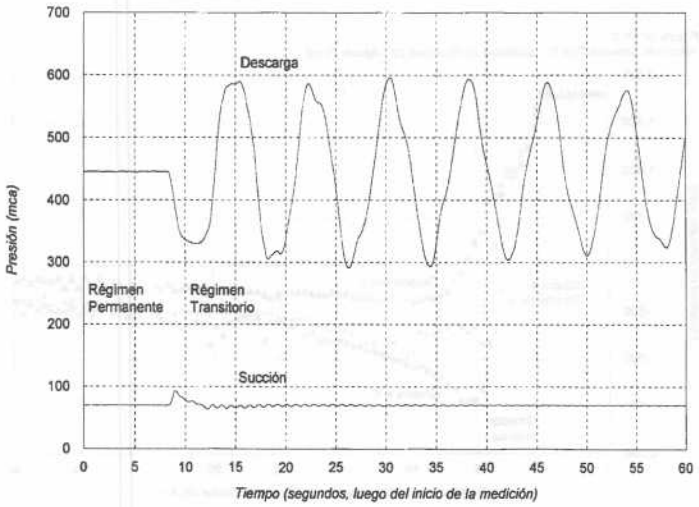



estación de bombeo N° 33, luego de la operación de (1+1) grupos en ambas estaciones; el otro grupo de bombeo en la estación 33, así como la estación 32 permanecen en servicio. En la figura III-1 se muestra la evolución de la velocidad de giración de la bomba y la posición del brazo del contrapeso de la válvula de paso anular. Sobre la figura pueden hacerse algunas observaciones:

- La dispersión de los valores de la velocidad de giración durante las condiciones permanentes del flujo. En efecto, durante los primeros segundos de medición, y antes de que ocurra la detención de la bomba, la lectura de velocidad debería ser constante e igual a la de sincronismo, 1.790 rpm. Los valores observados en todos los registros captados oscilan alrededor de ese valor, con una desviación estándar, $s_{rpm}$, que se encuentra en el rango de 30 a 90 rpm. Admitiendo entonces que el valor real se encuentra en la media y $\pm 2s_{rpm}$, se tiene un error de medición de la velocidad de giración comprendido entre el 3% y el 10% de la velocidad de sincronismo. Las mediciones de velocidad se presentan en valores positivos, por lo cual debe estimarse el momento en el cual se inicia la giración inversa de la bombas.
- El tiempo de retardo en el movimiento del pistón de la válvula de paso anular, puesto de manifiesto en las primeras fases de la caída de energía. En los registros tomados, el tiempo en el cual el brazo del contrapeso baja de su posición original oscila entre 0,8 y 1,2 segundos; valores similares a los observados durante las pruebas realizadas en 1980 en las mismas estaciones de bombeo.
- Las pequeñas oscilaciones en el registro del movimiento del contrapeso, debido al propio desgaste de los mecanismos oleo-hidráulicos y a las vibraciones sobre el brazo del contrapeso.

En la figura III-2 se presentan los registros de presión en la descarga y succión de la estación de bombeo. En ella se observa la naturaleza cíclica del régimen transitorio, y un fenómeno muy particular de amplificación de la presión en el múltiple de descarga, que luego se amortigua. En las condiciones de prueba no operan las válvulas de chorro que han sido instaladas recientemente (1993) en el tramo E/B 33-Estanques de Baruta, en las progresivas 1+088 y 1+560. Cabe destacar que los registros tomados en 1980, en las pruebas iniciales de puesta en servicio, mostraron un comportamiento similar. Por otra parte, los registros de presión en la succión muestran su marcada atenuación y, posteriormente, el incremento del nivel en el tanque de succión de la estación. En otros registros, que corresponden al golpe de ariete derivado de la detención de (2) y (3) grupos de bombeo, se observa que desaparece la amplificación de la presión en la descarga y la atenuación de las presiones transitorias es considerablemente más rápida, debido al accionamiento de las válvulas de chorro instaladas en la conducción.

*Figura N° III-2*
*Pruebas Golpe de Ariete E/B 33 - Detención Una Bomba*



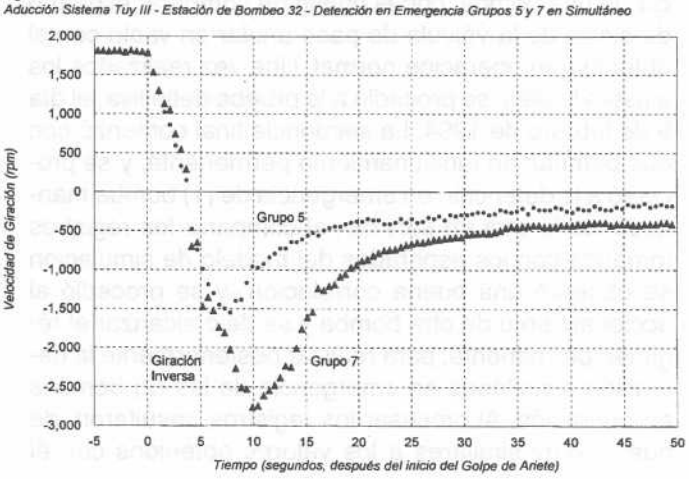

## IV. Ajuste de los elementos de protección del Golpe de Ariete y pruebas realizadas

Las pruebas de golpe de ariete y puesta en servicio del sistema se iniciaron en la estación de bombeo 32, el día 15 de enero de 1994, luego de preparar y calibrar los instrumentos de medición necesarios, y preparar los equipos de trabajo: MECOFLU, encargada de la adquisición, almacenamiento, procesamiento y presentación de los valores medidos de los parámetros hidráulicos, a cargo del Ing. José Alejandro Sánchez; GRUPO PROFESIONAL 8086, a cargo de la operación de la estación de bombeo y el ajuste de mecanismos internos de los elementos de protección del golpe de ariete, a cargo del Ing Luis Carlos Navarro; y CALTEC en la coordinación de actividades, desarrollo y calibración de los modelos de cálculo, evaluación de la respuesta transitoria del sistema y selección de las graduaciones de los elementos de atenuación del golpe de ariete, a cargo de los Ings. Manuel Vicente Méndez y Horacio Luis Velasco en la prueba inicial y posteriormente a cargo del Ing. Velasco. Igualmente se verificó el accionamiento de los mecanismos asociados al arranque y desconexión normales o programados, en las estaciones de bombeo. Durante todo el proceso estuvieron presentes ingenieros de HIDROCAPITAL, y se contó con el apoyo de la empresa suplidora de las válvulas de chorro instaladas en el sistema.

La primera secuencia de actividades consistió en evaluar la respuesta transitoria del tramo de aducción entre las estaciones 32 y 33, tal como se encontraba operando en el momento, con dos unidades en operación, en las posiciones 5 y 7 del patio de bombas, G5 y G7. Se realizó la detención en emergencia de los grupos 5 y 7 operando de forma aislada y posteriormente la detención en emergencia de ambos grupo en simultáneo. Los registros y observaciones indicaron dos aspectos importantes:

- Diferencias en los tiempos de cierre de las válvulas de cierre controlado (del tipo paso anular) entre los grupos 5 y 7 de la estación de bombeo 32, como se indica en la figura N° I-2. Los registros de velocidad de giro de esa prueba se muestran en la figura IV-1. La válvula del grupo 5 cierra más rápidamente que la del grupo 7, y trae como consecuencia que la velocidad de giro inversa del grupo 7 sea sustancialmente mayor que la del grupo 5, y sea mayor que la máxima admisible de 2.160 rpm, alcanzando valores de 2.700 rpm por poco tiempo. El motivo es que hay menor resistencia al flujo inverso en el grupo 7, debido a que la válvula está más abierta que la del grupo 5, y, por lo tanto, una mayor fracción del caudal en sentido inverso por la tubería pasa a través de esa bomba y la obliga a girar a mayor velocidad en el sentido inverso.

*Figura IV-1*
*Aducción Sistema Tuy III - Estación de Bombeo 32 - Detención en Emergencia Grupos 5 y 7 en Simultáneo*



La operación de las válvulas de chorro es errática; algunas válvulas no abren; otras abren y cierran en su tiempo programado; y otras abren pero no cierran automáticamente, y se deben cerrar manualmente.

Estas observaciones indujeron a un proceso previo del ajuste de los tiempos de cierre de las válvulas de paso anular en la estación de bombeo, para lograr un patrón de cierre similar en todas las bombas instaladas; y a la graduación de los mecanismos de control de las válvulas de chorro, para lograr el cierre automático de las válvulas en el tiempo especificado, de unos 30 segundos. En el ajuste de los mecanismos de protección de las bombas, se encontró un desgaste diferente de los mecanismos oleo-hidráulicos de las válvulas de paso anular, que obligó a un proceso de ensayo y error para el ajuste de cada válvula, así como la posibilidad de graduar únicamente los tiempos de cierre de la válvula, sin alterar la fracción de apertura en el punto de inflexión (ver punto II, figura II-3). Con el modelo de cálculo de golpe de ariete, calibrado con mediciones obtenidas en 1980 y las realizadas recientemente, se identificó un rango razonable de patrones de cierre y se procedió a ajustar los mecanismos de control para poder reproducirlos. A tal efecto, y para evitar ciclos excesivos de accionamiento/desconexión, y para mantener en servicio el suministro de agua a Caracas, se aisló cada bomba del sistema y se simuló la caída del contrapeso en vacío, hasta lograr una concordancia razonable en los patrones de cierre de las tres bombas instaladas en la estación. Este proceso tomó varios días repartidos en tres semanas, y, al final de cada sesión de trabajo se debía dejar un patrón de cierre similar en las tres bombas operativas, para evitar los problemas derivados de cierres diferentes durante paradas de emergencia de dos bombas.

Todo el proceso fue registrado con los instrumentos de medición, y en la figura N° IV-2 se muestran las condiciones finales establecidas del patrón de cierre controlado. Antes de proceder con las pruebas finales de golpe de ariete, se realizó una parada de emergencia de una bomba, con el objeto de comparar el patrón de cierre de la válvula de paso anular en vacío con el obtenido en operación normal. Una vez realizados los ajustes finales, se procedió a la prueba definitiva, el día 8 de febrero de 1994. La secuencia final comenzó con dos bombas en funcionamiento permanente, y se procedió a la detención en emergencia de (1) bomba manteniendo la otra en servicio; al comparar los registros tomados con los esperados del modelo de simulación se observó una buena correlación, y se procedió al accionamiento de otra bomba y se dejó alcanzar el régimen permanente, para realizar posteriormente la detención simultánea en emergencia de las (2) bombas en operación. Al procesar los registros, resultaron, de nuevo, muy similares a los valores obtenidos con él modelo de cálculo. Finalmente se tomó la decisión de proceder con la detención en emergencia simultánea de las (3) bombas en operación. Los cambios y las mejoras en la respuesta transitoria del sistema se observan en las figuras N° IV-3, donde se presenta la velocidad de giro de las bombas; y en la figura N° IV-4, en

*Figura N° IV-2*
*Aducción SisteTa uy III - Estación de BoT3eo 2 - Condiciones Finales ieTpo de Cierre, Grupos 4, 5 y 6*

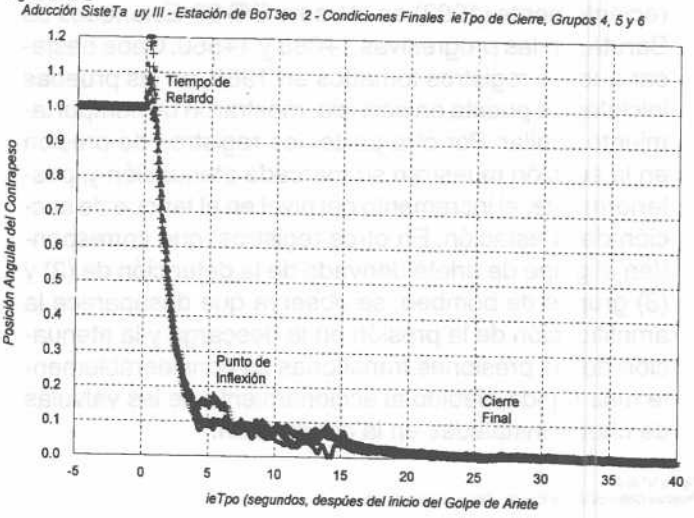



*Figura N° IV-3*
*Aducción Sistema Tuy III - Estación de Bombeo 32 - Ajuste Final*

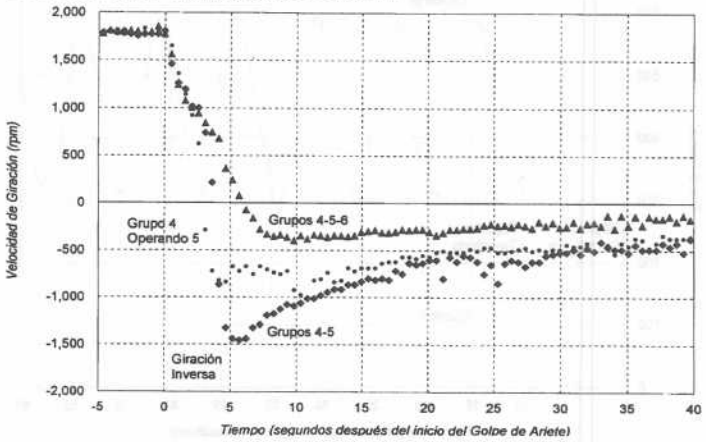
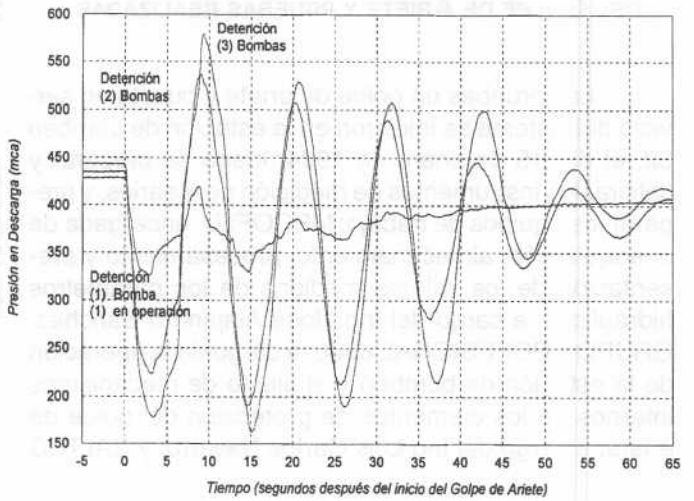



*Figura N° IV-4*
*Aducción Sistema Tuy III - Estación de Bombeo 32 - Desconexión de (1), (2) y (3) Bombas*



la cual se muestra la evolución temporal de la presión transitoria en la descarga de la estación de bombeo. En las dos figuras anteriores se presentan los registros obtenidos para la detención en emergencia de (1 con otra en operación), (2) y (3) bombas en simultáneo. La velocidad máxima de giro inversa alcanza valores de 1500 rpm, mientras que la presión máxima en la descarga es de 580 mca; ambos valores dentro de los límites admisibles por el sistema. Al comparar con registros obtenidos antes del ajuste de los elementos de control, como se observa en las figuras N° I-2 y I-3, se observa una reducción de la velocidad máxima inversa y de la presión máxima transitoria. Los resultados obtenidos, presión en la descarga y velocidad de giración inversa en las bombas, se consideraron satisfactorios y el patrón de cierre de las válvulas de paso anular en la estación 32 se ha mantenido hasta el presente, válido para la operación con tres bombas.

Los ensayos y pruebas realizados en la estación 33 se iniciaron el día 12 de febrero de 1994, luego de la instalación de los instrumentos de medición. Debido a las experiencias obtenidas en el ajuste de los mecanismos de la estación 32, se supuso que los mecanismos de protección de la estación estarían graduados diferentes entre sí y, por lo tanto, se evitó realizar pruebas iniciales de golpe de ariete y se procedió de inmediato a ajustar el patrón de cierre en vacío de las válvulas de paso anular en la estación de bombeo, hasta lograr un patrón de cierre similar en todos los equipos; igualmente se procedió a verificar el estado y graduación de los mecanismos de control de las válvulas de chorro instaladas entre la estación 33 y los estanques de Baruta, y proceder al ajuste requerido de tiempo de cierre. El proceso de ajuste de parámetros se realizó más rápido, en unas dos semanas, gracias a las experiencias adquiridas. En la figura N° IV-5 se muestran las condiciones iniciales del patrón de cierre de las válvulas de paso anular en la estación 33, en los cuales se observa una gran diferencia, similar a la obtenida en las condiciones iniciales de la estación 32. Con el modelo de cálculo, mejorado con los registros obtenidos previamente en la estación 32, se seleccionó un patrón de cierre adecuado para la protección de la estación 33, y adaptado a las limitaciones observadas en el mecanismo oleohidráulico de accionamiento. Los resultados finales del ajuste del patrón de cierre de las válvulas en la estación de bombeo se indican en la figura N° IV-6.

Una vez efectuados los ajustes pertinentes, se procedió a realizar las pruebas controladas de golpe de ariete, con la detención en emergencia de (1), (2) y (3) bombas en operación permanente. Al igual que la secuencia final en la estación 32, la detención en emergencia de (2) bombas simultáneas fue precedida de una comparación entre los resultados del modelo de cálculo y los registros tomados en la detención de (1) bomba

*Figura N° IV-5*
*Aducción Sistema Tuy III - Estación de Bombeo 33 - Patrón Inicial de Cierre*

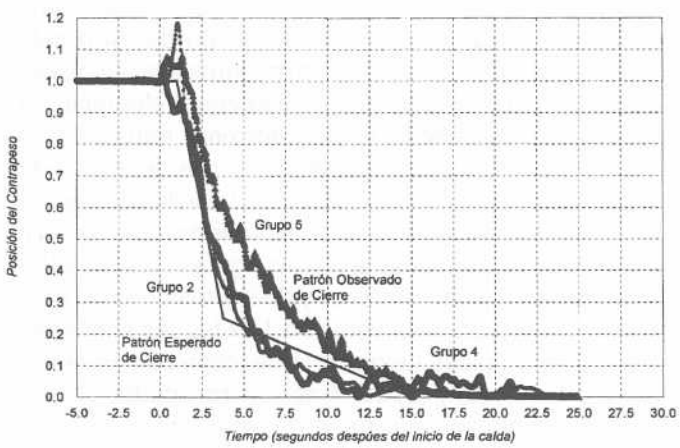
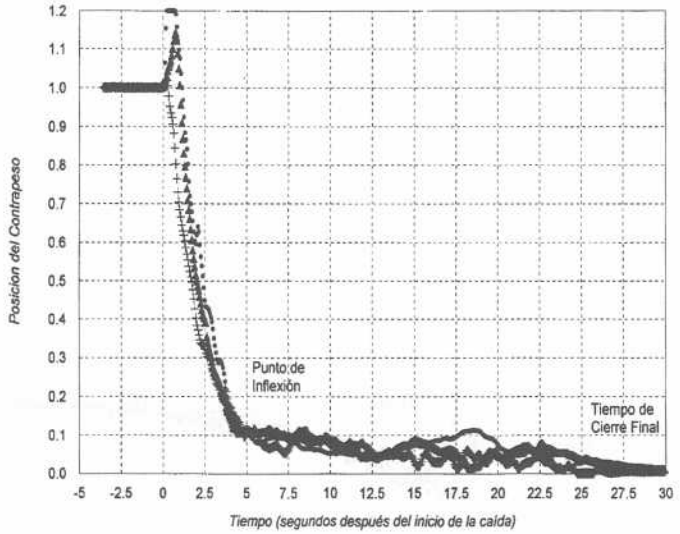



*Figura N° IV-6*
*Aducción Sistema Tuy III - Estación de Bombeo 33 - Patrón Final Cierre de Válvulas*




(con otra bomba en operación), y se tomó la decisión luego de observar la buena correlación entre los cálculos y los registros. (ver figuras N° V-1, V-3 y V-4, punto V, Calibración del Modelo de Cálculo). Antes de realizar la última prueba, detención de (3) bombas a la vez, el día 24 de febrero de 1994, se corrieron los modelos de cálculo con ligeras variantes en el patrón de cierre seleccionado, y todos los cálculos indicaron que la presión máxima en la descarga de la estación sería menor a la obtenida luego de la detención de (2) bombas. Se procedió con el arranque de las tres bombas, hasta alcanzar el régimen permanente, y luego se realizó la detención en emergencia de los tres equipos. Los registros tomados confirmaron las predicciones de los modelos de cálculo, en efecto, la presión máxima transitoria para la detención de (3) bombas es menor que la asociada a la desconexión de (2) bombas. El motivo es una muestra de las particularidades del fenómeno transitorio y los elementos de atenuación instalados en la tubería, las válvulas de chorro; estas válvulas sólo abren cuando la presión interna tiende a ser menor que la

atmosférica y luego cierran de forma automática, permitiendo un alivio de presiones; en el sitio donde fueron instaladas, solamente con la detención de (3) o más bombas se alcanzan presiones menores a la atmosférica, con lo cual las válvulas actúan como elemento de atenuación; por eso la presión máxima transitoria se reduce con respecto a la obtenida con la detención de (2) bombas, en la cual no operan las válvulas de chorro. Los registros típicos finales del fenómeno transitorio en la estación 33 se muestran en las figuras N° IV-7, velocidad de giro de las bombas; y IV-8, presión en el múltiple de descarga de la estación. Las figuras contienen los registros típicos luego de la desconexión en emergencia de (1), (2) y (3) bombas. Los resultados obtenidos para la presión máxima en la descarga y velocidad máxima inversa en las bombas se consideraron satisfactorios, y el patrón de cierre seleccionado se ha mantenido hasta el presente.

*Figura N° IV-7*
*Aducción Sistema Túy III - Estación de Bombeo 33 - Detención de (1), (2) y (3) Bombas*

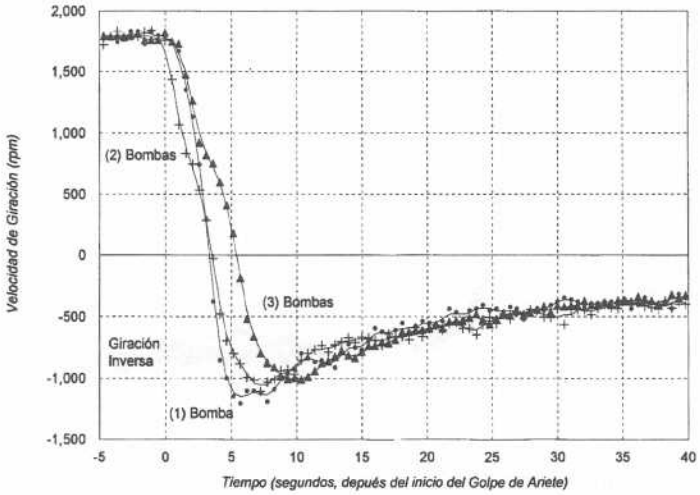
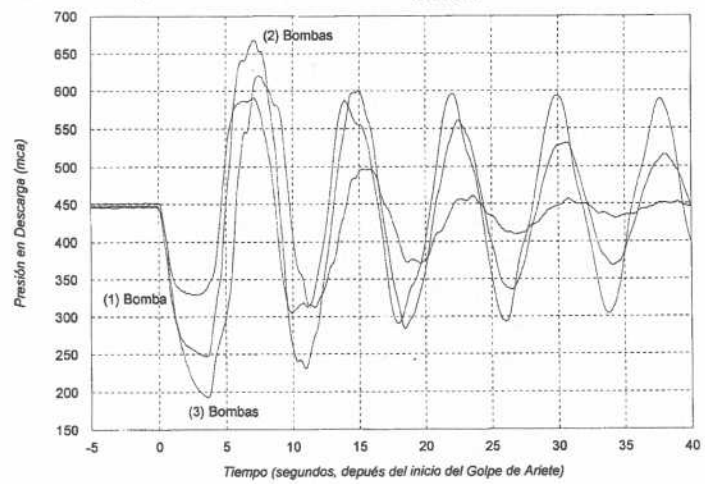



*Figura N° IV-8*
*Aducción Sistema Tuy III - Estación de Bombeo 33 - Detención de (1), (2) y (3) Bombas*




Luego del proceso de ajuste y graduación de los mecanismos de protección y atenuación del golpe de ariete en las estaciones 32 y 33 del sistema Túy III, el día 25 de febrero de 1994, el sistema ha estado operando de forma casi continua hasta el presente con (3) equipos de bombeo en cada estación, lo cual permitió incremento el suministro de agua a Caracas en unos 3 m3/s.

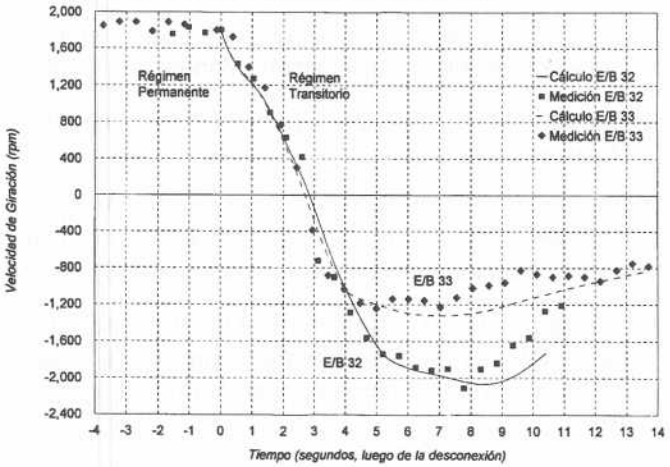
## V. Calibración de los modelos de cálculo

Utilizando los registros captados en las diversas pruebas realizadas se procedió a la verificación y ajuste de los diversos modelos de cálculo que fueron implementados para simular las condiciones en las cuales se realizaron las pruebas, detención en emergencia de (1) o todos grupos en una estación de bombeo manteniendo la otra en servicio, con la operación de las válvulas de chorro instaladas en la tubería, así como el accionamiento y desconexión programadas de los equipos de bombeo. Para el proceso de calibración se cuentó además, con la información contenida en la referencia [2], que incluye la calibración de un modelo de cálculo con los registros tomados en 1980. En base a toda esta información se ajustaron los parámetros que describen el comportamiento transitorio del sistema, se mejoró el tratamiento matemático del funcionamiento de las válvulas de chorro, de la estación y grupos de bombeo que permanece en servicio, del movimiento de los mecanismos de control, y se trató de lograr una descripción única del sistema que se adaptara razonablemente bien al golpe de ariete por la detención de (1), (2) y (3) bombas, y a los arranques y paradas programadas. La calibración del modelo de cálculo procedió en paralelo con los ajustes realizados en los elementos de protección del golpe de ariete instalados en el sistema de aducción.

El proceso de calibración de los modelos de cálculo se inicia con la descripción precisa del fenómeno transitorio, para tratar de reproducir, sobre la base de la integración de las ecuaciones diferenciales del movimiento no permanente del fluido, los valores obtenidos en las pruebas realizadas. El fenómeno es cíclico, un tren de ondas de presión que se desplaza a lo largo de las aducciones y se refleja en diversos puntos. Por ese motivo, es de especial importancia el tiempo de viaje de las ondas, que puede ser caracterizado por la celeridad promedio de traslación de las ondas de presión en la tubería. Al estimar correctamente la celeridad de la onda, puede reproducirse el patrón base de oscilaciones, y hacer coincidir los tiempos en los cuales ocurren los máximos y mínimos valores de presión en la tubería.

En la figura N° V-1 se muestran los resultados de la correlación entre los valores observados y calculados de velocidad de giración de los equipos de bombeo en las estaciones 32 y 33; se obtienen diferencias de 10 a 30 rpm entre los valores calculados y observados de la velocidad máxima de giración inversa, equivalentes a diferencias menores al 2%, con un desfase entre los máximos de 0,5 a 1,0 segundos. En uno de los registros se usó la detención de una bomba aislada, mientras que en el otro se usaron los registros obtenidos de la detención de una bomba manteniendo otra en operación en la misma estación de bombeo.

*Figura N° V-1*
*Sistema Túy III - Estación de Bombeo 32 - Detención en Emergencia de (1) Bomba*




Por otra parte, en las figuras N° V-2 a V-6 se muestra la comparación entre las presiones observadas y calculadas en la sección de descarga de las estaciones de bombeo 32 y 33; las diferencias entre los cálculos y mediciones de la presión en el múltiple de descarga es del orden de 20 a 30 mca, menor al 5% de los valores observados, y un desfase del orden de 0,5 a 1,0 segundos en los tiempos de ocurrencia de máximos y mínimos; en estas figuras se usaron los registros correspondientes a varias modalidades de detención de los equipos de bombeo, para mostrar la flexibilidad y robustez de los modelos de cálculo utilizados. Cabe destacar que, en todos los cálculos realizados, se usó una sola descripción de los parámetros de comportamiento físico del sistema, y de sus equipos, accesorios y elementos de atenuación del golpe de ariete.

*Figura N° V-2*
*Aducción Sistema Túy III - E/B 32 - Detención de (2) Bombas*

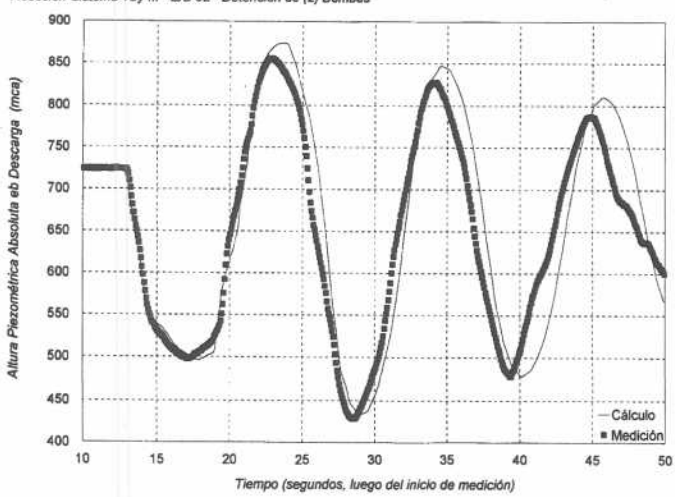



*Figura N° V-3*
*Aducción Sistema Túy III - Estación de Bombeo 33 - Detención de (1) Bomba*

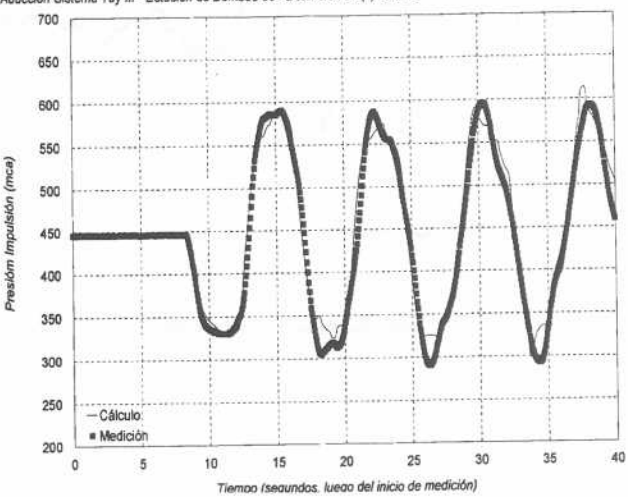



*Figura N° V-4*
*Aducción Sistema Túy III - Estación de Bombeo 33 - Detención de (2) Bombas*

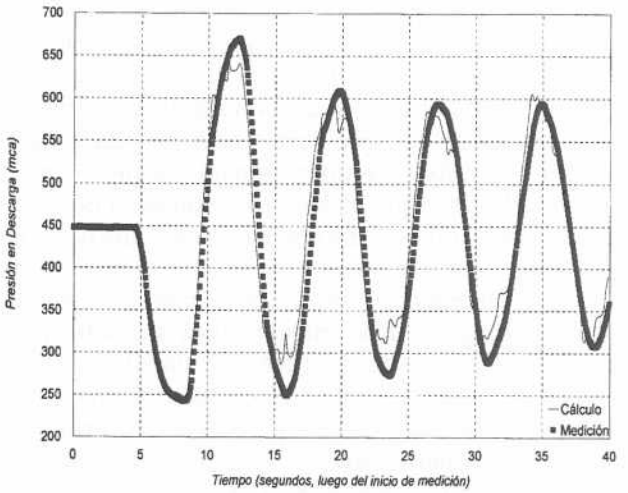



*Figura N° V-5*
*Sistema Túy III - Estación de Bombeo 33 - Detención de (3) Bombas*

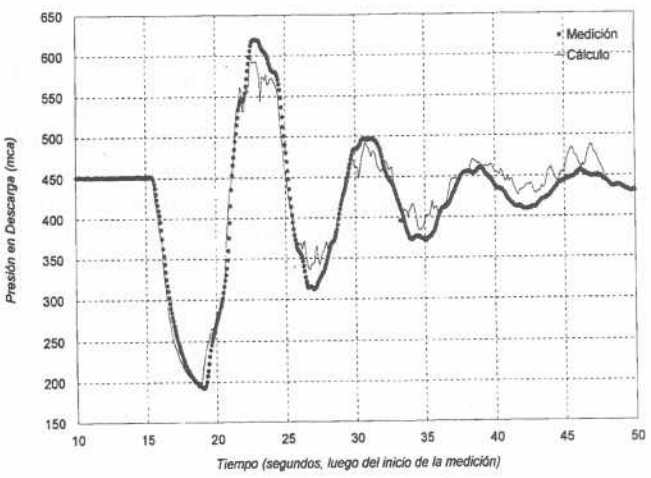
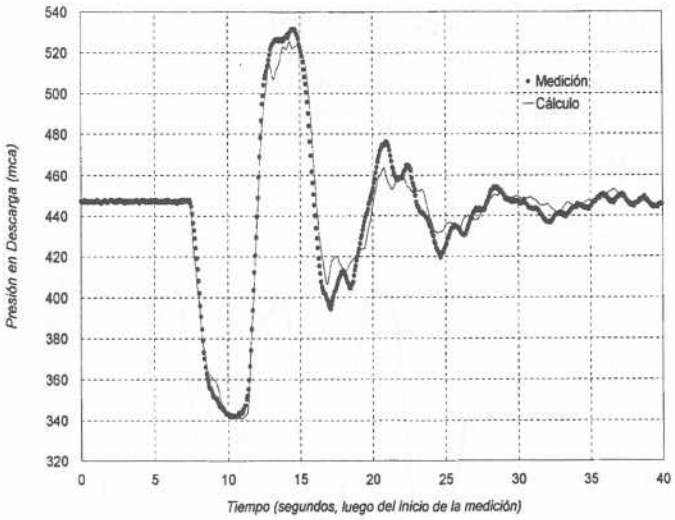


*Figura N° V-6*
*Aducción Sistema Túy III - Estación de Bombeo 33 - Detención de (1) Bomba con otra en Operación*




## VI. En conclusión

Las pruebas de puesta en servicio y golpe de ariete para la tercera línea del Túy III fueron exitosas, y han permitido la operación continua de tres bombas en cada estación de bombeo del sistema, 32 y 33, a partir de febrero de 1994, con un incremento de unos 3 m3/s de suministro de agua al Área Metropolitana de Caracas. Durante el proceso se realizaron diversas actividades, tales como instrumentación y medición de parámetros hidráulicos en las estaciones de bombeo, ajuste y graduación de los mecanismos de control para la atenuación del golpe de ariete, y la elaboración y calibración de modelos matemáticos para el cálculo del golpe de ariete. Todas estas actividades se llevaron a cabo con instrumentos adecuados y personal capacitado, de las empresas MECOFLU, GRUPO PROFESIONAL 8086 y CALTEC, contratadas por HIDROCAPITAL para el proceso.

Por otra parte, las mediciones y observaciones realizadas permitieron confirmar el desgaste y desajuste de los mecanismos de control, probados y graduados durante la puesta en servicio inicial del sistema, en 1980, de tal forma que la protección ante los efectos transitorios no era la más adecuada. Debido a la severidad del golpe de ariete, que puede ocasionar falla estructural en las tuberías o en las bombas, es de especial importancia la revisión y ajuste periódicos del estado y de la graduación de los mecanismos de cierre controlado en los elementos de atenuación del golpe de ariete en éste y otros sistemas de aducción.

## VII. Referencias

1. Oficina de Ingeniería CALTEC, S.A., 'Estudio del Golpe de Ariete, Sistema Túy III', INOS, 1978.

2. Méndez, M.V. y Sacchini, M., 'Verificación del Golpe de Ariete, Sistema Túy III, Información Obtenida de los Documentos de Construcción', INOS, 1980

3. Suter, P. 'Representation of Pump Characteristics for Calculation of Water-Hammer', Revista Técnica Sulzer, 1966.

4. Wylie, B., Streeter, V., 'Fluid Transients', McGraw-Hill.

5. American Water Works Association, 'Steel Pipe: A Guide for Design and Installation', Manual M-11, 1987.

6. Chaudry, M. H., 'Applied Hydraulic Transients', Van Nostrand-Reinhold.

7. Méndez, M. V., Sánchez, J. A., 'Sistema Tuy IV. Aducción Taguaza-Caujarito. Estudio del Régimen Transitorio', Dirección General de Proyectos, INOS, 1982.

8. Méndez, M. V., Sacchini, M., 'Envolventes Piezométricas por Cierre Instantáneo de Válvulas', IX Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Mérida, 1980.

9. Méndez, M. V., 'Algunas Consideraciones para el Diseño Hidráulico de Chimeneas de Equilibrio', II Jornadas Nacionales de Ingeniería Hidráulica, Mérida, Venezuela, 1978.

10. Oficina de Cálculos Técnicos e Hidráulicos CALTEC, S.C., 'Estudio del Golpe de Ariete en el Sistema Túy III, Tramo E/B 32-E/B 33-Estanques de Baruta', Hidrocapital, 1994.

11. MECOFLU, 'Medición de Transitorios Hidráulicos en el Sistema Túy III', Hidrocapital, 1994.

# El SI y las Leyes sobre Pesas y Medidas Parte I

***Ing. Joseba A. Lascurain***

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

## Introducción

En el segundo semestre del año 1999 fue presentado ante el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la UCAB, por el ingeniero Carlos Aguerrevere Ruiz, un trabajo cuyo objetivo era: sic "Facilitar al público la comprensión de los conceptos de las unidades del SI (Sistema Internacional) y la comprensión de la interrelación física que existe entre las unidades mediante una máquina inspirada en la Máquina de Atwood".

Las investigaciones sobre las narrativas histórico-técnicas y los cálculos realizados por el suscrito para calibrar dicho trabajo resultaron tan entretenidos, interesantes, y académicamente útiles tanto para nuestros futuros ingenieros como para el público lector en general, que tomé la iniciativa de remitirlo en dos partes a la consideración de los editores de nuestra Revista de la Facultad de Ingeniería: Tekhne, para su consideración y amable edición.

Espero que todos nuestros lectores disfruten de esta fascinante experiencia.

## Una breve relación histórica para entender el origen del "SI"

Inglaterra comenzó a sentir las dificultades que en el ámbito comercial, nacional, regional e internacional impuso el sistema "imperial" de pesas y medidas, aplicado en sus territorios, sustentada en el vocabulario de sus patrones de medidas y pesos, así como en el uso y costumbres seculares de unidades de medición totalmente arbitrarias basadas en: yardas, palmas, piés, pulgadas, pasos, millas, codos, brazas, onzas, cuartos (quarts), acres, cueros, fanegadas, galones, libras y otros, mucho antes que con la revolución francesa y el Imperio Napoleónico subsiguiente, se iniciara la racionalización de un sistema único de pesas y medidas, dirigido a resolver los problemas derivados de la fabricación de productos con características uniformes, para el uso, intercambio, exportación y comercialización.

Mucho antes, en el transcurso de los siglos, las regiones y los países fueron imponiendo sus propios criterios y se mantuvieron vigentes, aún mucho tiempo después que su significado y orígenes fueron olvidados.

Desde hacía 2000 años se utilizaba el pié para medir distancias y como la acción de medir en esos tiempos se hacia con la palma de la mano, y ésta era equivalente a cuatro dedos, por lo que el pié valía cuatro palmas que daban un total de dieciséis dedos. Este patrón de medida duró por mil años. Pasaron los siglos y alguien se dió cuenta que la medida era muy inexacta debido al ancho variable de los dedos, de manera que se implantó un sistema más preciso, consistente en extender en perfecto alineamiento recto un total de treinta granos de cebada, que debían ser seleccionados y desgranados sólo desde el centro de las espigas, antes de efectuar la medida.

El nuevo patrón de medida también sirvió para comerciar en volúmenes y pesos. De estos adelantos surgió la palabra fanega (bushel) que hasta nuestros días vale ocho galones imperiales de capacidad (En Inglaterra con equivalencia a 36,37 litros, mientras que en los Estados Unidos de América son 35,25 litros) y además son cincuenta libras de peso en el sistema imperial Inglés.

En el siglo VIII, cuando se establecen los Estados Anglosajones, incluyeron a la pulgada (inch) como patrón de medida de distancias cortas, ya que era la distancia desde el nudillo hasta la punta del pulgar de la mano (En nuestros días esa pulgada vale 2,540 centímetros, pero en tiempos remotos pudo ser cualquier cosa). Esta unidad del sistema Imperial Inglés dejó de existir bajo la ley de Pesas y Medidas de Inglaterra en 1971.

Entre los siglos VIII y IX ocurren en las Islas Británicas las incursiones Escandinavas, y los Vikingos convinieron en utilizar en sus andanzas marinas la braza (fathom), hoy día equivalente a 6 piés, como unidad de medida que les permitía determinar la profundidad de los fondos marinos respecto a la quilla de sus navíos a la hora de atracar. Lo que es poco conocido hoy día es que la braza era la distancia que había entre los extremos de las puntas de los dedos de un Vikingo cualquiera con los brazos abiertos en cruz. Intente usted hacer la operación señalada y verá que se acerca a los 6 pies de longitud.

El rey Edgardo, El Pacífico (959-975) conquistador de la isla de Bretaña, impuso la yarda como medida de longitud, la cual estaba sustentada por la distancia entre la punta de su propia nariz (la del Rey por supuesto) y la punta del dedo medio de su mano, con el brazo alargado en posición horizontal a la altura del hombro. Este nombre ha perdurado desde hace más de mil años hasta nuestros días, y es muy difícil que se elimine del lexicón de la fanaticada del football Americano, o que se llegue a cambiar las reglas de su juego estrella y de las dimensiones de sus inmensos estadios deportivos, a pesar de todos los convenios que firmen las naciones para aceptar el Sistema Internacional de unidades (SI), la cual fue aprobada como Section 5164 de la Public Law 100-418 del Trade and Competitiveness Act de 1988 por los Estados Unidos de América. La yarda moderna es equivalente a 0,9144 metros.

Avanzando un poco más en el tiempo ocurren otras singulares decisiones en relación a la medida de áreas. En la época de los Normandos de Guillermo I, El Conquistador (1027-1087), duque de Normandía, quien conquistó a Inglaterra en 1066 en la batalla de Hastings, se regularizó la medida del área, que utilizaba el acre como medida de la cantidad de tierra que era arada en un día por una yunta de bueyes que, por supuesto, su extensión dependía de si el terreno era de consistencia duro o blando. Para determinar el área de un terreno que podía ser arado por una yunta de bueyes durante un año para alimentar a una familia, se utilizó como unidad el cuero (en Inglés hide) equivalente a ciento veinte acres.

El segundo hijo de Guillermo I El Conquistador, el Rey Enrique I de Inglaterra (reinó desde 1100 a 1135 después de la muerte de su hermano Guillermo II en 1100) llegó al extremo de aplicar sanciones penales a los venduteros que hacían trampas con pesas y medidas, e intentó resolver problemas de interpretaciones. Legalizó la unidad de medida yarda, dada por la distancia entre la nariz y el dedo del Rey Edgardo, arriba descrito, que también bautizó con el nombre de "nuestra yarda de Manchester".

En la "Carta Magna" de Inglaterra de 1215 se establecieron pesos y medidas para la venta del maíz, el vino, la cerveza, la cebada y las telas. Esta referencia legal fue tomada como base para lo que fueron siglos después las bases del sistema de unidades del Imperio Inglés.

Dejamos la evolución narrativa de lo que aconteció en Inglaterra durante más de mil doscientos años, en el desarrollo de las unidades de longitud, áreas, volumen o capacidades y pesos, para tratar de describir la situación en Italia. Las legiones Romanas, los mayores caminantes del gran imperio de los primeros siglos de nuestra era, utilizaron el nombre de milla, que a la vez correspondía a mil pasos, como medida de distancias atravesadas en sus correrías. Sin embargo, los mil pasos no eran los mismos pasos (feet) que los utilizados por el sistema Inglés, ya que en su caso eran variables, llegando a medir hasta 1618 yardas Inglesas.

La milla Inglesa y la milla de Estados Unidos son iguales y está valorada en 1760 yardas, en contraposición a la milla de algunos países europeos que difieren en varias yardas de la arriba indicada.

Los cartógrafos y exploradores de épocas pasadas estarían muy satisfechos de saber que se puede determinar con muy buena precisión, la distancia en metros de los pasos de un ser humano de cualquier talla, midiendo en metros y fracciones la altura desde el eje que pasa por el iris de los ojos y la planta de los pies, de un hombre erguido, dividido entre dos. ¡¡Haga la prueba y verifique!!.

De manera que ahora entramos a la forma como el resto del cuerpo humano sirvió durante siglos como patrón de comparación para los sistemas de pesas y medidas de los artesanos y comerciantes.

Según el Diccionario de la Lengua Castellana hay (o había) varias equivalencias de codo. Solo imaginemos el entrevero que se formaba al tratar de insertar una pieza en otra, en la construcción de dinteles, fachadas, adornos, estatuas de materiales que venían de otros lugares, y en las ventas de productos de consumo popular, como por ejemplo:

*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 metros
Para compra/venta de lana en Venecia... = 0,683 metros
Para compra/venta de seda en Venecia...= 0,639 metros

Copérnico, Kepler, Galileo iniciaron la era científica en los siglos XVI y XVII en muy precarias condiciones de medición y experimentación, al hacer observaciones sobre la rotación de los astros y el fenómeno de la caída libre de los cuerpos, a juzgar por el material que dejaron escrito.

Galileo utilizó dimensiones y movimientos del cuerpo humano para medir distancias, como por ejemplo el codo (cubit) y el brazo (braccia), cuyas equivalencias en metros no fueron bien definidas por él mismo, y más bien se encontraron medio ocultas entre líneas, en su críptica manía de no evidenciar sus descubrimientos. Usó el agua para medir la caída de los graves en segundos. El pulso de sus propias venas, para medir el período de la oscilación de los péndulos.

Galileo, por primera vez, anuncia en sus experimentos[1] sobre la proporcionalidad entre los espacios de caída libre y el cuadrado de los tiempos.

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, contemplando 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 como un péndulo, que 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.

Si se pretende relacionar el sistema de unidades de medición y pesos con el SI, es necesario recurrir a la obra "Naturalis philosophiae principia mathematica" de Newton quien escribió los siguientes axiomas o leyes del movimiento en 1686:

Primera Ley: Todo cuerpo persevera en su estado de reposo o de movimiento uniforme y en línea recta, salvo en cuanto mude su estado obligado por fuerzas exteriores.

Segunda Ley: El cambio del movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa, y se efectúa según la línea recta en dirección de la cual se imprime dicha fuerza.

Tercera Ley: A toda acción se opone una reacción contraria e igual: es decir, que las acciones entre dos cuerpos son siempre iguales entre sí y dirigidas en sentido contrario.

Simón Stevin fue la primera persona que propuso, sin éxito, un sistema de medición en el siglo XVII. Y el sacerdote Gabriel Moutonen el año 1670 presentó a la Academia de Ciencias Francesa una propuesta para que se llamara milliare al arco de circunferencia subtendido por un minuto de meridiano terrestre, y ese milliare a su vez se debía subdividir en mil virgas, pero tampoco tuvo acogida.

En 1790, Tomas Jefferson (1743-1826) tercer presidente de Estados Unidos de América, introdujo en el Congreso de su país un proyecto de ley estableciendo un sistema racional de medición y una nueva unidad de longitud para apartarse del sistema Imperial Inglés, pero su propuesta fue rechazada.

Durante el período de la Revolución Francesa de 1789 al 18 de mayo de 1804, cuando se origina el imperio Napoleónico, y se afianza la Academia de Ciencias de Francia, la Asamblea Nacional instituida en 1791, votó el 22 de junio de 1799, por una nueva unidad de medida: el metro y cambió la unidad de peso por el kilogramo; y además se definieron estos términos así:

El metro es la diezmillonésima parte del cuadrante que forma el meridiano terrestre medido entre Dunkerke y Barcelona (España). El kilogramo es la masa de un decímetro cúbico de agua a su temperatura de máxima densidad. Esta última definición se utilizó también para definir al litro como el volumen correspondiente.

No fue fácil cambiar los patrones de medidas y pesos en la época del Imperio Napoleónico, aunque se trató de unificar dicho sistema de unidades en Europa (incluyendo a Inglaterra), siendo necesario llevarlo hasta la enseñanza escolar francesa, logrando sus objetivos en 1840.

Al tratar el tema de la coherencia de las unidades para las Ciencias Físicas, en la aplicación del Sistema Métrico en sus tres unidades mecánicas: centímetro, gramo, segundo (c.g.s) (Sistema cegesimal) hay que dar crédito a Gauss, quién fue el primero en establecer medidas absolutas en la determinación de las fuerzas magnéticas de la tierra, utilizando el sistema cegesimal de unidades para calcular longitudes, masas y tiempos en el año 1832. Luego se le unió Weber para incluir los fenómenos eléctricos.

En 1860 La formulación de los requerimientos para un sistema coherente de unidades y un sistema de unidades derivadas la realizaron Maxwell y Thomson (Lord Kelvin) ante la BAAS (British Association for the Advancement of Science)[2]. Y en 1874 la BAAS introdujo el sistema c.g.s en forma coherente, utilizando prefijos que asignaban múltiplos y submultiplos decimales a las unidades desde el mega ($10^6$) hasta el micro ($10^{-6}$).

También en 1860 los Estados Unidos de América e Inglaterra, comenzaron por reconocer las ventajas del sistema métrico decimal, pero estaban renuentes a cambiar las unidades imperiales Inglesas de medidas y pesos. Retuvieron sus medidas imperiales y se autorizó a optar como un "segundo sistema" al sistema métrico decimal.

Veinte años más tarde, las unidades coherentes del sistema cegesimal, en el campo del magnetismo y la electricidad resultaron inconvenientes, de manera que el IEC (International Electric Congress)[3] y la BAAS se unieron para aprobar un grupo mutual coherente de unidades prácticas.

Además de incluir al ampere para determinar la corriente eléctrica, también aprobaron al voltio para la fuerza electromotriz y al ohmio para medir la resistencia eléctrica.

En 1889, la primera CGPM (Conferencia General de Pesas y Medidas)[4] aprobó las propuestas de adoptar el metro y el kilogramo, y el segundo astronómico, como las unidades básicas para determinar: longitud, masa, y la medida del tiempo, que constituyeron un sistema de unidades mecánicas tridimensionales similares al sistema c.g.s

El físico italiano Giovanni Giorgi tuvo la feliz idea de tomar las unidades del sistema m.k.s aprobado en 1889 y sugerir un sistema coherente de unidades, agregándole a las unidades básicas una cuarta unidad de características eléctricas, usando el ampere o el ohmio, reescribiendo las ecuaciones del campo electromagnético en forma racionalizada. Pero no fue hasta 1921 (20 años después de la propuesta de Giorgi) que la 6ª CCGPM (Conferencia General de Pesas y Medidas)[5] extendió las responsabilidades de la metricación a otros campos de la física.

En 1939 se acordó la adopción del sistema de cuatro unidades m.k.s y el ampere que fue aprobado por la Conferencia Internacional de Pesas y Medidas en 1946.

## El Sistema Internacional de Unidaes (SI)

En francés, le System International d'Unites (SI) , fue el nombre utilizado por la 11ª Conferencia General de Pesos y Medidas, realizada en 1960 en París, para aprobar un sistema de medidas universal, unificado, auto-consistente basado en el sistema metro-kilogramo-segundo conocido también como mks, y definieron seis unidades básicas y dos unidades suplementarias. En la Conferencia de 1971 se agregó la séptima unidad: el mol como unidad de cantidad de substancia (Ver Tabla 1 y Tabla 2 anexas).

La Conferencia General de París en 1960 sentó las bases para que los Estados Unidos de América, el mayor productor mundial en ese entonces de productos de consumo masivo, se comprometiera a aumentar el uso, y conversión voluntaria, al sistema métrico de medidas.

Un recuento de la acogida que tuvo esta Conferencia General a nivel mundial para salir del sistema Imperial Inglés se encuentra en un resumen que para julio de 1970 hizo Lord Ritchie-Calder, Barón de Balnashannar, presidente del Metrication Board de Gran Bretaña , sobre las naciones que para esa fecha utilizaban o adoptaron el sistema métrico, con el siguiente resultado:

Naciones METRICAS : 138
Naciones en vías de adoptar METRICAS: 17. Entre ellas el Reino Unido (Inglaterra)
Naciones No - METRICAS: 9. Entre ellas los Estados Unidos de América

Años después, aprobada La Ley de conversión Métrica de E.U.A en 1975, definieron también al sistema métrico como el Sistema Internacional de Unidades interpretado o modificado por la Secretaría de Comercio de los E.U.A., y así se apartaron de los remanentes del sistema Imperial de Medidas y Pesos de Inglaterra.

Las Tablas 1 a 6 que se incluyen en este recuento están incluidas en el documento que fijan las siete bases de unidades del SI referido y sus dos unidades suplementarias, las unidades SI derivadas, los Prefijos del sistema métrico y las Cantidades Estándar con sus nombres. Las definiciones de las siete bases de unidades SI y sus dos unidades suplementarias son las siguientes:

**Tabla 1. Unidades Base del SI.**

| Cantidad | Nombre de la Unidad SI Básica | Símbolo |
|---|---|---|
| Longitud | metro | m |
| Masa | kilogramo | kg |
| Tiempo | segundo | s |
| Corriente Eléctrica | ampere | A |
| Temperatura termodinámica | Kelvin | k |
| Cantidad de Substancia | mol | mol |
| Intensidad lumínica | candela | cd |

**Tabla 2. Unidades Suplementarias del SI.**

| Cantidad | Nombre de Unidades SI Suplementarias | Símbolo |
|---|---|---|
| Ángulo Plano | radián | rad |
| Ángulo Sólido | esterorradián | sr |

**Tabla 3. Unidades SI Derivadas y Nombres**

| Cantidad | Nombre de Unidad SI Derivada | Símbolo |
|---|---|---|
| Area | metro cuadrado | $m^2$ |
| Volumen | metro cúbico | $m^3$ |
| Velocidad | metro por segundo | m/s |
| Aceleración | metro por segundo cuadrado | $m/s^2$ |
| Densidad | kilogramo por metro cúbico | $kg/m^3$ |
| Densidad de Corriente | amperio por metro cuadrado | $A/m^2$ |
| Fuerza del Campo Magnético | amperio por metro | A/m |
| Volumen Específico | metro cubicó por kilogramo | $m^3/kg$ |
| Luminiscencia | candela por metro cuadrado | $cd/m^2$ |

**Tabla 4 Unidades Suplementarias del SI**

| Cantidad | Nombre Especial de la Unidad SI Derivada | Símbolo | Valor según la base o en Unidades SI Suplementarias o en otras Unidades SI Derivadas |
|---|---|---|---|
| Frecuencia | hertz | Hz | l/s |
| Fuerza | newton | N | $kg.m/s^2$ |
| Presión, Esfuerzo | pascal | Pa | $N/m^2$ |
| Energía, Trabajo, Cantidad de Calor | joule | J | N.m |
| Potencia | watio | W | J/s |
| Cantidad Electricidad | coulombio | C | A.s |
| Potencial Eléctrico | voltio | V | W/A |
| Capacitancia | faradio | F | G/V |
| Resistencia Eléctrica | ohmio | Ω | V/A |
| Conductancia | siemens | S | A/V |
| Flujo Magnético | weber | Wb | V.s |
| Densidad de Flujo Magnético | tesla | T | $Wb/m^2$ |
| Inductancia | henry | H | Wb/A |
| Flujo Luminoso | lumen | lm | cd.sr |
| Iluminación | lux | lx | $lm/m^2$ |
| Actividad (radionúcleos) | becquerel | Bq | l/s |
| Dosis Absorbida | gray | Gy | J/kg |

**Tabla 5 Prefijos Métricos**

| Factor de Multiplicación | Prefijo | Símbolo |
|---|---|---|
| $10^{18}$ | exa | E |
| $10^{15}$ | peta | P |
| $10^{12}$ | tera | T |
| $10^{9}$ | giga | G |
| $10^{6}$ | mega | M |
| $10^{3}$ | kilo | k |
| $10^{2}$ | hecto | h |
| $10^{1}$ | deca | da |
| $10^{-1}$ | deci | d |
| $10^{-2}$ | centi | c |
| $10^{-3}$ | mili | m |
| $10^{-6}$ | micro | μ |
| $10^{-9}$ | nano | n |
| $10^{-12}$ | pico | p |
| $10^{-15}$ | femto | f |
| $10^{-18}$ | atto | a |

**Tabla 6 Cantidades y Unidades Estándar**

| Cantidad | Nombre de la Unidad | Símbolo de la Unidad | Definición |
|---|---|---|---|
| Tiempo | minuto | min | 1 min = 60 s |
| | hora | h | 1 h = 60 min |
| | día | d | 1 día = 24 h |
| Plano | grado | ° | 1° = (π / 180) |
| Ángulo | | | rad |
| | minuto | ' | 1' = (1/60)° |
| | segundo | " | 1" = (1/60)' |
| Volumen | litro | l | 1 l= 1dm$^3$ |
| Masa | tonelada métrica | t | 1 t = $10^3$ kg. |

Unidad de longitud: metro

La unidad básica de longitud era el metro que se definió por muchos años como la "diezmillonésima parte de un cuadrante de meridiano terrestre" ó sea el arco máximo que pasaba por el Polo y por el Ecuador. Como esta unidad era incómoda, se construyó un prototipo de la aleación platino-iridio al 10%, en forma de X, que es la sección menos deformable a la flexión, con dos finas marcas cerca de los extremos, distanciadas un metro, y sometida a una temperatura de cero grados celsius. De esta manera la nueva definición de metro fue: "es la longitud que separa los dos trazos del metro prototipo, que se encuentra en Sévres, a la temperatura de cero grados centígrados".

La redefinición del metro en 1960 fue mucho más radical y congruente con la estructura atómica de la materia, que resulta ahora ser la nueva orientación que siguen las redefiniciones de las unidades, por ser rigurosamente precisas. El metro "es un múltiplo de la longitud de onda λ en el vacío de la línea espectral rojo-anaranjado del átomo de criptón 86 ($^{86}$Kr)".En consecuencia, el metro es igual a 1.650.763,73 veces la longitud de onda, en el vacío, de la radiación correspondiente a la transición entre los niveles $2p_{10}$ y $5d_5$ del átomo de criptón 86; es decir 1 metro = 1,65076373 x $10^6$ / ($^{86}$Kr; $2p_{10}$-$5d_5$) siendo λ ($^{86}$Kr; $2p_{10}$-$5d_5$)= 6,05780221 x $10^{-7}$ metros.

Pero en 1983 nuevas investigaciones llevaron a que se redefiniera el metro como "la longitud atravesada por un rayo de luz, en el vacío, durante un intervalo de tiempo de 1/299.792.458 de segundo".

Unidad de Masa: kilogramo

Esta es la unidad que más embates ha resistido en el tiempo. Recordaremos que el kilogramo fue definido como la masa de 1 decímetro cúbico de agua pura a la temperatura de su máxima densidad, de manera que se optó por construir a la medida, un cilindro sólido de platino que cumpliera con las mismas condiciones referidas al decímetro cúbico de agua pura a 4° Celsius. Más tarde se comprobó que no era posible garantizar un agua con la pureza y características físico-químicas exigidas, teniendo que cambiar en 1889 el prototipo, a un cilindro de platino-iridio al 10% de masa similar.

De esta manera el kilogramo es "la masa del kilogramo prototipo internacional, que es un cilindro de platino-iridiado, conservado en la Oficina Internacional de Pesos y Medidas de Sévres".

Unidad de Tiempo: segundo

Por siglos el tiempo había sido medido en función de la rotación de la tierra, de manera que el segundo se definió como 1/86,400 de un día solar medio. Pero la rotación de la tierra no es lo suficientemente constante para determinar la unidad básica del tiempo. La diferencia entre el tiempo solar verdadero y el tiempo solar medio varía entre +15 y -16 minutos durante el año. Como resultado, la unidad de tiempo, el segundo, se redefinió en 1967 en función de la frecuencia de resonancia del átomo del 133Cesio.

La 13ª Conferencia General de Pesos y Medidas de 1964 decidió tomar como medidas de tiempo y frecuencias provisionales, el valor 9.192.631.770 Hz para la transición hiperfina del átomo 133Cs, pero se mantenía el segundo según las efemérides, siendo la unidad básica del tiempo.

Finalmente, en la 13ª Conferencia General de Pesos y Medidas de 1967 se redefinió el segundo, basado en el tiempo calculado en los modernos relojes atómicos (que utilizan el segundo atómico) que reza

así: "El segundo es la duración de 9,192.631,770 períodos de la radicación correspondiente a la transición entre dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de Cesio 133". Se acabó el segundo del día solar medio que solo se usa en astronomía.

Corriente Eléctrica: ampere

Se definió como ampere la unidad de la "corriente eléctrica constante, que fluye en dos conductores paralelos separados un metro, en el vacío, que producen una fuerza entre los conductores de $2 \times 10^{-7}$ newtons por metro de longitud"

Temperatura Termodinámica: Kelvin

La unidad de temperatura termodinámica, adoptada en 1960 se basaba en el punto triple de temperatura del agua, donde se encuentran en equilibrio las fases sólida, líquida y vapor. A este punto triple se le asignó el valor de 273,16 grados kelvin, igualmente equivalente a 0 grados celsius en la escala de temperaturas. Esta escala había sido separada entre los puntos de congelación y de ebullición del agua en 100 divisiones (grados) por Anders Celsius y se reemplazó el término centígrado, muy usado en nuestro ambiente académico, por el de celsius.

Cantidad de Substancia: mol

El mol permite contar el numeró de partículas que intervienen en un proceso físico o químico. En 1971 el mol fue definido como "cantidad de substancia de un sistema que tiene tantas entidades elementales como átomos en 0,012 kilogramos de 12Carbono puro". Cuando se utiliza el mol, deben especificarse las unidades elementales que pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones, otras partículas o grupos especiales de tales partículas[6].

Intensidad Luminosa: candela

Esta unidad de intensidad luminosa se definió originalmente como "la 1/60 parte de la luz radiada por un centímetro cuadrado de un cuerpo negro, mantenido a la temperatura de solidificación del platino bajo una presión de 101.235 pascal" (1 atmósfera). Ahora se define más precisamente como la intensidad de una fuente luminosa, en una dirección dada, con una frecuencia de $54 \times 10^{12}$ hertz y una intensidad de radiación de 1/683 watios por esterorradian en esa dirección".

Angulo Plano: radián

El radián es el "ángulo plano entre dos radios de un círculo que cortan la circunferencia de un arco de igual longitud que la del radio"

Angulo Sólido: esterorradián

El esterorradián es el ángulo sólido $\Omega$ que se define como "la porción S de la superficie de una esfera de radio r , cortada por un cono cuyo vértice coincide con el centro de la esfera y cuya abertura es 2p". Siendo p el semiángulo de abertura, se tiene entonces la siguiente relación:

$$\Omega = S/ r^2 = 2\pi ( 1 - \cos p)$$

Otras Cantidades Derivadas

Las otras cantidades incluidas como derivadas del sistema SI provienen de las operaciones calculadas a partir de las siete unidades base y de las dos unidades suplementarias (Ver Tabla 3 y Tabla 4 anexas).

Cantidades Estándar y sus Unidades

La Tabla 6 contiene las cinco cantidades estándar, el nombre, el símbolo utilizado y la definición correspondiente en caracteres dimensionales. Estas cantidades se utilizan con tanta frecuencia que no sería práctico dejar de usarlas y son aceptadas por el SI.

Hay algunas cantidades que están sujetas a un tiempo limitado de utilización y a una revisión en el futuro. Entre ellas se encuentran: la atmósfera estándar, la baria, el angstrom, la hectárea, que se usan con cierta frecuencia en el ambiente académico, científico y agrícola, y en las unidades marinas: el nudo, la milla náutica, por citar algunos casos.

Otros Comentarios

Una de las ventajas del sistema coherente de las unidades del SI se debe a que se puede calcular otras unidades como relaciones de multiplicación y división de las unidades derivadas y suplementarias, sin utilizar factores numéricos de transformación. Como se pueden generar cifras que son muy elevadas o muy pequeñas, se ha expandido el rango de los prefijos a valores determinados por el factor $10^{\pm n}$ donde el exponente del factor se ha incrementando de 3 en 3, a partir de n = 3.

Los dobles prefijos no se usan salvo el caso del gramo.

Los prefijos hecto, deca, deci, centi se usan cada vez menos para expresar áreas y volúmenes.

El centímetro se ha mantenido por el uso continuado en la manufactura de prendas de vestir.

Unidades no-coherentes[7]

En relación a las unidades no-coherentes llamadas técnicas, son por ejemplo las unidades de fuerza en las que la unidad de masa (kilogramo, libra, etc.) está multiplicada por una unidad no-coherente de aceleración (1 m/ $s^2$) o bien (1 pié/ $s^2$), sino por la aceleración normal debida a la gravedad $g_n = 9,80665$ m/ $s^2$.

En los países de habla francesa e Inglesa se añade la palabra fuerza al nombre de la unidad de masa y la letra "f" al símbolo de la unidad. Por ejemplo kilogramo-fuerza (kgf) o libra-fuerza (lbf).

Las unidades técnicas de fuerza son superfluas y desaparecerán ya que deben evitarse en trabajos científicos.

Aceleración debido a la gravedad[8]

El valor convencional no se utiliza para cálculos precisos sobre las acciones generadas por un campo de fuerzas gravitatorias.

El valor convencional de la aceleración debida a la gravedad es:

$$g_n = 980{,}665 \text{ Gal (cm/ s}^2) \qquad (1)$$

La fórmula internacional de la gravedad que se refiere al elipsoide terrestre internacional es:

$$g_i = 980{,}632\,272 - 2{,}586145 \cos 2B + 0{,}002878 \cos 4B - 0{,}000004 \cos 6B \qquad (2)$$

donde $g_i$ = aceleración debido a la gravedad al nivel del mar, siendo B la latitud (Ver Tabla 7).

Si se toma en cuenta también la altura h (en metros) sobre el nivel del mar se tiene, entre otras, la siguiente fórmula[9]

$$g = 980{,}616 \left( 1 - 0{,}00259 \cos 2B - 2 \times 10^{-7} \times h \right) \qquad (3)$$

Otro parámetro que se tiene que tomar en cuenta para determinar con mayor precisión el valor de la gravedad en una determinada localidad, y su desviación del valor convencional, es la rotación de la tierra, cuya fuerza centrípeta actúa perpendicular al eje de la rotación de la tierra y por consiguiente interviene en el paralelogramo de fuerzas con la fuerza gravitacional, dando una pequeña desviación, la cual depende de la latitud del punto al cual se está calculando el valor de g.

La aceleración verdadera debida a la gravedad es probablemente inferior en 14 mGal al valor calculado a partir de la fórmula internacional de gravedad[10], y la Asamblea General de la UIGG (resolución 11 de 1971) ha dado origen a una Red Gravimétrica Internacional Unificada (1971) que publica en el Boletín Geodésico todas las informaciones sobre correcciones necesarias definitivas del valor de la aceleración debida a la gravedad en Postdam en el sistema nuevo.

| Latitud° | gi en Gal | gi/gn | gn/gi | Latitud° | gi en Gal | gi/gn | gn/gi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 978,0490 | 0,997332 | 1,002675 | 45 | 980,6294 | 0,999964 | 1,000036 |
| 5 | 0881 | 372 | 635 | 46 | 7197 | 1,000056 | 0,999944 |
| 10 | 2043 | 491 | 516 | 47 | 8098 | 148 | 852 |
| 15 | 3940 | 684 | 321 | 48 | 8998 | 239 | 761 |
| 20 | 6517 | 947 | 057 | 49 | 9894 | 331 | 669 |
| 25 | 9694 | 0,998271 | 1,001732 | 50 | 981,0787 | 422 | 578 |
| 30 | 979,3378 | 647 | 355 | 51 | 1673 | 512 | 488 |
| 31 | 4165 | 727 | 273 | 52 | 2554 | 602 | 398 |
| 32 | 4968 | 809 | 193 | 53 | 3427 | 691 | 309 |
| 33 | 5785 | 892 | 109 | 54 | 4291 | 779 | 221 |
| 34 | 6614 | 997 | 025 | 55 | 5146 | 866 | 134 |
| 35 | 7456 | 0,999062 | 1,000938 | 56 | 5990 | 952 | 048 |
| 36 | 8308 | 149 | 851 | 57 | 6822 | 1,001037 | 0,998964 |
| 37 | 9170 | 237 | 763 | 58 | 7642 | 121 | 880 |
| 38 | 980,0041 | 326 | 674 | 59 | 8448 | 203 | 798 |
| 39 | 0920 | 416 | 585 | 60 | 9239 | 284 | 718 |
| 40 | 1805 | 506 | 494 | 65 | 982,2941 | 661 | 342 |
| 41 | 2696 | 597 | 403 | 70 | 6139 | 987 | 617 |
| 42 | 3591 | 688 | 312 | 75 | 8734 | 1,002252 | 0,997753 |
| 43 | 4490 | 780 | 220 | 80 | 983,0647 | 447 | 359 |
| 44 | 5391 | 872 | 128 | 85 | 1818 | 566 | 440 |

**Tabla 7 Fórmula Internacional de Gravedad (gi) a nivel del mar en función de la latitud.**

## Recursos bibliográficos

1 Galileo Galilei "Diálogos Concernientes a Dos Nuevas Ciencias", Libro Tercero. Teorema II, Proposición II. p.174. Dover Publication, Inc. (60099-8). Título en Inglés: Dialogues Concerning Two New Sciences.

2,3,4,5

Internet :Ver mailto: webmaster @ bipm. fr p. 1

Tomado de index..htmlindex.html. Historical context of the SI. p. única

6 Documenta Geigy. "Tablas Científicas"7ª Ed. Ciba-Geigy SA, Basilea, Suiza (1975) p.232

7 Documenta Geigy. "Tablas Científicas" 7ª Ed. Ciba-Geigy SA, Basilea, Suiza (1975) p. 216

8 M.F.Gran. Elementos de Física General y Experimental. (1948) 4ª Ed.Edit Minerva. p. 227

9 Asociación Internacional de Geodesia, Sección de Gravimetría. Institut Geophysique National, Paris, 1968 p.146: Resolución 22.

10 Del CD Excel 99. Jean le Rond d'Alembert (1717-1783). Nacido en París, hijo natural de la escritora francesa Claudine Guerin de Tencin, fue abandonado en los escalones de la capilla Saint Jean le Rond, de donde recibió su nombre. Se destacó como matemático (escribió: Memoire sur le calcul integral, en 1739, tan solo a los 22 años), físico (Treatise de dynamique, en 1743), meteorólogo (Reflexions sur la cause générale des vents, en 1746). En este tratado aportó la teoría del cálculo de las ecuaciones diferenciales parciales.

En 1751 se asoció con el Enciclopedista Denis Diderot para editar la Enciclopedia Francesa.

Es conocido por su contribución a la mecánica, por el famoso principio de d'Alembert que permite calcular problemas dinámicos considerando al sistema como si fuera estático, al determinar que "la resultante de las fuerzas impresas sobre un sistema son equivalente a las fuerzas efectivas del sistema completo".

11 Noticia de prensa:

Sic <<TIME Magazine: World Watch-October 11,1999

Pasadena

The U.S. space agency says the loss of its Mars Climate Orbiter probably was due to one engineering team using imperial units and another using metric ones in determining acceleration data. The craft flew too close to the planet and is believed to have or burned up in its atmosphere on Sept. 23.

Scientists at NASA's Jet Propulsion Laboratory in Pasadena, California, said the uncaught error meant that inaccurate data was used in maneuvering the spacecraft into a Martian orbit>>.

# El SI y las Leyes sobre Pesas y Medidas Parte II. Atwood vs. Mefisto

***Ing. Joseba A. Lascurain***

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

**Poeta:**

Todo debía haber sido así,
¡no era posible de otra manera! Fueron fantasías de la memoria.
Los espacios y los tiempos de Riemann,
Minkowski, Einstein y Weyl
se cruzaron en un instante, en algún lugar de lejanía.

**Mefistófeles:**

¿Quién me llama?
¿Quién se atreve a despertarme con tanta prisa?
¡Pienso que es el Fausto a revenderme su alma!
¡Margarita está muerta y no debemos molestarla!

**El intruso (*Con voz temblorosa*):**

¡Soy yo Mefisto, ¿no te acuerdas?

**Mefistófeles:**

¿Tú vil gusano? ¿Cómo te atreves a hablarme en diminutivo?
Mi padre Goethe, quien me engendró, solo lo hizo una sola vez,
y desde entonces por la injuria juré venganza, por la flama y la caverna;
¡Por eso te haré morder el polvo, por tu desplante y por tu alma!
¡Sé quién eres! desde el trasfondo de mi conciencia.
Te llamas George Atwood y naciste en Londres en 1794, antes de mi amado padre.
Estudiaste en Trinity College (¡Qué demencia!)
y también fuiste profesor en él.

William Pitt, el viejo, eterno rival, te compró con 500 Libras por un año para dedicarte a las Finanzas (¡vergüenza magna!) . Su hijo (murmurando) fue nombrado Canciller de Hacienda a los 23 años.

¡Yo en cambio (*con vehemencia*) deseaba hacerme todo un sabio, aprender, cuanto haya que aprender en la Tierra y el Cielo, la Ciencia y la Naturaleza!

Ahora comprendo porqué escribiste un Tratado sobre el Movimiento Rectilíneo (Ja!,Ja!,Ja! no es para menos). ¿Por qué hiciste entonces demostraciones, ¡Quién te entiende!, para comprender las leyes del movimiento uniformemente acelerado debido a la gravedad en la tierra? Tú sabes bien que yo no necesito de tal cosa para transportarme en el Universo. ¡Mira aquí tengo la máquina que mandaste para estudiar Física en Venezuela! ¡Desalmado! (*sacando un pergamino debajo del lado derecho interior de su roja capa y depositándolo sobre la mesa).* ¡Más adelante oiré tu discurso!

Para rematar lo bueno, escribiste sobre la Construcción de Arcos y de la Estabilidad en los Barcos, e intentaste engrosar el benemérito cuerpo de nuestros ingenieros terrenales con el diseño del nuevo Puente de hierro sobre el río Támesis. ¡Aleluya!¡Aleluya! ¡Que el Gran Señor de las Alturas no me culpe por la envidia!....Hasta te dieron la Medalla Copley del Royal Society. ¡¡Cúanta Furia tengo !!

**Atwood:**

¡Bueno deja de ponzoñear y vamos al grano!
Este es mi 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.....en la tierra"

**Mefisto :**

Aunque tenemos Facultades en distintas ciencias, no estamos facultados legalmente para calificar de invento a todo equipo, máquina, componentes o mejoras que surgen de las investigaciones hechas por nuestro personal docente, auxiliares, y otros. En todo caso, Atwood, debes formalizar tu solicitud ante la Oficina de Patentes y seguir el procedimiento pautado en los Reglamentos y Leyes Nacionales e Internacionales.

(La discusión sobre este trabajo se inicia con UNA BREVE RELACION HISTORICA PARA ENTENDER EL ORIGEN DEL "SI" y sigue con el SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI) donde se explica con suficiente extensión acerca de la filosofía en la cual se fundamentan los sistemas de unidades.... la cual, por cierto, difiere desde sus orígenes con el concepto cinemático de la caída de los cuerpos de Galileo).

**Atwood :**

¡Qué golpe cruento me habeis dado!

Mi trabajo contiene diez párrafos y comienzo con la afirmacion siguiente: "Considero que mi trabajo es muy original y novedoso.....".

Y sigo en la página tres : "A 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 cual lo considero que es además de compatible con lo establecido ....." Creo que estas ideas son manifestaciones de la euforia o resultado de especulaciones, de carácter emocional, sobre una determinada materia.

**Mefisto :**

Mi falla en reconocer el valor de este documento puede ser debido a deficiencias en tu poder de comunicación, por falta de claridad, o porque las ideas pueden no estar adaptadas al cuerpo de trabajos experimentales o teóricos que se acostumbran realizar desde tiempos inveterados.

Parece que se requiere una ampliación del concepto sobre especulaciones, que cubren una buena parte de tu trabajo, cuya discusión resultaría interminable, y por otra parte no es el objetivo de tu propuesta de Máquina de Atwood modificada .

En todo caso te recomendaría, enviar tus ideas a la Revista Técnica titulada "Speculations in Science and Technology". An International Journal devoted to speculative papers in physical, mathematical, biological, medical and engineering sciences. Editada por ELSEVIER SEQUOIA S.A LAUSSANE. Los manuscritos se envían al editor William M. Honig. Wertern Australia Institute of Technology, Perth, S, Bentley, 6102, WesternAus-tralia, e. mail : www.chapmanlhall.com/ss/default.html

¡Hay que usar la moda del siglo XXI! . Cada vez más se me están facilitando más las tareas que me dejó por migajas el Gran Arquitecto. Ja, Ja, Ja !!! (*riendo entre soplidos y rechinar de dientes*)

**Atwood:**

Te preparé un resumen: "Creo demostrar que la Máquina de quién te habla, George Atwood, y que logré construir en 1784 debió haber sido el equipo modelo para ayudar en la comprensión de un Sistema Mundial Perfecto de Unidades. Propongo que por las circunstancias que te indiqué tiempo atrás, sobre la máquina que he concebido inspirándome en la Máquina de Atwood se la califique con el Equipo Modelo para ayudar en la comprensión del Sistema Internacional de Unidades (SI)..... "

(Leer los Mefistos que siguen a continuación)

**Mefisto:**

(*Leyendo a Goethe en Mefistófeles hablando con la Bruja, quién retrocede, llena de horror y susto*)

¿Me reconoces, esperpento? ¡Espantajo! ¿Reconoces a tu señor y maestro? ¡Si no fuera porque me contengo, la emprendería a golpes contigo y te hacía migas a ti y a tus espíritus gatunos ¿Es que ya no te infunde respeto el terciopelo rojo? ¿Ni aciertas a distinguir la pluma del gallo? ¿Acaso me tapo el rostro? ¿Será menester que diga quién soy?.

¡Oye bien, pues, y enmudece!

Además de tu primer párrafo ya transcrito, tienes otras ideas personales que no vienen a resolver nada relacionado con el fondo del objeto de tu trabajo. Algunas de estas ideas han sido resueltas desde hace más de un siglo por las sucesivas Conferencias Internacionales de Pesas y Medidas y difícilmente hoy día se va a dar marcha atrás en los avances del Sistema Internacional de Unidades (SI) y la precisión de las unidades utilizadas en el universo cuántico actual. (Ver las nuevas definiciones en el trabajo sobre el SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES ) (SI).

El United States Department of Commerce[11], a través de su National Institute of Standards and

Technology ( NIST Special Publication 814) contiene la Interpretación del SI para los Estados Unidos y la Política de la Conversión Métrica para las Agencias Federales (Ver Anexo a continuación). El Laboratorio de Física del Instituto mantiene una organización con equipos y personal altamente calificado para estudiar cualquier criterio de modificación o de incorporación de nuevas unidades al International Sistem of Units para los Estados Unidos.

**Atwood:**

¡No me importa lo que dices, y sigo con mi introducción!

Contiene una descripción de la Máquina de Atwood con un total de doce párrafos. El párrafo ocho dice los siguiente: "En muchos de los libros donde se incluye a la Máquina de Atwood no se indican sus detalles constructivos y sólo se la muestra con masas diferentes en los extremos de la cuerda....."

**Mefisto:**

¡Esto es una falacia! . A continuación te presento varios recortes de las páginas 200, 201, 202 y 203 (*abriendo los encartonados rollos*) de los Elementos de Física General y Experimental de M.F.Gran. Tomo I, Editorial Minerva, La Habana, que utilizamos en nuestros estudios de bachillerato, donde aparece con lujo de detalles la Máquina de Atwood, que ya comenté anteriormente. ¿No te acuerdas?

Pero en el párrafo doce señalas: "Para lo cual considero que la masa adicional sea MUCHISIMO MAYOR que las masas de balance."

*Todos los cuerpos caen en el vacío con movimiento uniformemente acelerado.* Esta aceleración es constante en un lugar determinado de la tierra, según vimos en la primera ley.

La ley enunciada se demuestra experimental y directamente de manera sencillísima. Un método consiste en dejar caer una esferilla pintada de blanco frente a una pared pintada de negro de humo, y fotografiar la caída por medio de una cámara fotográfica frente a cuyo objetivo se mueve uniformemente un obturador que interrumpe la entrada de la luz que llega de la esfera a intervalos iguales de tiempo. De aquí resulta que al revelar la placa se obtienen las imágenes de las posiciones A, B, C, D, E, ..., (fig. 275) que ha ocupado la esferilla al cabo de intervalos iguales de tiempo. Midiendo por medio de un micrómetro las distancias AB, BC, CD, DE, ..., se observa que están entre si como la serie de los números impares, como ocurre en todo movimiento uniformemente variado, según hemos visto (99-3°).

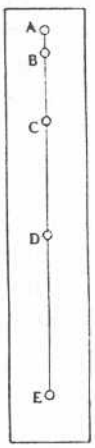


Fig. 275

Otro método consiste en dejar caer un diapasón entre dos correderas MN, PQ, (fig. 276), vibrando frente a una lámina de vidrio cubierta de negro de humo, que está en contacto con una de las ramas del diapasón por medio de una punta en A.

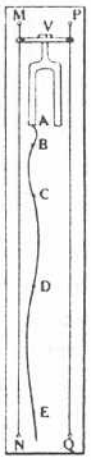


Fig. 276

El diapasón, cuyo choque en la parte baja del aparato se atenúa disponiendo allí un amortiguador cualquiera, traza sobre la lámina una curva cuyos puntos A, B, C, D, ..., situados en sus pasos por la posición de equilibrio, corresponden a tiempos iguales a una semioscilación. Ahora bien, todas las semioscilaciones del diapasón duran el mismo tiempo, y si se toma este tiempo como unidad, los segmentos AB- AC, AD, ..., representan los espacios recorridos por el diapasón en su caída al cabo de una, de dos, de tres, etc., unidades de tiempo, respectivamente. Midiendo directamente estas longitudes se encuentra que

$$AC = 4\,AB\,;\quad AD = 9\,AB\,;\quad AE = 16\,AB,\ \ldots$$

es decir, que se cumple la ley de los espacios. (99-1°).

La segunda parte de la ley queda probada con lo dicho en el párrafo anterior.

**184.—Máquina de Atwood.**—Los métodos dados prueban la ley de los espacios cuya verdad implica la ley de las velocidades, según puede probarse matemáticamente, pero existen aparatos con los cuales puede comprobarse esta ley directamente, y uno de los más instructivos es la máquina de Atwood, de poca precisión, pero muy útil como aparato demostrativo.

Los modelos de esta máquina, fácil de construir, presentan variantes en los detalles. Uno de los mejores está formado por una rueda R (fig. 277)

cuyo eje descansa sobre otras cuatro ruedas $r$ más pequeñas, cuyo fin es facilitar la rotación de la primera. La rueda R tiene una garganta en la periferia por la cual pasa un hilo IIII, fino, ligero y resistente, en cuyos extremos hay dos pesos iguales $P_1$ y $P_2$. Este hilo pasa por dos orificios practicados en una plataforma A, sobre la cual descansa el mecanismo de ruedas descripto, y que va protegido a veces por una caja de vidrio C.

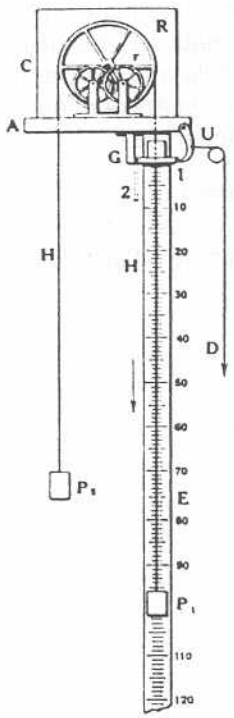


Fig. 277

La plataforma A va fija en el extremo superior de un soporte vertical E, en el que hay marcada una escala dividida en partes iguales, generalmente centímetros, frente a la cual se mueve el peso $P_1$. Unida a la plataforma A va la pieza G, donde se halla articulada otra plataforma pequeña, situada justamente debajo de uno de los orificios de la primera; la segunda pasa de la posición 1 a la 2 por la acción de su peso, cuando se tira de la cuerda D, que separa la uña U, que la mantiene en la posición representada. Todo el sistema descansa sobre una base provista de tornillos con que es posible disponer vertical la regla E, para lo cual basta lograr su paralelismo con el hilo. A veces la máquina lleva un péndulo, cuyas oscilaciones se mantienen por la caída de un cuerpo. De no ser así, se miden los intervalos de tiempo con otro reloj o con un metrónomo.

En este aparato los frotamientos son suaves, pero su valor es bastante para que los pesos iguales P se equilibren en cualquier posición, aunque la longitud del hilo de un lado y otro no sea la misma. Para provocar el movimiento de $P_1$ se disponen sobre él sobrecargas $S_1$, $S_2$, semejantes a las representadas, figura 278), de formas diferentes, según puede verse en la figura, por razón del uso a que se destinan.

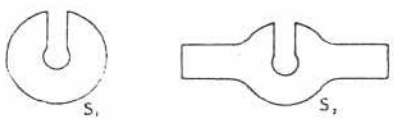


Fig. 278

A lo largo de la columna E (fig. 279) pueden disponerse varias correderas A, B, que se fijan a la columna por medio de tornillos T y T'. De éstas, unas son llenas como la A, y detienen al cuerpo $P_1$ en su caída, otras son huecas como la B, y están destinadas a dejar pasar $P_1$ y la sobrecarga $S_1$, pero detienen la sobrecarga más larga $S_2$.

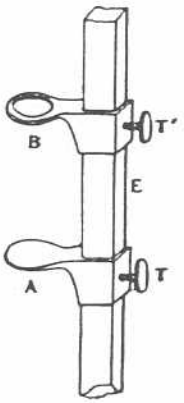


Fig. 279

1º—Comprobación de la ley de las velocidades.— Para comprobar esta ley se emplea la sobrecarga alargada $S_2$, (fig. 278), y se procede como sigue: situado el cuerpo en la plataforma

G, (fig. 280), se coloca el aro B en la escala, más alto que la pieza A, y se disponen las cosas a tanteo de manera que el cuerpo parta de G al producirse un ruido en el reloj, y que al sonar el siguiente golpe, éste sea simultáneo con el choque de la sobrecarga $S_2$ en el aro B, donde queda detenida, mientras el cuerpo sigue moviéndose por la velocidad adquirida hasta chocar con la pieza A, en el mismo instante en que se produce otro golpe en el péndulo. La distancia AB representa evidentemente la velocidad adquirida al cabo de la primera unidad de tiempo. Para probar que ésta es constante, se repite la operación dejando B fija y colocando A en A′, de modo que mientras el cuerpo va desde B hasta A′, transcurran dos unidades de tiempo; se comprueba entonces que

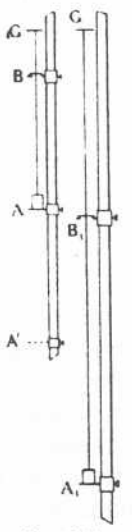


Fig. 280

$$BA' = 2\,BA.$$

Si la operación se hace de modo que el cuerpo abandone la sobrecarga en $B_1$, al cabo de dos segundos de movimiento, será preciso disponer la plataforma en $A_1$ para que el cuerpo se detenga al cabo de la siguiente unidad de tiempo. Se comprueba entonces por medición directa, que la velocidad adquirida al cabo de dos segundos, representada por $B_1A_1$, es el doble de la BA, adquirida al cabo de un segundo. Ahora bien, como esto es general, resulta que el movimiento que adquiere $P_1$ y, por lo tanto, todo el sistema, cuando deja la sobrecarga, es uniforme. Se ve, pues, comprobado lo que se dijo en otro lugar, (95), y se puede enunciar:

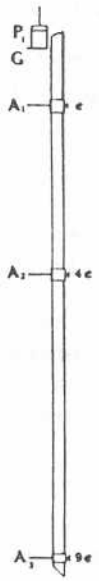


Fig. 281

*Si se tiene un movimiento variado cualquiera, y en un instante dado se suprime la causa aceleratriz, el móvil sigue moviéndose, a partir de ese instante, con movimiento uniforme cuya velocidad es la del movimiento variado en el instante de cesar la acción aceleratriz.*

En resumen, para probar la primera ley basta disponer las cosas de manera que la sobrecarga quede detenida al cabo de tiempos $t$, $2t$, $3t$, ..., $nt$, y midiendo los espacios recorridos al cabo de otro intervalo, se comprueba que éstos están entre sí como $1:2:3:\ldots:n$, respectivamente, lo cual prueba que las velocidades adquiridas al cabo de los diferentes intervalos son $v$, $2v$, $3v$, ..., $nv$, donde $v$ es la velocidad adquirida al cabo del primer intervalo. La proporcionalidad de velocidades y tiempos queda así demostrada.

2º—Ley de los espacios.—Para comprobar esta ley, se sitúa $P_1$ en la plataforma G, (fig. 281), provisto de la sobrecarga $S_1$, y se dispone la pieza A a una distancia a la cual crea el observador que va a llegar el

móvil al cabo del intervalo transcurrido entre dos golpes del metrónomo. Se atiende al golpe del reloj con el hilo D en la mano, y se tira bruscamente del mismo en el instante en que se oye un golpe de aquél. El cuerpo $P_1$ se mueve hasta chocar con la pieza A y se hacen los tanteos precisos para que este choque se produzca simultáneamente con el golpe siguiente del reloj. La lectura en la regla da el espacio $e$ recorrido en la primera unidad de tiempo. Se repite la operación disponiendo las cosas de manera que el choque con la pieza A se produzca al cabo de 2, 3, ..., $n$, unidades de tiempo, y se miden los espacios correspondientes dados por las posiciones $A_1$, $A_2$, $A_3$, ..., de esta pieza. Se comprueba entonces que los valores de estos últimos son $4e$, $9e$, ..., $n^2e$, respectivamente, y la ley queda demostrada.

¿A qué te refieres sobre que la masa adicional sea muchísimo mayor que las masa de balance? ¿Serán 10, 50, 100 kilogramos ? En la medida que aumenta el peso de la masa adicional, el equipo se va haciendo más difícil de trasladar y de utilizar como equipo experimental. Parece ser entonces que el montaje ha sido producto de la imaginación tuya sin haber logrado construir, ni poner en marcha tu modelo, a fin de crear un prototipo donde se han resuelto algunas dificultades prácticas, tal como se indico más adelante.

A tu pregunta acerca de: ¿por qué la aceleración debida a la gravedad no depende de la cantidad de masa de los cuerpos? agregaste algo que debo aclarar. Esta página de tu trabajo contiene la siguiente expresión : "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".

**Mefisto:**

¡Atento Atwood! Para entender lo que Galileo intentó hacer en sus experimentos sobre la caída libre de los cuerpos hay que leer su obra póstuma "Dialogues Concerning Two New Sciences". Editada en 1638, originalmente traducida al Inglés y publicada en 1914 , por Henry Crew y Alfonzo del Salvio, con introducción de Antonio Favaro. Dover Publications, Inc, New York. El teorema I en el Libro II, no emplea ninguna velocidad media que represente el movimiento acelerado en la caída libre.

Recomiendo a los lectores de este autor, leer adicionalmente sobre el tema. El gran estudioso de las obras de Galileo el Sr. Stillman Drake quién estudió y encontró en el documento designado f, 152r Volumen 72, de los manuscritos Galileanos preservados en la Biblioteca Central Nacional de Florencia, durante un período de tres meses del año 1972, las pruebas enviadas por Galileo a Paolo Sarpi sobre las relaciones de las distancias atravesadas en caída libre $s_1/s_2$ son proporcional al cuadrado de los tiempos $(t_1^{\,2}/\,t_2^{\,2})$, en la que se fundamenta básicamente la experimentación de Galileo. En ningún momento Galileo se refirió a la masa de los cuerpos y la aceleración de la gravedad. En todo caso hay que referirse a la obra de Newton muchos años después.

(Ver Scientific American. May 1973. Volume 228. Number 5. "Galileo´s Discovery of the Law of Free Fall". Stillman Drake. p.p 84 - 92 )[1]

**Atwood:**

Óyeme Mefisto del infierno, ¿qué me dices de las tres intervenciones que le hice a mi máquina?

Lee como en la página doce al pié de página se dice: "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"

**Mefisto:**

¡Por esta vez te perdono, pues a decir verdad, hacía mucho tiempo que no nos veíamos. También al diablo le encandila la cultura que a todo el mundo emboba!

¡Atwood escúchame! Aquí te metes en un verdadero laberinto de falacias. La siguiente fórmula sirve para determinar los esfuerzos y deformaciones en resortes helicoidales de sección recta circular que obliga a reconsiderar tus tres intervenciones sobre la Máquina de Atwood.

La deformación del resorte no es simple y depende de una gran cantidad de parámetros variables. Además hay que agregar que el resorte va perdiendo elasticidad con el tiempo y el uso.

$$d = 64\ pr^3n/GD^4 \qquad (4)$$

Donde:

d = Deformación total de alargamiento o acortamiento en pulgadas

p = Carga (de tensión o de compresión) el libras

r = Radio del resorte medido desde el eje del resorte al centro de la sección recta en pulgadas

n = Número de vueltas "activas" en el resorte, es adimensional

D = Diámetro de la sección circular del resorte en pulgadas

G = Módulo de rigidez del material (Módulo de Elasticidad en corte) por ejemplo en bronce $5x10^6$ lb/pulg$^2$

Para cálculos muy precisos sobre la extensión de un resorte, es necesario construir escalas de precisión, y se debe tener en cuenta el cambio de pendiente y radio de los anillos de alambre debido a las deformaciones.

La fórmula de Sayre[2] toma en consideración no solamente el efecto de este cambio de forma, sino también la deformación debido al corte transversal directo y a la flexión. Dicha fórmula es la siguiente:

$$d = p((\ RoL/GK - Ro^2Ho^2/GKL(1 - GK/EI) + FL/AG) - (Ro^3/3GKL(\ 3 - 2GK/EI\ )(H^2 + HHo - 2Ho^2)) \qquad (5)$$

Donde:

d = Deformación total de alargamiento o acortamiento en pulgadas

p = Carga (de tensión o de compresión) el libras

Ro = Radio inicial del resorte medido desde el eje del resorte al centro de la sección recta en pulgadas

L = Longitud real del alambre alrededor del cual se construyó el resorte, en pulgadas

K = El factor de rigidez ( $K= 1/2\ \Pi r^3$ ) por torsión de la sección del alambre

E = Módulo de Elasticidad del material, en lb/pulg$^2$

A = Area de la sección recta del alambre, en pulg$^2$

G = Módulo de rigidez del material (Módulo de Elasticidad en corte) por ejemplo en bronce $5x10^6$ lb/pulg$^2$

Ho = Valor inicial de H

H = Longitud variable de la porción efectiva del alambre alargado, en pulgadas

I = Momento de Inercia de la sección recta del alambre, rotando alrededor de un eje central paralelo al eje del resorte

**Atwood:**

¡Mefisto, quedé confundido y boquiabierto. Yo creía que era más sencillo!.

¿Tu no crees que ..... hemos tenido problemas con los sistemas de unidades que impusieron los hermanos de mi grupo, los Ingleses, sin tener en cuenta al resto de mis feligreses, y que por consiguiente, hemos debido influir para precisar cómo debió haber sido el Sistema Mundial de Unidades?

**Mefisto:**

En tus páginas se encuentran un numeroso grupo de afirmaciones que contienen mucho material para discutir y cuyo ordenamiento sería difícil de lograr para el buen entendimiento de los lectores. Por otra parte, considero que no dejan de ser afirmaciones carentes de valor en cuanto se refieren a cómo debían haber sido las definiciones y las Unidades del Sistema SI, problema ampliamente resuelto a estas alturas de la historia de los avances científicos en las ciencias.

Ir contra esta corriente es ahora tarea utópica y fuera de sentido, ya que los sistema de coincidencia gravitacional solamente tendrían aplicación reducida al campo de los fenómenos gravitacionales observables, por cierto con muchas limitaciones como se desprende de la discusión aquí vista, pero no resuelven los problemas resultantes de la física de las partículas subatómicas, que también tienen masa, y de los fenómenos derivados de la relatividad general.

El problema, si es que lo hay, sobre lo que es hoy en día el Sistema Internacional de Unidades y lo que debe ser a partir de una coincidencia gravitacional, podría ser objeto de una búsqueda de apoyo internacional por parte tuya ante la Asamblea General de la UIGG que dio origen a la Red Gravimétrica Internacional Unificada o del Departamento de Comercio de los Estados Unidos de América, pero considero que ten-

dría una recalcitrante oposición en la comunidad científica internacional.

**Atwood :**

¡*(con desprecio)* ¡Te inicio en las ideas del trabajo de investigación, Mefisto!

Contiene seis párrafos, entre los cuales se citan los siguientes: < Como el campo Gravitacional Estandard es de 9,806650 N/kg, y como solo se desea un campo de fuerzas de 1 N/kg, se tiene:

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

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

**Mefisto:**

¡Anota correctamente esta observaciones que con mi cálculo mental a la velocidad de la luz, y más allá, te doy ahora!:

1) Al multiplicar el valor del campo gravitacional estándar (ficticio) de 9,806650N/kg por el seno del ángulo (5,853 º) propuesto para los planos inclinados de la Máquina de Atwood modificada, resulta el valor de 1,000048264 -que no es 1- En consecuencia dicha unidad no se puede utilizar en el sistema de unidades propuesto.

2) Como te demostré en el tema dedicado a la Aceleración debido a la gravedad, el valor de $g_n$ ( Ver fórmula 3) depende entre otros factores de la latitud del lugar y de la altura sobre el nivel del mar.

Si estuviéramos realizando el experimento que propones para la ciudad de Caracas , situada a 10º 30´ 24 ´´ de latitud norte y a 917,52 metros sobre el nivel del mar (Plaza Bolívar) el valor de la gravedad sería de 9,780651616 N/kg. Evidentemente este valor multiplicado por el seno del ángulo que propones para el plano inclinado no es igual a uno, y la relación es una falacia.

Además, si hacemos el mismo experimento en el Litoral Guaireño a orillas del mar, el valor de la gravedad sería de 9,781317052 N/kg. A lo cual se aplica la conclusión del caso anterior.

Como consecuencia de estos resultados tu propuesta es inconsistente incluso para fenómenos gravitacionales que ocurren en la misma latitud pero a diferente altura sobre el nivel del mar.

3) También, déjame decirte que hay indicios que la gravedad en la tierra está disminuyendo de valor [3]. La hipótesis la formuló Ernest Mach a finales del siglo XIX bajo el punto de vista estrictamente filosófico, y en el siglo actual hay varias teorías gravitacionales que predicen que la materia se está recesando en la medida que el universo se está expandiendo, por lo que el valor de la Gravedad debe estar disminuyendo. También, la hipótesis de los grandes números de Dirac en 1937, es la primera teoría cuántica que preconiza que la fuerza de la gravedad disminuye con el tiempo.

Se han vertido variadas hipótesis de cómo medir la disminución de la Gravedad mediante la determinación del período de revolución de la órbita lunar. Si esta órbita se está expandiendo y su período de revolución está aumentando debido a una disminución de "g". entonces en cada revolución estará ocultando (eclipsando) estrellas que se ven en el fondo del espacio, a intervalos progresivamente más lentos que lo previsto y la medición de los ocultamientos se hacen con relojes atómicos.

Es interesante conocer el experimento de laboratorio propuesto por Rogers C. Ritter[4] y su grupo de la Universidad de Virginia que puede medir cambios en "g" "con una precisión de una parte en $10^{12}$ y por año sin depender de la revolución de los cuerpos celestes, con un equipo parecido a la balanza de Coulomb utilizado para determinar la acción mútua de dos polos magnéticos.

¡Y aquí está tu escarmiento!: De ser esta la realidad, y las mediciones previstas así lo establecen, con más razón resulta inaplicable el sistema propuesto.

4) Con el razonamiento anterior se concluye a mi entender el análisis del trabajo de investigación sobre el cual hemos dialogado, incluyendo el contenido de las páginas ulteriores 26 a 40.

Te dejo aquí transcrito lo que escribió mi padre antes de morir el 22 de Marzo de 1832 a quien no puedo olvidar jamás, porque ofreció a este mundo aplanado una de sus obras cumbre sobre "La Naturaleza de la Luz", que es mi máximo tormento para toda la eternidad, y a la que cada vez la siento más lejana e inaccesible para mis limitados dotes de pronosticador:

"Lo que me resta de vida puedo considerarlo como puro regalo. Mi labor está terminada ya".

De Mefistófeles, con amor, a mi madre Mariana von Villmer y a mi amigo Franz Liszt, el abate, por su Mefistos melódicos.

## Recursos bibliográficos

Johann Wolfgang Goethe " FAUSTO"
1749-1832


1 Galileo Galilei "Diálogos Concernientes a Dos Nuevas Ciencias", Libro Tercero. Teorema II, Proposición II. p.174. Dover Publication, Inc. (60099-8). Título en Inglés: Dialogues Concerning Two New Sciences.

2,3,4,5

Internet :Ver mailto: webmaster a bipm.fr p. 1

Tomado de index.htmlindex.html. Historical context of the SI, p. única

6 Documenta Geigy. "Tablas Científicas". 7ª Ed. Ciba-Geigy SA, Basilea,Suiza ( 1975) p. 232

7 Documenta Geigy. "Tablas Científicas" . 7ª Ed. Ciba-Geigy SA, Basilea,Suiza ( 1975) p. 216

8 M.F.Gray. Elementos de Física General y Experimental. (1948) 4ª Ed.Editorial Minerva. p. 227

9 Asociación Internacional de Geodesia, Sección de Gravimetría. Institut Geophysique National, Paris, 1968 p.146: Resolución 22.

10 Del CD Excel 99. Jean le Rond d´Alembert (1717-1783). Nacido en París, hijo natural de la escritora francesa Claudine Guerin de Tencin, fue abandonado en los escalones de la capilla Saint Jean le Rond, de donde recibió su nombre. Se destacó como matemático (escribió: Memoire sur le calcul integral, en 1739, tan solo a los 22 años), físico (Treatise de dynamique, en 1743 ), metereólogo ( Reflexions sur la cause générale des vents, en 1746). En este tratado aportó la teoría del cálculo de las ecuaciones diferenciales parciales.

En 1751 se asoció con el Enciclopedista Denis Diderot para editar la Enciclopedia Francesa.

Es conocido por su contribución a la mecánica, por el famoso principio de d´Alembert que permite calcular problemas dinámicos considerando al sistema como si fuera estático, al determinar que "la resultante de las fuerzas impresas sobre un sistema son equivalentes a las fuerzas efectivas del sistema completo".

11 United States Department of Commerce. National Institute of Standards and Technology.

Special Publicatio 814

12 Scientific American. May 1973. Volume 228. Number 5. " Galileo´s Discovery of the Law of Free Fall". Stillman Drake.p.p 84 - 92

13 Formulas for Stress and Strain. Raymond J. Roark. McGraw-Hill Book Company 1938 p.p 165-166

14, 15

Scientific American. February 1976. Volume 234. Number 2. " Is Gravity Getting Weaker " . Thomas C. Van Flandern. p.p 44 - 52

# Diseño, ejecución e inspección de soldaduras en edificaciones segun la nueva norma COVENIN – MINDUR 1618-98

Trabajo aceptado por la American Welding Society, AWS, para su presentación en la II Conferencia y Exhibición del Caribe Soldadura 2000. Caracas 15-16 de marzo 2000.

***Arnaldo Gutiérrez***

## Introducción

Los terremotos de Northridge 1994, en Estados Unidos, y el de Hyogo-Ken- Nambu ( Kobe 1995), en Japón, han obligado a modificar radicalmente los criterios y prácticas de diseño, ejecución e inspección de las estructuras de acero, y muy particularmente el de sus juntas y conexiones soldadas.

La nueva Norma venezolana COVENIN – MINDUR 1618-98 ***ESTRUCTURAS DE ACERO PARA EDIFICACIONES. MÉTODO DE LOS ESTADOS LÍMITES,*** declarada de obligatorio cumplimiento en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 36635 del 3 de Febrero de 1999, ha adoptado los criterios del American Institute of Steel Construction, AISC, que particularizan y complementan algunos de los requisitos de la Norma AWS D1.1 *Structural Welding Code – Steel.* Se alerta sobre las condiciones de inseguridad de las actuales edificaciones construidas con perfiles tubulares.

En este trabajo, dirigido principalmente a ingenieros civiles y mecánicos involucrados en el proyecto, la ejecución y la inspección de edificaciones civiles e instalaciones industriales, se presenta y discute la filosofía y los criterios fundamentales para las juntas y conexiones soldadas del sistema resistente a sismos, con énfasis en la preparación de las Especificaciones del Procedimiento de Soldadura ( WPS) exigidas por el AISC y el AWS D1.1. al responsable del proyecto estructural.

## Diseño, ejecución e inspección de soldaduras en edificaciones segun la nueva norma COVENIN – MINDUR 1618-98

El propósito de este trabajo es informar a los profesionales de la soldadura de la existencia de requisitos especiales para el diseño, la ejecución y la inspección de soldaduras en edificaciones.

La Norma venezolana COVENIN – MINDUR 1618-98 integra los requisitos especiales de diseño sismorresistente no contempladas en la *Load and Resistance Factor Design Specification for Structural*

**TABLA NO. 1 DIFERENCIAS ENTRE LOS REQUISITOS AISC – COVENIN Y AWS**

| Articulado AWS D1.1-1996 | Se sustituye por el Articulado COVENIN – MINDUR 1618-98 |
|---|---|
| Sección 5.17 *Cortes en las vigas y agujeros de acceso* | Sección 21.7.3 *Empalmes en secciones Pesadas*<br>Artículo 21.9 *Cortes en las vigas y agujeros de acceso* |
| Sección 2.4.1.1. *Cálculo* (garganta efectiva en soldaduras de filete) | Artículo 23.9 *Soldaduras de filete* |
| Tabla 2.3 *Tensiones Admisibles en conexiones soldadas no tubulares* | Tabla 23.1 *Resistencia de las Soldaduras* |
| Sección 2.27.1 *Soldadura de ranura de penetración parcial* | Tablas D1 *Parámetros de Diseño por Fatiga* |
| Subsección 2, Parte C *Requisitos específicos para conexiones de miembros no tubulares cíclicamente solicitados.* | Subsección 8.4.3.1 *Diseño por fatiga*<br>Apéndice D *Diseño para cargas cíclicas (Fatiga)* |
| *Sección 5.15.1.2 Reparación*<br>*Sección 5.15.4.3 Requisitos de rugosidad*<br>Sección 5.15.4.4 *Límites para la remoción* de material por arco o entalladuras | Capítulo 33 *Fabricación* |

Nota.- Estos cambios se mantienen en la propuesta de la nueva norma 1999 AISC-LRFD Specification, de Octubre 1999.

*Steel Buildings* del American Institute of Steel Construction, AISC, y el *Structural Welding Code Steel* D1.1, del American Welding Society, AWS, por tratarse de documentos de aplicación general [SEAOC, 1999].

Según la COVENIN – MINDUR 1618-98 se aplicarán todas las disposiciones del Código AWS D1.1-96, excepto el Capítulo D "Specific Requirements for Tubular Connections" porque escapa al alcance de la Norma, y las sustituciones que se indican en la Tabla No. 1. Véase el Anexo.

La Tabla No. 2 constituye una referencia rápida de las prácticas de soldadura en edificaciones.

**TABLA No. 2 REQUISITOS PARA EL DISEÑO, EJECUCIÓN E INSPECCIÓN DE SOLDADURAS SEGÚN LA COVENIN – MINDUR 1618-98**

| TEMA y CONTENIDO | REFERENCIA |
|---|---|
| **MATERIALES** | |
| **Metal Base**<br>Requisitos de tenacidad para perfiles laminados del Grupo 4 y 5 de la Norma ASTM A6/A6M y para planchas de espesor igual o mayor de 50 mm.<br>Ensayo Charpy (Ensayo de flexión por choque):<br>Temperatura de ensayo $T_{cv} = 21°$ C; Energía de rotura J = 2.75 kgf.m | Artículo 5.3 |
| **Metal de aporte**<br>Especificaciones AWS A5.1, A5.5, A5.17, A5.18, A5.20, A5.23, A5.28 y A5.9.<br>Ensayo Charpy (Ensayo de flexión por choque):<br>Temperatura de ensayo $T_{cv} = 21°$ C; Energía de rotura J = 2.75 kgf.m | Artículo 5.9<br><br>Artículo 23.3 |
| **GENERALIDADES** | |
| Simbología y notación normalizada | Articulo 6.7 |
| Anotación para soldaduras | Artículo 6.6 |
| **DISEÑO** | |
| Longitud de soldadura (Incide en el cálculo del área efectiva de Miembros en tracción). | Sección 7.3.6 |
| Empalmes en vigas y columnas | Artículo 21.7 |
| Combinación de pernos y soldaduras | Artículos 21.10 y 21.11 |
| Soldadura de ranura | Artículo 23.8 |
| Soldadura de filete | Artículo 23.9 |
| Soldadura de tapón y canal | Artículo 23.10 |
| Fatiga | Subsección 8.4.3.1<br>Apéndice D |
| Desgarramiento laminar | Sección 23.6.2 |
| **FABRICACIÓN** | Capítulo 33 |
| Corte mediante gas | Artículo 33.4 |
| Agujeros de acceso para soldar | Artículo 21.9 |
| Precalentamiento | Artículo 23.5 |
| Prácticas sanas: No cruzar cordones de soldadura | Sección 23.6.1 |
| Desgarramiento laminar | Sección 23.6.2 |
| Remates en soldaduras de filete | Subsección23.9.2.6 |
| Construcción soldada | Artículo 33.6 |
| Pintura de superficies adyacentes a la soldadura | Artículo 34.6 |
| **INSPECCIÓN** | |
| Aseguramiento de la Calidad . Incluye la Especificación del Proceso de Soldadura ( WPS) | Capítulo 32 |
| **ESTRUCTURAS EXISTENTES** | Capítulo 36 |
| Propiedades de los materiales<br>(Incluye propiedades mecánicas, composición química, requisitos de tenacidad para el metal base y el metal de soldadura) | Artículo 36.3 |
| Evaluación e Informe de Evaluación | Artículos 36.4 a 36.6 |

**TABLA No. 3 REQUISITOS SISMORRESISTENTES PARA EL DISEÑO, EJECUCIÓN E INSPECCIÓN DE SOLDADURAS SEGÚN LA NORMA VENEZOLANA COVENIN – MINDUR 1618-98**

| TEMA y CONTENIDO | REFERENCIA |
|---|---|
| **MATERIALES** | |
| **Metal Base**<br>Requisitos de tenacidad para perfiles laminados del Grupo 3 de la Norma ASTM A6/A6M y para planchas de espesor igual o mayor de 38 mm.<br>Ensayo Charpy (Ensayo de flexión por choque):<br>Temperatura de ensayo $T_{cv} = 21°$ C; Energía de rotura J = 2.75 kgf.m | Sección 5.2.1<br>Sección 5.2.3 |
| **Metal de aporte**<br>Requisitos de tenacidad : Ensayo Charpy<br>Temperatura de ensayo Tcv = - 29° C; Energía de rotura J = 2.75 kgf.m | Artículo 23.2 |
| **DISEÑO** | Capítulo 11<br>Capítulo 23 |
| Zona del panel viga – columna<br>Planchas de continuidad<br>Planchas adosadas | Sección 11.2.5<br>Sección 11.4.6<br>Sección 11.4.5 (c) |
| **FABRICACIÓN** | |
| Eliminación planchas de respaldo y extensión, reparación de la soldadura | Sección 11.2. |
| **INSPECCIÓN** | |
| Aseguramiento de la Calidad. Incluye la Especificación del Proceso de Soldadura (WPS) | Capítulo 32 |
| **ESTRUCTURAS EXISTENTES** | Capítulo 36 |
| Propiedades de los materiales<br>(Incluye propiedades mecánicas, composición química, requisitos de tenacidad para el metal base y el metal de soldadura) | Artículo 36.3 |
| Evaluación | Artículos 36.4 y 36.5 |
| Informe de evaluación | Artículo 36.6 |
| **ENSAYOS** | Apéndice F |
| Soldaduras<br>Informe del ensayo<br>Criterios de aceptación | F3.5<br>F7<br>F8 |

Antes de los terremotos del 17 de Enero en Northridge (California, 1994) y de Hyogoken Nanbu (Kobe, Japón, 1995) los ingenieros suponían que las estructuras aporticadas de acero estructural eran uno de los sistemas estructurales más sismorresistentes, sin embargo las fracturas y daños observados han obligado a revisar esta premisa [FEMA, 1999]. El patrón de falla más comúnmente observado en las conexiones viga – columna de más de 100 edificios en California, fue la fractura de la soldadura en el ala inferior de las vigas, se inicia en la plancha de respaldo y se propaga dentro de la soldadura, y en los casos más severos, la fractura alcanza el ala y el alma de las columnas de acero. Ver Figura No.1.

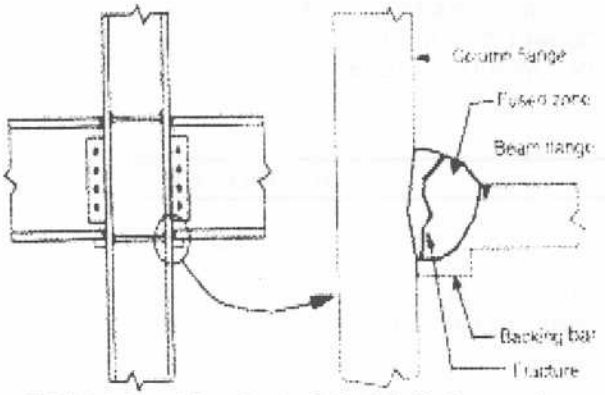



**FIGURA No. 1 Patrón de falla frágil observada en edificios aporticados durante el terremoto de Northridge, 1994 [SAC, 1999].**

Entre los factores que afectan el desempeño de las conexiones soldadas, se incluyen las siguientes [SEAOC, 1999]:

- Composición química y propiedades mecánicas de los materiales.
- Tensiones residuales generadas en la laminación y enderezamiento de piezas.
- Tensiones residuales generadas durante la soldadura y la fabricación.
- Propiedades de la zona afectada por el calor.
- Propiedades y calidades del metal de soldadura.
- Defectos de soldadura (incluye porosidad excesiva, discontinuidades).
- Geometría de la junta (estado de tensiones triaxiales en elementos restringidos después de incursionar en la rama de cedencia; las limitaciones en el acceso de la soldadura reduce la calidad de la soldadura).
- Gradiente de tensiones locales.
- Procedimientos de soldadura.
- Calidad de los soldadores.
- Condiciones en la obra (incluye humedad, ventilación, temperatura y la velocidad del viento).
- Calidad de los procedimientos de soldadura.
- Características del movimiento sísmico.

Para minimizar soldaduras frágiles en los próximos terremotos, además de los requisitos de la Tabla 2, establecidos por el AISC y el AWS, se aplicará la nueva serie de criterios y requisitos de la Tabla No. 3, orientados a conservar el comportamiento dúctil y la estabilidad del sistema estructural. Entre los nuevos criterios de diseño, se destaca el que las rótulas plásticas deben formarse fuera de la cara de la columna. Como estos nuevos criterios y requisitos reconocen que el sistema estructural puede tener significativas incursiones en el dominio inelástico de la respuesta, se aplicarán según el Nivel de Diseño en que se clasifique la estructura. El Nivel de Diseño, ND, implica el cumplimiento de requisitos normativos en el análisis, diseño, ejecución y mantenimiento del sistema resistente a sismos tipificado en la Norma COVENIN – MINDUR 1756-98 *Edificaciones Sismorresistentes*. La Tabla No. 4 permite definir el Nivel de Diseño en función de la zonificación sísmica y el uso de la edificación.

**TABLA No. 4 NIVELES DE DISEÑO SEGÚN LA NORMA VENEZOLANA COVENININ – MINDUR 1756-98**

| USO DE LA EDIFICACIÓN | ZONA SÍSMICA | | |
|---|---|---|---|
| | **Baja Sismicidad** (Zonas 1 y 2) | **Mediana Sismicidad** (Zonas 3 y 4) | **Alta Sismicidad** (Zonas 5, 6 y 7) |
| Instalaciones esenciales, de funcionamiento vital en condiciones de emergencia (**Grupo A**). Edificaciones densamente ocupadas (**Grupo B1**) | **ND2** **ND3** | **ND3** | **ND3** |
| Edificaciones públicas o privadas de baja ocupación (**Grupo B2**). | **ND1*** **ND2** **ND3** | **ND2*** **ND3** | **ND3** **ND2**** |

Notas: * Válido para edificaciones de hasta 10 pisos o 30 m de altura.
** Válido para edificaciones de hasta 2 pisos u 8 m de altura.

Se supone que las edificaciones proyectadas, construidas, inspeccionadas y mantenidas según los criterios y requisitos de las Normas COVENIN – MINDUR 1756-98 y 1618-98, se comportarán según lo indica la Tabla No.5

**TABLA No. 5 COMPORTAMIENTO SISMORRESISTENTE ESPERADO SEGÚN LA NORMA COVENIN – MINDUR 1756-98**

| MOVIMIENTO SÍSMICO | DAÑOS | |
|---|---|---|
| | ESTRUCTURALES | NO ESTRUCTURALES |
| Menores o frecuentes | Ninguno | Despreciables. No afectan su operación y funcionamiento. |
| Moderados u ocasionales | Daños muy limitados | Daños moderados |
| De diseño (normativo), con una muy baja probabilidad de alcanzar el estado de agotamiento resistente en la estructura. | Reparables | Reparables |
| Especialmente severos. Exceden los de diseño normativo. Reducida probabilidad de derrumbe de la edificación. | La reparación puede ser inviable económicamente. | La reparación puede ser inviable económicamente. |

## Conclusiones

Se han presentado los fundamentos de los requisitos contemplados en la Norma venezolana obligatoria COVENIN – MINDUR 1618-98 para las soldaduras en edificaciones, con énfasis en las disposiciones especiales para las edificaciones localizadas en zonas sísmicas debido a que pueden tener incursiones importantes en el dominio inelástico de la respuesta estructural.

## Recomendaciones

Recomendar al AWS la preparación de la versión en español del Código AWS D1.1 que facilite su divulgación en Latinoamérica, y en el caso particular venezolano, establecer un convenio con FONDONORMA para su adopción como Norma venezolana COVENIN de obligatorio cumplimiento. La versión en español deberá contener glosarios bilingües inglés –español, español – inglés, de los términos técnicos utilizados en la traducción, que además de ayudar a su correcta interpretación servirán para uniformar la terminología.

## Referencias

American Institute of Steel Construction, AISC; Steel Tube Institute of North America, STI; American Iron and Steel Institute, AISI; 1997. *Hollow Structural Sections. Connections Manual.* AISC.

American Welding Society, 1995. *Structural Welding Committee Position Statement on Northridge Earthquake Welding Issues.* November. AWS, 11 págs.

Collin, A.L. y Putkey, J.J., 1998. *Compatibility of Mixed Weld Metal.* Structural Steel Educational Council, March, 22 págs.

COVENIN – MINDUR, 1998a. *Edificaciones Sismorresistentes.* Norma Venezolana Obligatoria 1756-98, 117 págs.

COVENIN – MINDUR, 1998b. *Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites.* Norma Venezolana Obligatoria 1618-98, 565 págs.

Federal Emergency Management Agency, 1999. *SAC 99-01 Interim Guidelines Advisory No.2, Supplement to FEMA 267.* FEMA 267B. June.

Fernández R., Iliana y Castañeda V., Jorge L., 1999. *Evaluación de Uniones Viga-Volumna Soldadas en Estructuras Tubulares Metálicas Aporticadas.* Universidad Metropolitana, UNIMET, Caracas, Marzo, 88 págs.

Gutiérrez, A, 1999. *Comunicación del 6 de Abril de 1999 a la Comisión de Normas y Director de Proyectos del MINDUR, al Comité CT3 Construcción, de COVENIN, y PDVSA*, sobre la necesidad de revisar los proyectos construidos con perfiles tubulares.

Gutiérrez, A, et al., 1982. *Manual de Proyectos de Estructuras de Acero.* Siderúrgica del Orinoco, C.A., SIDOR. Caracas.

International Conference of Building Officials, 1999. *Código Uniforme de la Edificación 1997.* Primera edición en español basada en la 4ª. Edición en inglés. 2 Volúmenes. ICBO.

SAC, 1999. *Interim Guidelines Advisory No.2, Supplement to FEMA 267.* Federal Emergency Management Agency, Publication 267-B. June, 142 págs.

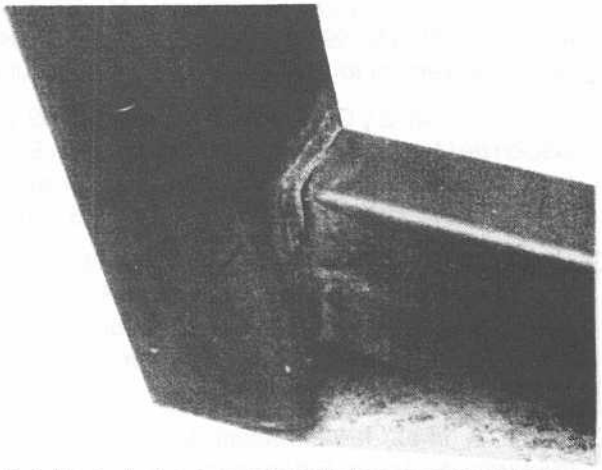
Seismology Committee Structural Engineers Association of California, SEAOC, 1999. Recommended Lateral Force Requirements and Commentary. Seventh Edition. SEAOC, California, 440 págs.

## Anexo

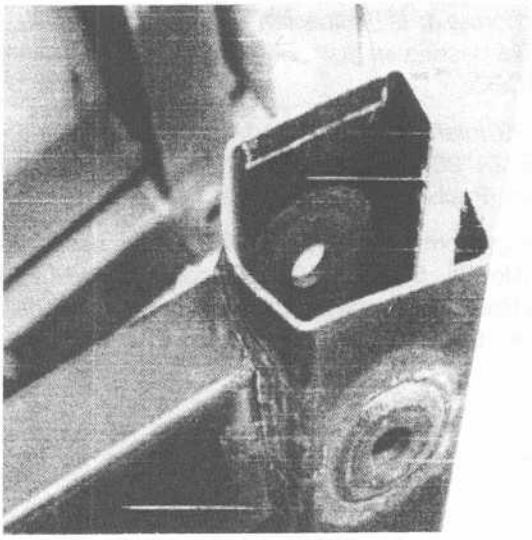
Respecto a los perfiles tubulares, el autor ha venido alertando, tanto a los fabricantes como a los ingenieros de proyectos, de la urgente necesidad de revisar

tanto en su estructuración como en sus conexiones los proyectos y construcciones con perfiles tubulares, debido a que incumplen los requisitos de seguridad y de comportamiento sismorresistentes, como quedó evidenciado en ensayos recientemente realizados en la Universidad Católica "Andrés Bello" [Fernández y Castañeda, 1999; Gutiérrez, 1999]. Lo acertado del criterio de la Comisión de Normas del MINDUR de excluir los perfiles tubulares del alcance de las Normas 1618-82 y 1618-98 quedó demostrada con la publicación de la Norma y Manual de Perfiles Tubulares del AISC [AISC, 1997; Gutiérrez, A, 1982].

Las fotografías tomadas por este autor en los Laboratorios de la UCAB, un mes después de haber sido realizados, muestran además del patrón típico de falla frágil en las soldaduras, la corrosión acelerada por las tensiones inducidas durante los ensayos y la distorsión de las sección transversal



**Detalle de la fractura frágil de la conexión tubular soldada. Obsérvese la intensa corrosión en la zona soldada y de máximas tensiones.**



**Detalles de la fractura frágil de la conexión tubular soldada, la distorsión de la sección transversal y de la corrosión en la zona de máximas tensiones.**

Del Trabajo Especial de Grado [Fernández y Castañeda, 1999] hemos seleccionado la Gráfica y Tabla 3.1 que evidencian la falta de rigidez ante las fuerzas laterales de las actuales construcciones con perfiles tubulares, condición sumamente peligrosa como se discute en las Conclusiones y Recomendaciones del citado Trabajo de Grado. En su oportunidad, este autor propuso a COVENIN a través de la Comisión de Normas del MINDUR adoptar como Norma COVENIN la metodología de ensayos propuesta por el Tutor del Trabajo, Prof. Ing. Mario Paparoni, la cual complementaría al **Apéndice F *Calificación de los Ensayos Bajo Cargas Cíclicas de las Conexiones Viga – Columna y Viga Eslabón*** de la Norma COVENIN – MINDUR 1618-98.

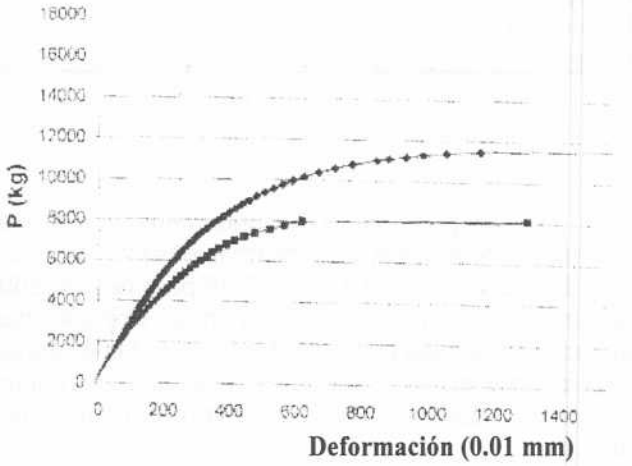



**GRÁFICO 3.1 DIAGRAMA TENSIÓN – DEFORMACIÓN TEÓRICO (ELASTO – PERFECTAMENTE PLÁSTICO) VERSUS CURVAS REALES OBTENIDAS DE ENSAYOS** (Fernández y Castañeda, 1999).

**Tabla 3.1 CÁLCULO DE RIGIDECES RELATIVAS** (Fernández y Castañeda, 1999)

| 110x110+110x110 | Esperado | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 | Promedio |
|---|---|---|---|---|---|
| Deformación | 272 | 241 | 332 | 387 | 320 |
| Rigidez relativa | 57.31 | 25.87 | 18.78 | 16.11 | 20.25 |
| Eficiencia | 100% | 45.14% | 32.77% | 28.11% | 35.34% |

# Un Tratamiento Matemático de la Rigidez Torsional de una Planta de Edificio con Pórticos en Direcciones Arbitrarias

***M. Paparoni***
*Profesor de las Escuelas de ingeniería Civil UNIMET y UCAB. (CIDI)*

***P. F. Hummelgens***
*Profesor de Matemáticas, UNIMET y USB*

## Resumen

Se presenta una solución matemática para el problema de la determinación del "Momento de Inercia Polar de Rigideces" y del "Centro de Rigidez" en una planta de edificio que posea pórticos en direcciones arbitrarias.

Este problema es de fácil solución cuando los pórticos son ortogonales entre sí pues se obtienen soluciones cerradas (puramente algebraicas). En cambio, las soluciones que se emplean corrientemente para un conjunto de pórticos no ortogonales son de tipo matricial, en las cuales se obtienen resultados para cada caso particular tratado, pero de ellos no es fácil derivar conclusiones generales.

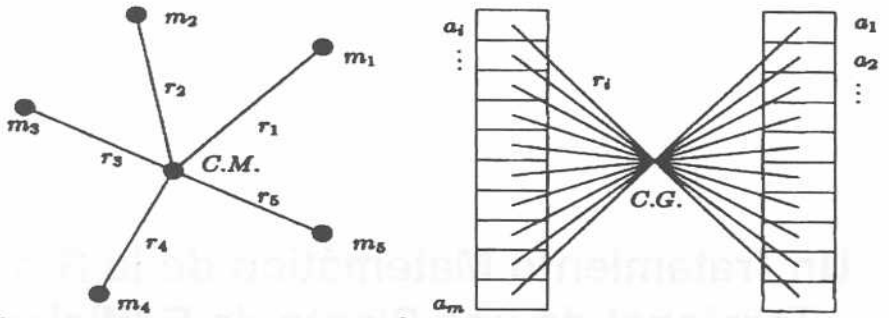
De la colaboración de los dos autores de este trabajo (un ingeniero estructural y un matemático físico) han surgido soluciones relativamente sencillas, representables algebraicamente, que permiten abrir un amplio campo de estudios sobre el comportamiento de edificaciones con pórticos ortogonales o no ortogonales.

Se ha partido de una aplicación del teorema clásico de Pío Alberto Castigliano, de uso frecuente en las disciplinas estructurales, para encontrar formulaciones que proporcionan la posición del centro de rigidez (o centro de torsión) y las direcciones de los ejes principales de flexibilidad de cada planta del edificio. Se presentan también curvas de nivel de las "Superficies de Energía Elástica" asociadas a los casos tratados, las cuales nos permiten deducir la presencia de "configuraciones estructurales inestables a torsión" por carecer de un centro de rigidez definido o por no poseer "momentos polares de rigideces".

## 1 Introducción

Al diseñar un edificio capaz de soportar solicitaciones sísmicas, se maneja directamente una propiedad de cada losa (o diafragma) que puede interpretarse como "el momento polar de rigideces" de los pórticos que posean trazas en dichos diafragmas (algunas veces se le llama "momento de inercia centrífugo de las rigideces"). Estos conceptos surgen cuando describimos la dinámica de "conjuntos de masas puntuales" o las propiedades seccionales de un miembro sujeto a torsión.

En los cursos clásicos de Mecánica Racional o de Resistencia de Materiales esta propiedad se relaciona con los problemas de rotación de un conjunto de "masas" o de "áreas" alrededor de cierto punto conocido (tratando el problema sólo en un plano). En estos casos las "masas" o las "áreas" pueden ser definidas con precisión con el empleo de sólo 2 coordenadas (además de los valores de masa o área elementales) referidas a cada "masa puntual" o cada "elemento diferencial de área" como ilustra la siguiente figura:




$C.M.$ =centro de masa; $I_{pm} = \sum_i m_i r_i^2$ $C.G$ =centro de gravedad de áreas despreciando términos de 2º orden $I_{pa} = \sum a_i r_i^2$

**Figura 1:**

Cuando nos referimos a edificaciones, esas "masas" o esas "áreas" se convierten en líneas (las trazas de los pórticos sobre el diafragma que consideramos). Esas "trazas", en teoría pueden tener longitud indefinida, ya que si los pórticos se desplazan según esas direcciones, el comportamiento de ese "diafragma" o "planta" de la edificación no cambia. Esto se debe a que desde el punto de vista de ingeniería, las imágenes planas de los pórticos que utilizamos en los cálculos no poseen rigidez alguna ante fuerzas que no estén contenidas en los planos de esas imágenes. Esto se puede mostrar en la figura 2. Debemos entonces postular los siguientes conceptos:

1 Existe un "centro de rigidez" o "centro de torsión" con las siguientes propiedades:

a. Cuando la resultante de las fuerzas externas pase por ese centro, el diafragma se traslada sin rotar (la traslación no necesariamente coincide en dirección con la dirección de la fuerza resultante).

b. Cuando se aplique un momento torsional al diafragma (no importa donde, ni cómo), ocurrirá una rotación pura alrededor de ese centro.

2 Cada pórtico (o pared estructural) posee una rigidez, definida como la magnitud de la fuerza reactiva que genera por unidad de desplazamiento, cuando se impone a ese pórtico un desplazamiento horizontal contenido en el plano del diafragma y en el plano del pórtico.

3 Podemos definir una propiedad del ensamble completo de los pórticos que atraviesen o toquen a un determinado diafragma como sigue:

$$I_p = \sum_i R_i r_i^2$$

donde $R_i$ es la rigidez individual de un pórtico y $r_i$ la distancia normal entre el centro de rigidez y la traza individual de ese pórtico.

4 Si tomamos en cuenta el teorema de Castigliano (que define un mínimo enérgico) $I_p$ debe ser un mínimo cuando las distancias ri se midan desde la posición del centro de rigidez existente.

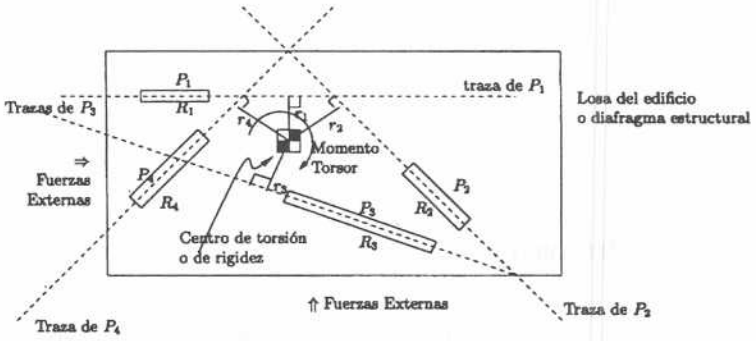
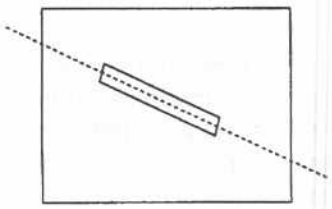
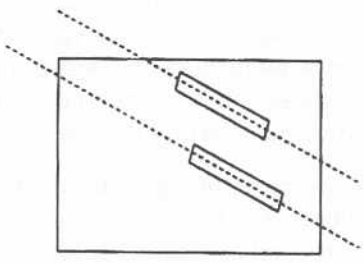



Figura 2:

Consideremos ahora las siguientes posibilidades configuracionales:

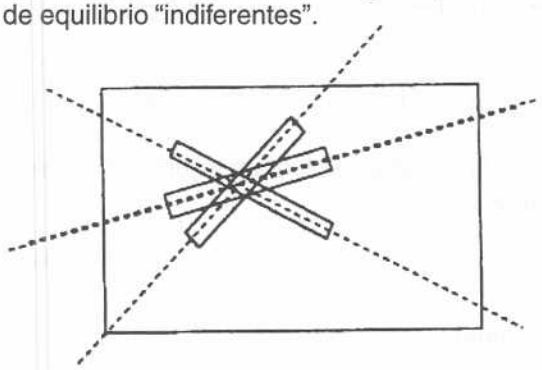


1) *Un pórtico singular*, orientado en cualquier dirección. Esta configuración es estructuralmente inestable ya que sólo puede oponerse a fuerzas contenidas en el plano (o traza) del pórtico.



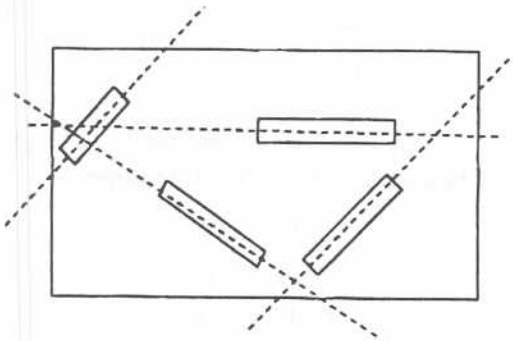
2) *Dos pórticos paralelos entre sí.* Responden solamente en dirección de las trazas. El diafragma posee rigidez Torsional, pero no hay un único centro de rigi-

dez, sino una sucesión alineada de los posibles centros; la estructura es inestable a la torsión, pues la posición indeterminada del centro de rigidez produce estados de equilibrio "indiferentes".



3) *Tres (o más) Pórticos* concurrentes hacia un único punto del diafragma. La estructura responde a fuerzas en cualquier dirección. La estructura no posee rigidez Torsional.

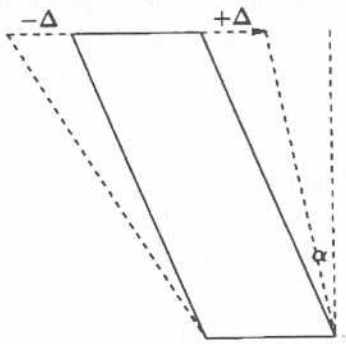
Ninguno de estos tres casos es estructuralmente aceptable, por lo tanto puede decirse que la condición general de estabilidad puede expresarse de la siguiente manera: Debe haber al menos tres pórticos cuyas trazas no sean concurrentes en el plano del diafragma, como en la figura siguiente:



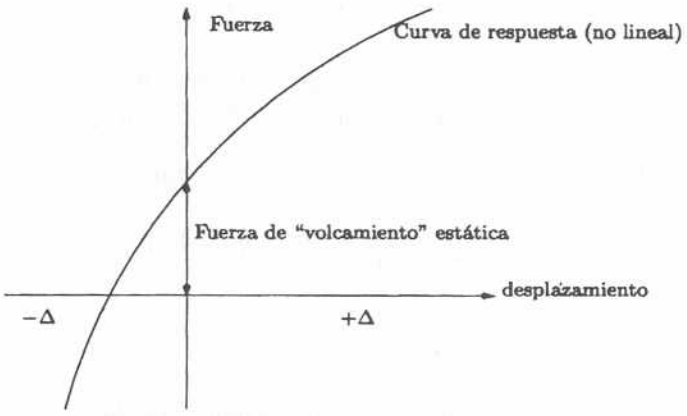
*4) Tres pórticos que no son ni concurrentes ni coplanares entre sí.* El diafragma resulta entonces estructuralmente estable a momentos y a fuerzas aplicadas en su plano.

Para encontrar tanto la posición del centro de rigidez como el valor del momento polar de inercia de rigideces, es necesario entonces encontrar el mínimo de la función $\Sigma_i R_i r^2_i$, variando la posición del centro de rigidez. El momento de inercia polar calculado tomando este punto como centro de rigidez, será el valor correcto para utilizarlo en los cálculos.

Los coeficientes $R_i$ (coeficientes de rigidez) son cantidades siempre positivas (constantes de resorte). Es posible, sin embargo, suponer que pueda haber $R_i$ negativos. Es el caso de un pórtico que no sea vertical sino inclinado (su plano puedo seguir siendo vertical), como ocurre en algunos edificios "exóticos". Esta situación se ilustra en la figura siguiente:




Para desplazamientos Δ notables o para ángulos α grandes, este pórtico se comportaría como un péndulo invertido, con ley de variación de repuesta cambiante de signo (o al menos de magnitud, pues no responde linealmente). Si tratamos de desplazar este pórtico hacia la derecha, tendremos una resistencia adicional (de origen gravitacional); lo contrario ocurre si desplazamos hacia la izquierda. La próxima figura ilustra una posible relación de este tipo entre fuerza y desplazamiento:




Recordemos que en todo problema lineal de estructuras, las funciones de energía de deformación se representan por superficies abiertas de segundo grado. Podemos entonces predecir, basándonos en argumentos puramente de ingeniería estructural, que las funciones a minimizar serán de esta naturaleza. También aparecen superficies cerradas de segundo grado (Elipsoides), pero en problemas de tipo diverso a la respuesta de una estructura, p. ej. Como una "superficie de resistencia". (Superficie de Beltrami en teoría de fallas).

A continuación se presenta el desarrollo matemático realizado por el segundo de los autores, aplicado al problema que nos ocupa.

## 5 Análisis Matemático

Matemáticamente tenemos el problema siguiente. En un plano *x, y* (coordenadas cartesianas) tenemos un conjunto de $N \geq 2$ rectas $l_1,...,l_N$ con ecuaciones

$$l_i: a_i x + b_i y + c_i = 0;\ i = 1,...,N \qquad (1)$$

donde los coeficientes $a_i, b_i, c_i$ son conocidos. Queremos determinar un punto (centro de rigidez) ***CR*** $(\xi_0, \eta_0)$ en el plano *x, y* tal que la función

$$\phi(\xi,\eta) = \sum_{i=1}^{N} R_i [r_i(\xi,\eta)]^2; -\infty < \xi, \eta < \infty \qquad (2)$$

alcance su valor mínimo en $(\xi_0, \eta_0)$. En (2) las constantes positivas $R_1,...,R_N$ son los coeficientes de rigidez de $l_1,...,l_N$ ( supuestamente conocidos) y $r_i(\xi, \eta)$ es la distancia de un punto $(\xi, \eta)$ en el plano *x, y* a la recta $l_i$.

Usando la bien conocida fórmula para la distancia de un punto a una recta, obtenemos de (2) que

$$\phi(\xi,\eta) = \sum_{i=1}^{N} R_i \frac{(a_i\xi + b_i\eta + c_i)^2}{a_i^2 + b_i^2} \qquad (3)$$

Para que $\phi(\xi, \eta)$ alcance un mínimo en $(\xi_0, \eta_0)$, deben satisfacerse las condiciones $\frac{\partial\phi}{\partial\xi} = \frac{\partial\phi}{\partial\eta} = 0$, en $(\xi_0, \eta_0)$. Aplicando estas condiciones a (3) obtenemos las ecuaciones:

$$2\sum_{i=1}^{N} \frac{R_i a_i}{a_i^2 + b_i^2}(a_i\xi + b_i\eta + c_i) = 0$$

$$2\sum_{i=1}^{N} \frac{R_i b_i}{a_i^2 + b_i^2}(a_i\xi + b_i\eta + c_i) = 0$$

que llevan al sistema de dos ecuaciones lineales:

$$\begin{aligned} A_{11}\xi + A_{12}\eta &= P_1 \\ A_{21}\xi + A_{22}\eta &= P_2 \end{aligned} \qquad (4)$$

donde

$$\begin{aligned} A_{11} &= \sum_{i=1}^{N} \frac{R_i a_i^2}{a_i^2 + b_i^2} & A_{12} &= \sum_{i=1}^{N} \frac{R_i a_i b_i}{a_i^2 + b_i^2} \\ A_{21} &= \sum_{i=1}^{N} \frac{R_i a_i b_i}{a_i^2 + b_i^2} & A_{22} &= \sum_{i=1}^{N} \frac{R_i b_i^2}{a_i^2 + b_i^2} \\ P_1 &= -\sum_{i=1}^{N} \frac{R_i a_i c_i}{a_i^2 + b_i^2} & P_2 &= -\sum_{i=1}^{N} \frac{R_i b_i c_i}{a_i^2 + b_i^2} \end{aligned} \qquad (5)$$

Demostraremos ahora que el determinante $D = A_{11}A_{22} - A_{12}^2$ del sistema (4) es siempre no negativo.

Tenemos con (5)

$$D = \left(\sum_{i=1}^{N} \frac{R_i a_i^2}{a_i^2 + b_i^2}\right)\left(\sum_{j=1}^{N} \frac{R_j b_j^2}{a_j^2 + b_j^2}\right) - \left(\sum_{i=1}^{N} \frac{R_i a_i b_i}{a_i^2 + b_i^2}\right)\left(\sum_{j=1}^{N} \frac{R_j a_j b_j}{a_j^2 + b_j^2}\right) =$$

$$= \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} R_i R_j \frac{a_i^2 b_j^2 - a_i b_i a_j b_j}{(a_i^2 + b_i^2)(a_j^2 + b_j^2)} = \sum_{i=1\neq j}^{N}\sum_{j=1,j\neq i}^{N} R_i R_j \frac{a_i^2 b_j^2 - a_i b_i a_j b_j}{(a_i^2 + b_i^2)(a_j^2 + b_j^2)} \qquad (6)$$

En la última suma tomamos juntos los pares *(i, j)* (tomamos $N \geq 2$) y

$$a_i^2 b_j^2 - a_i b_i a_j b_j + a_j^2 b_i^2 - a_i b_i a_j b_j = a_i^2 b_j^2 + a_j^2 b_i^2 - 2\, a_i b_i a_j b_j = (a_i b_j + a_j b_i)^2$$

y (6) obtenemos

$$D = \sum_{1\leq i}\sum_{j\leq N} R_i R_j \frac{(a_i b_j - a_j b_i)^2}{(a_i^2 + b_i^2)(a_j^2 + b_j^2)} \qquad (7)$$

De (7) vemos que $D \geq 0$, y además que $D = 0$ si y sólo si $a_i b_j = a_j b_i$ para todo par $(i,j)$ con $i \neq j$, es decir, si y solo si todas la rectas $l_1,...,l_N$ son paralelas. Concluimos entonces que en el caso de que no todas las rectas sean paralelas, estaremos seguros de la existencia de una solución única $(\xi_0, \eta_0)$ del sistema (4). En este caso tenemos además

$$\begin{vmatrix} \phi_{\xi\xi} & \phi_{\xi\eta} \\ \phi_{\eta\xi} & \phi_{\eta\eta} \end{vmatrix} = 4D > 0$$

con $\phi\xi\xi = 2A_{11} > 0$. Por lo tanto en $(\xi_0, \eta_0)$ la función $\phi(\xi, \eta)$ alcanza un mínimo. De (4) tenemos

$$\begin{aligned} \xi_0 &= \frac{P_1 A_{22} - P_2 A_{12}}{A_{11}A_{22} - A_{12}^2} \\ \eta_0 &= \frac{P_2 A_{11} - P_1 A_{12}}{A_{11}A_{22} - A_{12}^2} \end{aligned} \qquad (8)$$

de donde con (3) podremos calcular el valor mínimo $\phi(\xi_0, \eta_0)$ de $\phi(\xi, \eta)$. De (3) vemos que este valor mínimo será cero si y solo si todas las rectas pasan por un mismo punto, el cual es entonces $(\xi_0, \eta_0)$. En cualquier otro caso tendremos $\phi(\xi_0, \eta_0) > 0$.

Sea $A = (A_{ij})$ la matriz del sistema (4) y sea $s = A_{11} + A_{22}$ (la traza de $A$), entonces tenemos de (5) que

$$s = \sum_{i=1}^{N} R_i \qquad (9)$$

de modo que una vez se haya calculado $A_{11}$ (o $A_{22}$) puede obtenerse $A_{22}$ (o $A_{11}$) más cómodamente de

$$A_{22} = \sum_{i=1}^{N} R_i - A_{11} \quad \left(A_{11} = \sum_{i=1}^{N} R_i - A_{22}\right) \qquad (10)$$

El número de condición de $A$ en la norma $\| \|_2$ viene dado por

$$K_2(A) = \frac{1}{4D}\left(s + \sqrt{s^2 - 4D}\right)^2, \quad D > 0 \qquad (11)$$

De (7), (9), (11) vemos que cuando todos los coeficientes de rigidez $R_i$ se multiplican por un mismo factor, $K_2(A)$ no cambia, mientras que $D$ queda multiplicado por el cuadrado del factor. En particular $D$ puede ser muy pequeño (en cuyo caso (8) puede dar resultados muy imprecisos) sin que $A$ esté mal condicionada ($K_2(A)$ >> 1). Además vemos entonces que serán los coeficientes $a_i$, $b_i$, $c_i$ los que principalmente influyen sobre la condición de $A$ y no el tamaño de los coeficientes de rigidez. Con un conjunto dado de coeficientes de rigidez, $D$ dependerá únicamente de las posiciones relativas de las rectas (y del número de rectas), y será pequeño solamente cuando las rectas sean casi paralelas, que no es el caso que más nos interese. En este caso vemos de (11) que $A$ estará mal condicionada.

Los coeficientes $R_i$ tienen la dimensión física *N/m*, por lo tanto (2) hace ver que $\phi(\xi, \eta)$ tiene la dimensión física de energía. Esto invita a llamar a la gráfica de $\phi(\xi, \eta)$ en un sistema de coordenadas cartesianas $\xi, \eta, \zeta$., "superficie enérgética".

De (3) se sigue que esta superficie viene descrita por la ecuación

$$A_{11}\xi^2 + A_{22}\eta^2 + 2A_{12}\xi\eta - 2P_1\xi - 2P_2\eta + \zeta + \sum_{i=1}^{N} R_i \frac{c_i^2}{a_i^2 + b_i^2} = 0 \qquad (12)$$

La matriz

$$\begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & 0 \\ A_{12} & A_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

asociada a la parte cuadrática de (12) tiene los autovalores

$$\lambda_1 = \frac{1}{2}\left(s + \sqrt{s^2 - 4D}\right), \quad \lambda_2 = \frac{1}{2}\left(s - \sqrt{s^2 - 4D}\right), \quad \lambda_3 = 0 \qquad (13)$$

Si $D > 0$, entonces $\lambda_1, \lambda_2 > 0$ y (12) representa un *paraboloide elíptico.*

Sea ahora el caso $D = 0$. En este caso el sistema (4) tiene infinitas soluciones o no tiene solución. Veremos que el último caso no se presentará. Podemos suponer que por lo menos uno de los coeficientes $A_{11}$ o $A_{22}$ sea distinto de cero ($A_{11} = A_{22} = 0$, lo cual implicaría que $a_i = b_i = 0$ para todo $i = 1, \ldots, N$ y las ecuaciones (1) no representarían rectas). Supongamos por ejemplo que $A_{11} \neq 0$. Entonces podemos, de la primera ecuación en (4), despejar $\xi$, obteniendo

$$\xi = \frac{P_1 - A_{12}\eta}{A_{11}}$$

y para verificar que esto es consistente con la segunda ecuación de (4) tenemos que comprobar que

$$A_{12}\frac{P_1 - A_{12}\eta}{A_{11}} + A_{22}\eta = P_2$$

o equivalentemente, (usando $D = 0$)

$$A_{11}P_2 - A_{12}P_1 = 0 \qquad (14)$$

De (5) tenemos

$$A_{11}P_2 - A_{12}P_1 = \sum_{1 \le i} \sum_{j \le N} R_i R_j \frac{a_i b_i a_j c_j - a_i^2 b_j c_j}{\left(a_i^2 + b_i^2\right) + \left(a_j^2 + b_j^2\right)} \qquad (15)$$

Tomando juntos los pares $(i, j)$ y $(j, i)$ en esta suma y usando $a_i b_j = a_j b_i$ (como $D = 0$, todas las rectas son paralelas), de allí:

$$a_i b_i a_j c_j - a_i^2 b_j c_j + a_j b_j a_i c_i - a_j^2 b_i c_i =$$
$$\left(a_i b_i a_j c_j - a_i a_j b_i c_j\right) + \left(a_j^2 b_i c_i - a_j^2 b_i c_i\right) = 0$$

y (15) resulta (14). Similarmente la suposición de $A_{22} \neq 0$ y el hecho de que $A_{22}P_1 = A_{12}P_2$ si $D = 0$, llevan de nuevo a la consistencia del sistema (4). Concluimos entonces que en el caso de $D = 0$ (todas las rectas paralelas), el sistema (4) tiene infinitas soluciones $(\xi_0, \eta_0)$ que forman la recta

$$A_{11}\xi + A_{12}\eta = P_1 \qquad (D=0) \qquad (16)$$

o equivalentemente $A_{12}\xi + A_{22}\eta = P_2$

si $A_{11}, A_{22} \neq 0$. Si $A_{11} = 0$, entonces (16) da la recta $\eta = \frac{P_2}{A_{22}}$

y si $A_{22} = 0$, entonces (16) da la recta $\xi = \frac{P_1}{A_{11}}$. Con $D = 0$, (13) implica que $\lambda_1 = s > 0$, $\lambda_2 = \lambda_3 = 0$ y (12) representa un *cilindro parabólico.* Entonces la función $\phi(\xi, \eta)$ alcanza su valor mínimo sobre la recta (16), siendo este mínimo igual a $\phi\left(0, \frac{P_2}{A_{22}}\right)$ si $A_{22} \neq 0$ o igual a $\phi\left(\frac{P_1}{A_{11}}, 0\right)$ si $A_{11} \neq 0$ (ambos valores coinciden cuando $A_{11}, A_{22} \neq 0$).

Regresemos al caso $D > 0$ (no todas las rectas son paralelas). Las curvas de nivel de $\phi(\xi, \eta)$ en el pla-

no $\xi, \eta$ son elipses (ya que $A_{12}^2 - A_{11}A_{22} = -D < 0$), todas ellas con el mismo centro $(\xi_0, \eta_0)$, dado por (8) y con ejes principales comunes. La formula

$$\alpha = \frac{1}{2}\arctan\left(\frac{2A_{12}}{A_{11} - A_{22}}\right) \qquad (17)$$

determina el ángulo $\alpha$ entre el eje $\xi$ y uno de los ejes principales de la elipse. Luego las ecuaciones de estos ejes son:

$$\begin{aligned} sen\,\alpha(\xi - \xi_0) - \cos\alpha(\eta - \eta_0) = 0 \\ \cos\alpha(\xi - \xi_0) + sen\,\alpha(\eta - \eta_0) = 0 \end{aligned} \qquad (18)$$

Utilizando el programa Mathematica se puede producir un conjunto de curvas de nivel, de las cuales presentamos un ejemplo al final de este artículo. Obtenemos curvas de nivel que representan superficies energéticas, junto con los ejes principales de las mismas, al llamar a `mixedGraphs [t1]` ( con un valor seleccionado de `t1`). También se puede producir parte de la superficie, llamando a `srfPlot[s1]` con un valor seleccionado de `s1` centrado en el punto donde $\phi(\xi, \eta)$ alcanza su mínimo. Llamando a la función `Show` con la opción `ViewPoint`, es posible ver la superficie desde varios puntos de referencia. Llamando a `vista1[t1,1]` (con valores seleccionados de `t1,1`) se obtiene una vista de la superficie en la dirección del primer eje principal en (18) desde un punto situado verticalmente encima de este eje $y$ a una altura de $\phi(\xi_0, \eta_0)$ (`minValue` en el programa) sobre el plano $\xi, \eta$. La función `vista2[t1,1]` produce de manera similar una vista en la dirección del segundo eje principal en (18). (no mostramos estas figuras en este trabajo, por razones de espacio).

Hemos visto entonces que existen solamente dos situaciones cualitativamente distintas cuando todos los coeficientes de rigidez son positivos: una si no todas las rectas son paralelas (entonces $D > 0$, y la superficie energética es un paraboloide elíptico y existe un único centro de rigidez), otra si todas las rectas son paralelas (entonces $D = 0$, y la superficie energética es un cilindro parabólico y $\phi(\xi, \eta)$ alcanza su mínimo sobre toda una recta, de modo que no existe un verdadero centro de rigidez). En el último caso se podría hablar de un centro de rigidez indiferente. [*Nótese que, estructuralmente hablando, puede haber un centro de rigidez, pero ello no implica, automáticamente, el que la estructura sea estable a torsión, tal es el caso de varios pórticos concurrentes a un punto. Comentario del primer autor]*

Como hemos observado en la introducción, en ciertas circunstancias tiene sentido tomar en cuenta la posibilidad de coeficientes de rigidez negativos. En este caso evidentemente se presenta la posibilidad matemática de una superficie con un máximo ($D > 0, A_{11} < 0$) o con un punto de silla ($D < 0$). $\phi(\xi, \eta)$ puede tomar valores negativos de cualquier magnitud en ambos casos. Esto último no es admisible físicamente (además de que en ambos casos tendríamos un sistema inestable).

Si admitimos solamente superficies $\zeta = \phi(\xi, \eta)$ con $\zeta \geq 0$ (energía no negativa), se imponen las condiciones:

$$D > 0, A_{11} > 0 \qquad (19)$$

Para la existencia de un único centro de rigidez (observemos que (19) implica $A_{22} > 0$ también) y además la condición

$$\phi(\xi_0, \eta_0) \geq 0 \qquad (20)$$

(independientemente de (19)) para la solución $(\xi_0, \eta_0)$ de (4). De (10), ($s = A_{11} + A_{22}$) y (19) tenemos $s > 0$, de modo que (13) implica que $\lambda_1 > 0$, $\lambda_2 > 0$, $\lambda_3 = 0$ y la superficie energética es un *paraboloide elíptico.*

Queda por considerar el caso en que $D = 0$ y la superficie tiene un mínimo no negativo. En este caso tendremos $s > 0$, como muestra el siguiente razonamiento. Si $s = 0$, $D = 0$, entonces $A_{11} = -A_{22}$, $A_{11}A_{22} = A_{12}^2 \geq 0$, que implican que $A_{22} > 0$. Entonces (16) da la recta $A_{11} = A_{22} = A_{12} = 0$, y el sistema (4) tiene solución solamente si $P_1 = P_2 = 0$ y (12) se reduce a $\zeta$ = constante $\geq 0$ lo que (por (3)) es posible sólo si todos los $a_i$, $b_i$ son 0 y por tanto las ecuaciones. Concluimos entonces que $s > 0$ y ahora (13) implica $\lambda_1 = s > 0$, $\lambda_2 = \lambda_3 = 0$, la superficie es un *cilindro parabólico.*

En conclusión vemos entonces que en todas las situaciones "físicamente admisibles" las superficies energéticas son o paraboloides elípticos o cilindros parabólicos. Cuando $D = 0$ (situación que se puede presentar aun cuando no siendo todas las rectas paralelas, existan coeficientes de rigidez negativos) puede ocurrir entonces que el sistema (4) no tenga soluciones, pero la suposición adicional de que $\phi(\xi, \eta)$ alcanza un mínimo, elimina esta posibilidad. En el programa en Mathematica preparado para este trabajo el usuario tiene la posibilidad de averiguar si se trata de un caso físicamente admisible, introduciendo el comando "`admisible`". El programa contestará con `True` o con `False`. (no incluimos el programa).

**Epílogo:** Este trabajo completa lo realizado en la referencia [2], en donde se encontró (por métodos heurísticos) una regla para determinar las direcciones principales de desplazabilidad de una planta de edificio

con trazas de pórticos en cualquier dirección, y se postuló la condición de mínimo que hemos utilizado para este trabajo.

Por razonamientos de tipo energético se puede concluir también que la dirección de los ejes principales de las elipses de flexibilidad definidas en [2] deben coincidir con las direcciones de los ejes principales de las superficies energéticas que se manejan en este trabajo.

Pensamos que utilizando esta contribución podremos realizar, en trabajos futuros, análisis variacionales de los factores configuracionales o mecánicos que influyan sobre el comportamiento torsional de los edificios.Recordemos que un edificio no es más que una viga *compleja* en voladizo que puede tratarse como sistema, igual que en las vigas clásicas, las cuales ya sabemos manejar como tales por casi 200 años, aunque normalmente sólo expresemos sus comportamientos flexionales o cortantes, sin introducir otros, como los homogéneos, que sin duda siempre están presentes, como en el caso de los pórticos, vistos como vigas complejas (Ver Paparoni, [4])

**Fig. 1:**
**Curvas de Nivel de un Paraboloide Elíptico. Situación Estable**

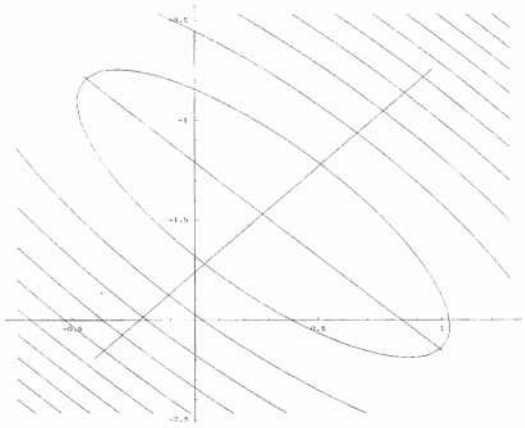


**Fig. 2:**
**Curvas de Nivel de un Cilindro Parabólico. Situación Inestable**

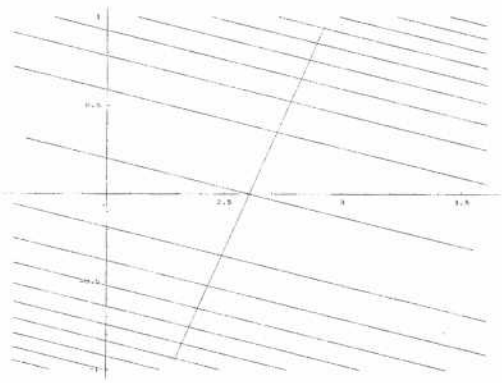
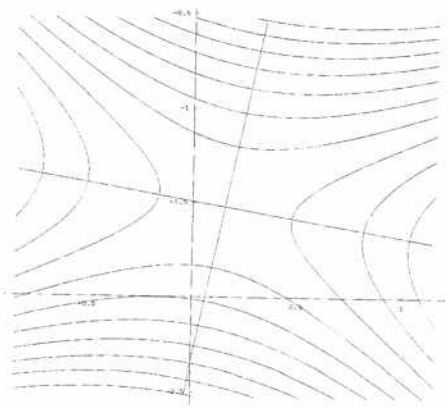


**Figura 3:**
**Curvas de Nivel de un Paraboloide Hiperbólico. Situación Inestable**



## Referencias

[1] The Theory of Elastic Equilibrium of Systems and its Applications, by Carlo Alberto Pio Castigliano (traducción al inglés del original en francés), Dover Publications Inc. (1966, Fascimile Reprint), Chapters III, VI. Original: Editoriale Federico Negro, Turín, 1879

[2] El Concepto de Núcleo Central en Columnas Extendido al Caso de Edificios con Torsión Sísmica, Trabajo de Grado realizado por: Fernández Arriaga, Carlos Arturo; Paolinetti Carletti, Sergio, UNIMET, Escuela de Ing. Civil (Septiembre 1999). Tutor: M. Paparoni.

[3] Mecánica de Materiales, R. Gere y S.P._Timoshenko, Grupo Editorial Iberoamérica, Capítulo 12, 1998.

[4] Dimensionamiento de Edificios Altos de Concreto Armado, M. Paparoni, S.A. Sidetur (Sivensa), 1991.

# Elaboración de una Metodología para el diseño optimizado de agencias de distribución para una empresa productora de refrescos, mediante el desarrollo de un modelo simplificado de simulación de escenarios

*E. Naranjo*
*A. Guerrero*

## Sinopsis

El objetivo fundamental del presente trabajo es determinar las variables que influyen en las operaciones realizadas en una agencia de distribución de refrescos, para integrarlas en un Modelo de Simulación de Escenarios que haga posible el análisis operativo y económico de los resultados obtenidos y contribuya en el mejoramiento del diseño de las nuevas agencias de distribución.

Previo al desarrollo del Modelo, se cumplió una fase de levantamiento de información que permitió conceptualizar la estructura del mismo. En esta fase se realizó un estudio de los procesos que se llevan a cabo en las agencias para establecer la lógica de ellos, la manera en que se relacionan y aplicar las mejoras pertinentes, con la finalidad de considerar las secuencias optimizadas en la programación del Modelo. Este estudio se realizó basado en las observaciones y la información recolectada durante un recorrido por 6 agencias de distribución en el que se observó el manejo de materiales y la forma de operación de las mismas. Además se identificaron parámetros importantes tales como los recursos operativos de las agencias y su manera actual de asignación, la estructura de costos, la venta promedio y el punto de equilibrio de su operación.

En base a toda esta información se procedió a establecer la estructura del Modelo, en la cual se desglosan todas las variables operativas de las agencias asociadas al costo de cada una de ellas. En el ámbito operativo se toman en cuenta el número de rutas de la agencia (nivel de operación), las ventas y la carga esperada, las distintas alternativas para la realización de la carga y la descarga de los camiones, el personal asignado a la operación, el número de estaciones de trabajo y la tasa de llegada de los camiones a la agencia, entre otras. En el ámbito económico se toman en cuenta los costos operativos de la agencia, el tipo de depreciación de los activos, la forma de financiar su implementación y la evaluación de las opciones de alquilar o construir.

En cuanto a los resultados, el Modelo genera principalmente el punto de equilibrio de la agencia y el tiempo de permanencia del concesionario en ella, lo que permite vincular el nivel de servicio con el costo del mismo. Igualmente genera resultados referentes a los recursos operativos requeridos para el nivel de operación especificado (áreas, personal, vehículos, equipos de oficina) y el costo asociado a cada uno de ellos.

El Modelo también permite realizar análisis de sensibilidad de variables con la finalidad de detectar patrones de influencia entre los distintos parámetros que intervienen en la operación de una agencia de distribución.

Una vez finalizada la programación del Modelo, se realizó la validación formal de éste a través de la aplicación de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis entre los resultados arrojados por el sistema real y los producidos por el Modelo cuando ambos eran alimentados con los mismos parámetros. En esta fase se obtuvieron resultados importantes relativos a la aproximación del Modelo al sistema real, obteniéndose un nivel de confianza del 91% para la operación de carga y del 83% para el comportamiento de la cola.

Luego se aplicó el Modelo en el diseño de una agencia próxima a ser inaugurada por la empresa y se compararon los resultados con el comportamiento ac-

tual de la operación, obteniéndose como resultados más importantes una reducción en el tiempo de atención al concesionario del 40%, manteniendo el costo operativo dentro del estándar establecido por la empresa para esta operación.

## Metodología

En el desarrollo del presente trabajo de grado se siguió la siguiente metodología:

1. *Formulación del problema.* Planteamiento de los objetivos del trabajo a desarrollar en función de la identificación de los problemas existentes en las agencias de distribución que operan en la actualidad.

2. *Recopilación de la información y conceptualización del modelo de simulación de escenarios.* Levantamiento de la información referente a los procesos operativos del sistema en estudio y la lógica que controla a dichos procesos, para el establecimiento de las condiciones básicas que permitan modelar el sistema. También se recopiló la información referente a los parámetros de entrada del sistema ("inputs") y sus correspondientes resultados en el sistema real, para su posterior introducción al modelo.

   2.1. Descripción de los procesos operativos de una agencia típica.

   2.2. Descripción del manejo de materiales en una agencia de distribución.

   2.3. Toma de tiempos referencial de los procesos que se llevan a cabo en el sistema en estudio.

   2.4. Planteamiento de los procesos operativos y recomendaciones generales acerca de la organización de la operación, basados en la observación y estudio de los procesos y la toma de tiempos.

   2.5. Identificación de los ingresos, gastos y recursos operativos de las agencias de distribución, la forma de asignación de ellos bajo las condiciones actuales y su correspondiente valor en términos monetarios.

   2.6. Cálculo del punto de equilibrio de una agencia de distribución basado en los ingresos, gastos y recursos operativos identificados.

   2.7. Determinación de las áreas necesarias para el desarrollo de las operaciones en las agencias de distribución.

   2.8. Definición de la forma de evaluar la operación de las agencias.

3. *Evaluación de la validez del modelo conceptual.* Evaluación y discusión de la información obtenida y las aproximaciones realizadas con aquellas partes de la empresa vinculadas a la operación de las agencias de distribución, con la finalidad de verificar las limitaciones y debilidades de las asunciones adoptadas en el modelo conceptual planteado, para establecer el nivel de complejidad y los detalles a considerar en el Modelo.

4. *Desarrollo del código del Modelo.* Programación del Modelo utilizando un lenguaje de programación general (Visual Basic Para Aplicaciones).

5. *Validación formal del Modelo.* Aproximación del Modelo al sistema real de las agencias de distribución, con el objeto de garantizar que los resultados del mismo son representativos del sistema real; mediante un muestreo realizado en una agencia de distribución, para la determinación del nivel de confianza de la simulación.

6. *Aplicación del modelo en el estudio de un caso real.* Implementación del Modelo en la simulación de una agencia de distribución próxima a su apertura, para establecer las respectivas comparaciones que permitan identificar, mediante aproximaciones sucesivas, la mejor solución.

7. *Análisis de los resultados de la simulación.* Establecimiento de conclusiones basadas en la aplicación del Modelo, con la finalidad de aportar recomendaciones que permitan acortar la distancia entre el sistema real y la mejor solución planteada.

8. *Documentación del Modelo.* Desarrollo de un instructivo explicativo que facilite el uso del Modelo a aquellas personas involucradas en el proceso de diseño de las agencias de distribución.

## Descripción Operativa De Una Agencia

Una agencia de distribución es un centro de transferencia donde se almacenan, para su posterior distribución, productos que provienen de diferentes plantas embotelladoras. Es un eslabón que integra las actividades de fabricación, transporte y ventas, lo que se traduce en tener la cantidad correcta de producto en el momento y lugar necesario, para procurar un mejor servicio al concesionario y al cliente.

Los productos manejados en estas agencias son refrescos de cola negra, refrescos de sabores, y mezcladores. La tendencia es introducir nuevos sabores de refrescos y una cola blanca en todas las presentaciones.

Las presentaciones disponibles son botellas retornables de 1 litro, 350 ml, y 266 ml; latas, plastic shield, pet y bombonas de post-mix y pre-mix.

Las agencias actuales fueron el punto de partida de este estudio, ya que lo fundamental del sistema de operación de las mismas se mantiene, y sobre esto se harán las optimizaciones pertinentes.

Las actividades llevadas a cabo en las agencias actuales pueden clasificarse en dos grupos: actividades matutinas y actividades vespertinas.

## Actividades Matutinas

Se refieren básicamente al abastecimiento y preparación del almacén. Estas actividades son:

### Recepción De Productos Provenientes De Las Plantas Embotelladoras

Esta actividad consiste en recibir y descargar las gandolas que traen los productos provenientes de las embotelladoras; éstos son ubicados en el almacén, el cual es un espacio techado, de tal manera que quede un pasillo central libre para que los camiones y gandolas ingresen al mismo y allí sean cargados y descargados. Esto se conoce como sistema de túnel. Posteriormente las gandolas son cargadas con los envases vacíos, que van de vuelta a la planta para ser llenados de nuevamente. En esta operación el manejo de materiales se realiza con montacargas; también intervienen en ella algunos obreros que preparan la gandola para la descarga y para su partida.

### Reorganización De Los Productos Existentes En El Almacén

La finalidad de esta operación es asegurar la implementación del sistema de inventarios FIFO. Esta se realiza únicamente cuando es necesario ubicar productos nuevos antes de que los existentes en el almacén hayan sido consumidos en su totalidad.

### Reempaque De Productos Que Posean Cajas En Mal Estado

Esta labor consiste en colocar en cajas nuevas los productos cuyas cajas estén deterioradas. Las presentaciones que con mayor frecuencia requieren de este servicio son latas y plastic shield, por venir empaquetadas en cajas de cartón que se deterioran al producirse algún derramamiento de producto.

### Recarga De Camiones

Se trata de la carga parcial de los camiones de ruta con algún producto que se les haya agotado antes de realizar todas las visitas a los clientes pautadas para ese día. Las recargas se realizan normalmente antes de las 11:00 a.m. Esta operación está a cargo de un chequeador, quién toma nota en un formulario de recarga de los productos con que se carga el camión y el vacío que se descarga (si es necesario) este formulario debe ser firmado en conjunto por el concesionario y el chequeador. Posteriormente se realiza la transcripción al sistema computarizado.

## Actividades Vespertinas

Durante la tarde se atienden a los concesionarios preparando los camiones de ruta para la venta del siguiente día. Las operaciones que conforman el proceso de atención al concesionario se llevan a cabo dentro de la agencia, en áreas designadas para cada una de ellas. Cada concesionario permanece junto a su camión de ruta durante el proceso. A continuación se describen dichas operaciones:

### Arqueo 1

Todo camión al regresar de su ruta es sometido a un inventario de envases llenos y vacíos, previo a cualquier operación dentro del almacén. Esta operación es realizada por un chequeador de la agencia, dejando constancia de este inventario en el formulario de arqueo, el cual debe ser firmado conjuntamente por el chequeador y el concesionario.

### Cambio De Picos Y Producto En Mal Estado

La agencia repone a los concesionarios las botellas llenas que se hayan roto durante su jornada de tra-

bajo o aquellas que contengan producto en mal estado. Para ello debe presentarse en el centro de canje de la agencia el pico de cada botella con su respectiva tapa no violada (o la propia botella), donde un obrero cambiará cada pico por una botella llena del mismo producto.

### Preparación De Paletas Mixtas

En el caso de que la venta esperada de algún producto no llegue al número de cajas de una paleta, se preparan paletas de sabores mixtos; dicha preparación la realiza el ayudante del concesionario simultáneamente con la operación de descarga o carga, en un área destinada para tal fin dentro del almacén.

### Descarga

La operación de descarga, así como la de carga, se efectúa mediante el sistema de túnel descrito anteriormente. Para ello el camión debe ser llevado al área de descarga dentro del almacén, donde se le extrae el vacío correspondiente. Esta operación se realiza con la ayuda de montacargas cuando hay que bajar paletas que contienen envases vacíos en su totalidad, las cuales se llevan a la sección de vacío del almacén. Las paletas que contienen pocas cajas de producto lleno también son manejadas con montacargas, y son llevadas a la zona de desligue. La descarga manual tiene lugar cuando la paleta trae sólo algunas cajas de producto vacío, las cuales son trasladadas a la zona de desligue por el ayudante del concesionario.

### Carga

En la zona de carga del almacén se coloca el producto lleno correspondiente al pedido que indique el concesionario de cada camión. En primer lugar se completan manualmente aquellas paletas incompletas y luego, se procede a cargar paletas completas que son por lo general de productos retornables. Los productos no retornables se cargan manualmente por tratarse de pocas cantidades. Para la carga de paletas completas se utilizan los montacargas. La completación y la carga manual las realiza el ayudante del concesionario. Este traslada los productos mediante carretillas y, ocasionalmente, con la ayuda de un montacargas.

### Desligue

Consiste en separar las cajas de lleno y de vacío contenidas en una misma paleta (procedentes de los camiones). De esta manera se arman paletas completas de lleno o de vacío, las cuales son posteriormente trasladadas al almacén. Esta operación es llevada a cabo por obreros de la agencia, simultáneamente con las operaciones de atención al concesionario.

### Arqueo 2

Una vez que el camión ha completado el proceso de carga y ha salido del almacén, se le realiza un inventario de envases llenos, el cual se registra en el renglón de arqueo 2 del mismo formulario de arqueo. El chequeador compara con el concesionario las cantidades y, si están de acuerdo, firman en conjunto el formulario. El concesionario recibe el original y dos copias del formulario. Por motivos de seguridad y control, este arqueo no puede ser efectuado por el mismo chequeador que haya efectuado el arqueo 1. Al abandonar la operación de arqueo 2, los camiones son estacionados dentro de la agencia por sus respectivos concesionarios, en un área de ésta designada para ello. Los camiones permanecen allí hasta el día siguiente cuando son retirados por los concesionarios para realizar la venta.

### Transcripción

El concesionario se dirige a la oficina de transcripción con el formulario de arqueo. El transcriptor carga los datos del formulario al sistema de computación, sella el mismo y se queda con el original.

### Supervisión

El supervisor recibe del concesionario las notas de entrega y las facturas, junto con otros documentos tales como descuentos en promociones con el fin de revisarlos y verificar el cumplimiento de las políticas de venta y promociones. El supervisor elabora, si es necesario, hojas de resumen de notas de entrega y descuentos, conforma los cheques, firma y anexa los soportes correspondientes, tales como copias de facturas a los clientes y originales de notas de entrega. Luego devuelve todos estos documentos al concesionario.

### Facturación

El facturador recibe del concesionario la documentación ordenada y la transcribe en el sistema computarizado, emite la factura original y dos copias y entrega la copia dos al concesionario y el original junto con la copia uno al cajero.

### Conteo Del Dinero

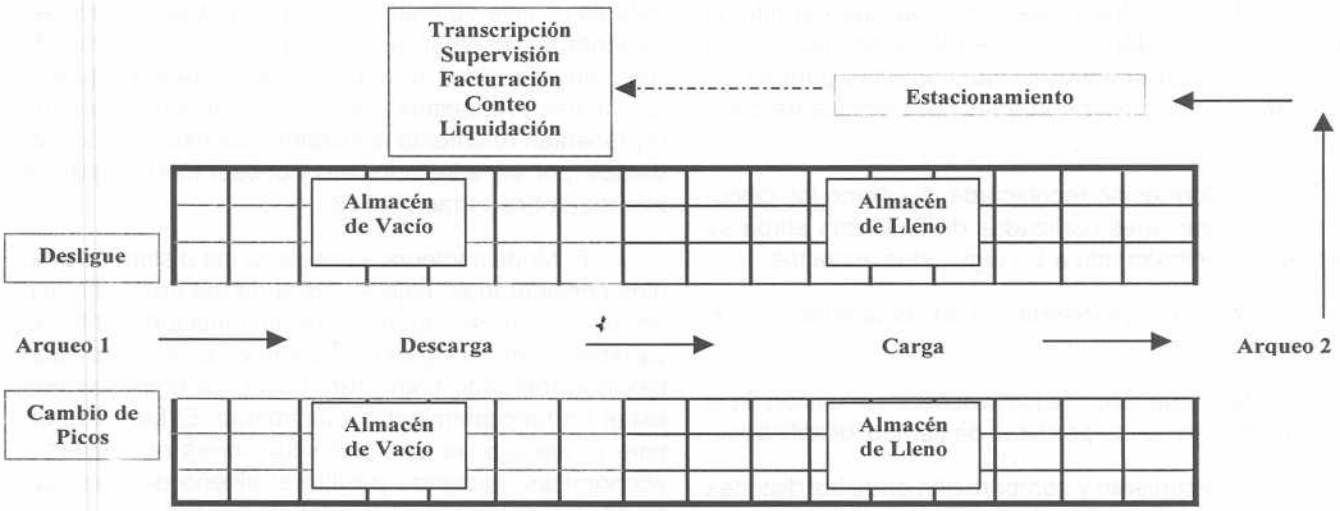
Cada camión está provisto de un cofre de seguridad en el cual se va almacenando el dinero de la venta diaria. El concesionario debe solicitar en caja la llave del cofre de seguridad de su camión para sacar el dinero y proceder a contarlo. Una vez contado, prepara el pago que debe efectuar a la agencia, el cual le es indicado en la factura.

### Liquidación

El cajero recibe del concesionario el pago junto con la copia dos de la factura, exige su firma, sella y firma la factura y sus copias, entrega el original al concesionario y conserva las dos copias. El concesionario debe presentar a la salida de la agencia el original de la factura cancelada y la copia del formulario de arqueo.

La ilustración 2 muestra un esquema conceptual de la agencia, donde se puede apreciar la secuencia del proceso de atención a los concesionarios.

**Ilustración 2. Esquema Conceptual de la Agencia de Distribución**




## Recopilación de la Información

Como un paso previo a la programación del Modelo de Simulación de Escenarios, fue necesario recolectar una extensa cantidad de información, que permitió establecer las condiciones básicas para modelar el sistema y contribuyó a formar una idea de las magnitudes de ciertas variables consideradas en el mismo.

El contenido de esta información abarcó los procesos operativos del sistema, la lógica que controla a estos procesos y los factores exógenos al mismo que de igual forma lo afectan.

El proceso de recolectar esta información tuvo ciertas limitaciones ya que la empresa no dispone de datos históricos por el poco tiempo que tiene administrando las agencias de distribución. Así mismo, se utilizó información proveniente de agencias cuya operación no había sido objeto aún de ningún estudio formal para la optimización de su funcionamiento debido la apertura acelerada de éstas y a la misma razón citada anteriormente. Como consecuencia de esto, se obtuvieron resultados con cierto grado de incertidumbre, aún válidos para la aproximación inicial que se quería realizar previa a la programación del Modelo de Simulación de Escenarios.

La recolección de la información operativa de las agencias se hizo a través de un recorrido durante 5 semanas por 6 agencias de distribución de distintos niveles de operación y ubicación geográfica. Las agencias visitadas fueron: Los Ruices, Antímano y Guarenas (zona metropolitana), Barquisimeto (Edo. Lara), Maracaibo (Edo. Zulia) y Las Garzas (Edo. Anzoátegui).

El resto de la información recolectada se obtuvo en las oficinas de administración central de la operación de elaboración y distribución de la empresa ubicadas en Caracas.

Una vez finalizado este proceso de levantamiento de información, se hicieron los cálculos necesarios que permitieron aproximar los valores de los parámetros con los cuales comenzar a establecer las relaciones requeridas en la programación del Modelo de simulación de escenarios.

Igualmente se establecieron los principales lineamientos operativos sobre los cuales se fundamentó la programación del Modelo, producto de la aplicación de las mejoras pertinentes en algunas secuencias de los procesos. Para esto se estableció la lógica del proceso, la forma de conexión entre los distintos subsistemas, los tiempos de operación, las pérdidas de tiempo y las distintas formas de realizar las operaciones en las agencias de distribución.

Esta etapa fue fundamental ya que permitió la incorporación al Modelo de las relaciones que hacen posible manejar las alternativas correctas para lograr optimizar, y aquellas incorrectas para efectos de comparación.

La información recolectada, así como los cálculos y observaciones realizadas durante esta etapa se refieren principalmente a los siguientes aspectos:

- Toma de tiempo referencial de las distintas operaciones.
- Replanteamiento de los procesos en función de la eliminación de las pérdidas de tiempo identificadas.
- Establecimiento y comparación entre las distintas alternativas de realizar las operaciones en las agencias.
- Cálculo de la venta diaria por ruta.
- Inversión requerida para la implementación de una agencia de distribución.
- Recursos operativos necesarios para el funcionamiento de las agencias.
- Estructura de costos de los centros de distribución.
- Forma de evaluar económicamente la operación de las agencias de distribución.
- Cálculo del punto de equilibrio para distintos niveles de operación.
- Establecimiento de las áreas requeridas para las operaciones llevadas a cabo en las agencias de distribución.
- Distribución adecuada de las operaciones en los espacios de una agencia de distribución.

**Introducción Al Modelo**

El presente Modelo ha sido concebido como una herramienta de ingeniería que contribuye a optimizar el diseño de las agencias de distribución mediante el análisis de escenarios y la aproximación sucesiva a la mejor solución bajo una serie de condiciones específicas dadas. El mismo ha sido desarrollado en ambiente Microsoft Excel, la cual es una aplicación de amplio conocimiento público y fácil uso.

Esta herramienta trata de modelar un sistema y permite observar cómo los cambios en algunos parámetros de entrada del sistema afectan el comportamiento de los parámetros de salida, contrariamente a otras técnicas analíticas, en las cuales se generan automáticamente las mejores u óptimas soluciones. Con esto es posible obtener soluciones que sean verdaderamente representativas de lo que pasa en el mundo real, sin necesidad de hacer concesiones a aquellas soluciones propuestas por modelos analíticos que no representan realmente el sistema que está siendo modelado, por ser este complejo y poseer cierto grado de incertidumbre e irracionalidad.

El Modelo integra y relaciona las distintas variables consideradas bajo la lógica de los procesos que se realizan en las agencias de distribución. Tanto las variables como la lógica de los procesos han sido establecidos tomando como referencia las agencias que están en funcionamiento actualmente. El Modelo permite el manejo de diversas situaciones operativas y económicas, haciendo posible el diseño de agencias de diferentes tamaños y niveles de operación.

En el ámbito operativo se ha tomado en cuenta el nivel de operación de la agencia (número de rutas), las ventas esperadas, las características del almacén, la carga y descarga esperada por camión así como la manera de realizar las mismas, el personal asignado a la operación y el patrón de llegada de los camiones a la agencia.

En lo relativo a la sección económico-financiera se considera la inversión a realizar, los gastos generados por la operación, el costo financiero y las opciones de arrendar el inmueble de la agencia o construirlo.

Como resultado, el Modelo genera una serie de índices que permiten evaluar y comparar el nivel de servicio prestado en la agencia y el costo del mismo. Además permite realizar análisis de sensibilidad sobre las variables involucradas en el proceso, ilustrando mediante gráficos su nivel de influencia.

Otra ventaja es la posibilidad de actualizar cierta información que está sujeta a cambios con el tiempo, dándole flexibilidad al Modelo y haciéndolo ajustable al proceso dinámico que se está estudiando.

Por esto se considera que este Modelo es una herramienta de gran utilidad para el diseño y optimización de las agencias de distribución, según cada caso particular.

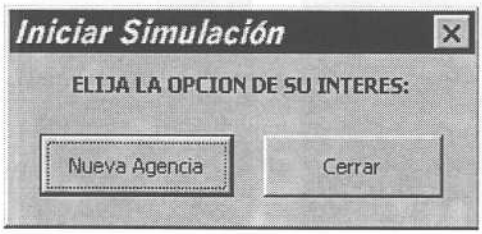
## Uso Del Modelo

Para garantizar el correcto funcionamiento del Modelo, es necesario que el usuario haga un buen uso del mismo, por lo que se recomienda leer con detenimiento las siguientes instrucciones. Así conocerá mejor el Modelo y sus facilidades; además, le permitirá preparar con anterioridad la información a introducir en el mismo de acuerdo a su estructura.

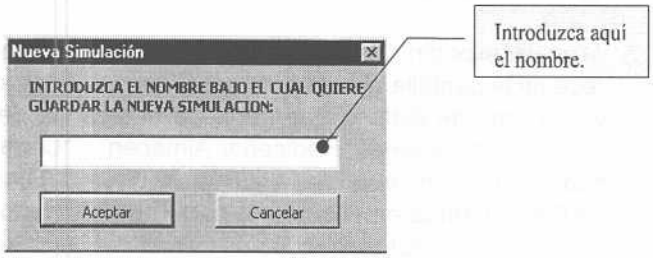
## Diseño De Una Nueva Agencia

1. Desde Microsoft Excel abra el archivo Modelo.xls. Aparecerá una caja de diálogo informando que el archivo que se está abriendo contiene macros. Elija la opción que habilita o permite el uso de las macros. Los archivos "Carga.xls", "Descarga.xls" y "Barras.xls" no deben ser abiertos por el usuario. El Modelo los abrirá automáticamente cuando sea necesario.

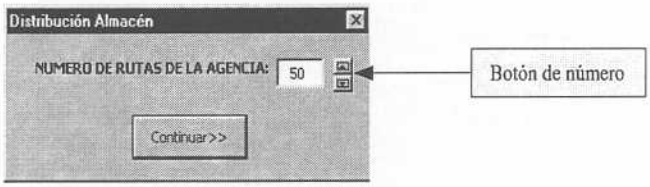
2. Una vez abierto el Modelo, aparecerá la caja de diálogo "Iniciar Simulación". Seleccione "Nueva Agencia" si desea crear una nueva agencia o "Cerrar" si desea salir del Modelo.




3. Introduzca el nombre bajo el cual desea guardar esta simulación en la caja de diálogo "Nueva Simulación" que aparece seguidamente. Pulse "Aceptar".

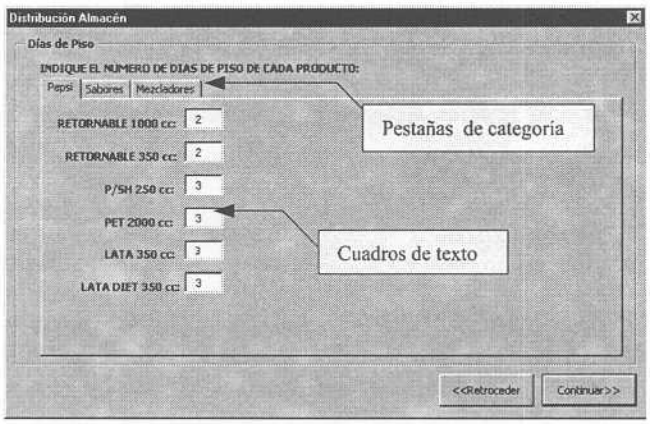



4. Introduzca el número de rutas de la agencia. Utilice el botón de número para ello.



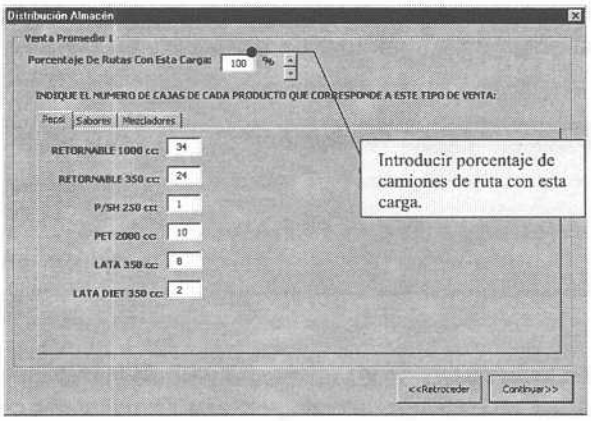

En lo sucesivo, cada vez que termine de introducir los datos en una caja de diálogo, pulse "Continuar" o presione la tecla "Enter". De esta forma desaparecerá la caja de diálogo actual y se mostrará la siguiente.

5. A continuación aparecerá un conjunto de cajas de diálogo referentes a la distribución del almacén. La primera es "Días de Piso", la cual presenta una pestaña para cada categoría de producto; en cada pestaña aparece una lista de las presentaciones disponibles. Seleccione la pestaña del producto indicado e introduzca en cada cuadro de texto el número de días de piso para cada presentación.

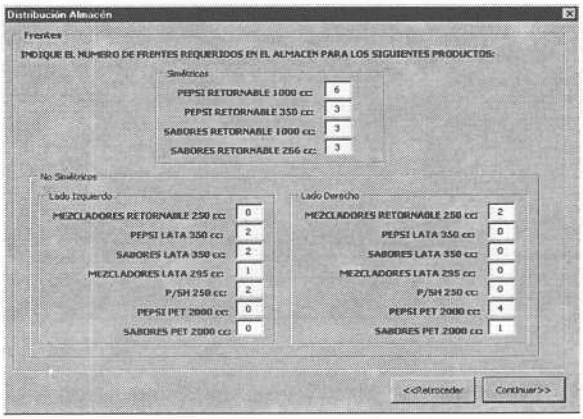



Si desea retroceder a la caja de diálogo anterior pulse "Retroceder". Esto aplica para todas las cajas de diálogo que contengan este botón.

6. La caja de diálogo "Venta Promedio" presenta la misma estructura que la anterior. En los cuadros de texto de ésta deben introducirse el número de cajas de venta estimada por camión para cada presentación. Adicionalmente, en el cuadro de texto "Porcentaje de Rutas con Esta Carga", debe indicarse cuál porcentaje de los camiones de la agencia tienen esa venta; si este valor es menor que 100%, al pulsar el botón "Continuar", se iniciará un ciclo de tantas cajas de diálogo de "Venta Promedio" como sean necesarias para completar la totalidad de los camiones de ruta.

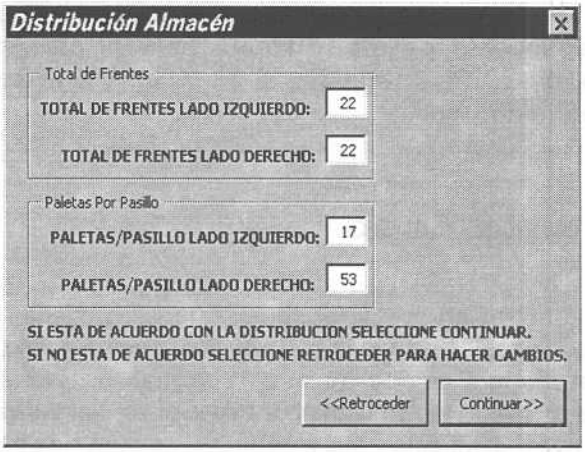



7. Al completar el ciclo anterior aparece la caja de diálogo "Frentes", en la cual debe introducirse el número de filas de cada presentación que tendrá el almacén de producto lleno. Las presentaciones que se encuentren dentro del recuadro "Simétrico" son las de mayor rotación; éstas tendrán una ubicación central y a ambos lados del pasillo del túnel. Los cuadros "Lado Derecho" y "Lado Izquierdo" se refieren a la cantidad de filas, adicionales a las filas simétricas, que se ubicarán a cada lado del almacén. Estas filas corresponden a las presentaciones de baja rotación.

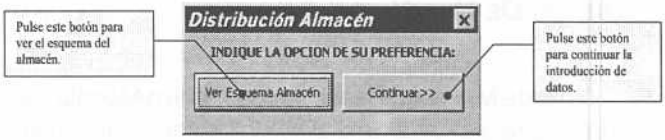



Al introducir un valor en algún cuadro de texto de los contenidos en los recuadros "Lado Derecho" o "Lado Izquierdo", no será posible introducir otro valor en el cuadro de texto de la misma presentación en el lado opuesto, a menos que sustituya el valor introducido inicialmente por el valor cero.

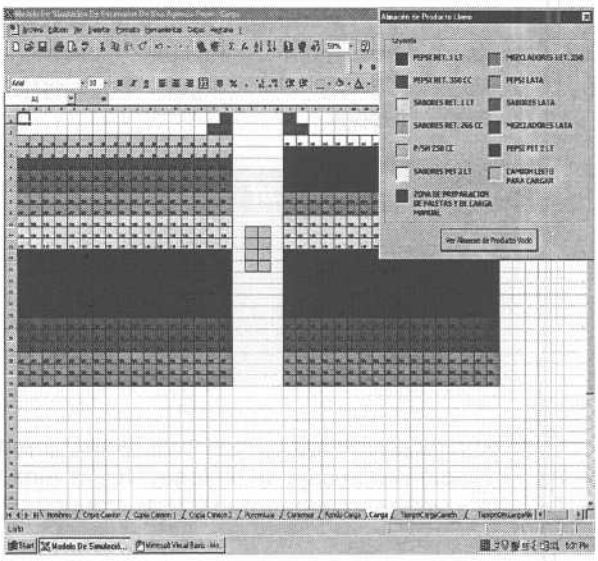
8. El siguiente cuadro de diálogo es una ventana de verificación que muestra el total de filas a cada lado del túnel y el número de paletas para cada una de ellas. No es posible introducir información en esta ventana.




9. El botón "Continuar" mostrará la siguiente caja de diálogo de distribución de almacén, mientras que el botón "Retroceder" permite ir a las anteriores para modificar los datos.



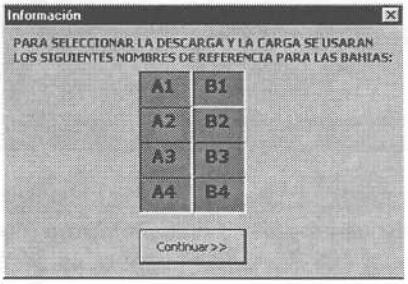

Si oprime el botón "Ver Esquema Almacén", aparecerá en la pantalla el esquema del almacén de producto lleno y una caja de diálogo con la leyenda del esquema y el botón "Ver Almacén Producto Vacío".



Al pulsar el botón "Ver Almacén Producto Vacío" aparece en la pantalla el esquema del almacén de vacío y una caja de diálogo que contiene la leyenda del mismo, y los botones "Rediseñar Almacén" y "Continuar". El primero conduce a la caja de diálogo "Días de Piso" (tratada en el punto 5) para realizar modificaciones a los datos introducidos en el conjunto de cajas de diálogo de distribución de almacén. El se-

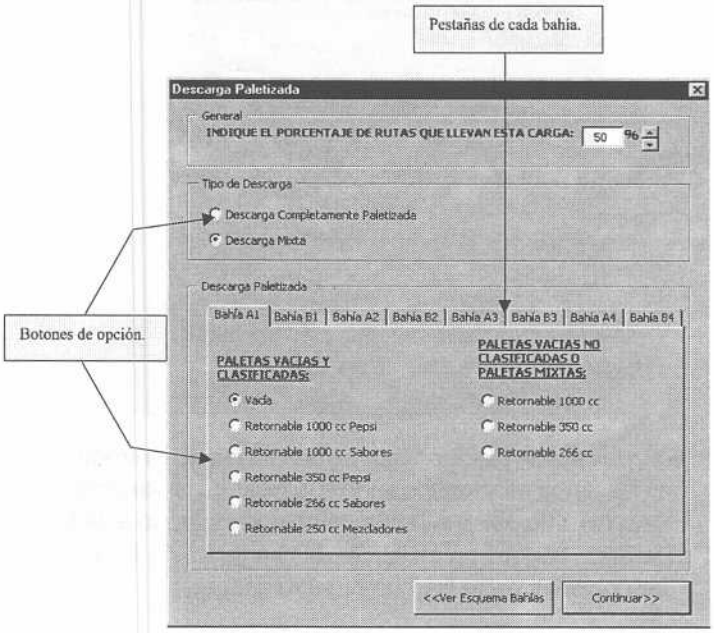
gundo conduce a la siguiente caja de diálogo. Asegúrese de estar conforme con la distribución del almacén antes de oprimir este botón, porque luego no podrá realizar ningún cambio hasta concluir con la simulación del escenario actual.

10. La sección de descarga comienza con la caja de diálogo "Información de Bahías", donde se muestra un esquema del casillero del camión y la convención de nombres para identificar a cada bahía, siendo A1 y B1 las más próximas a la cabina del camión.

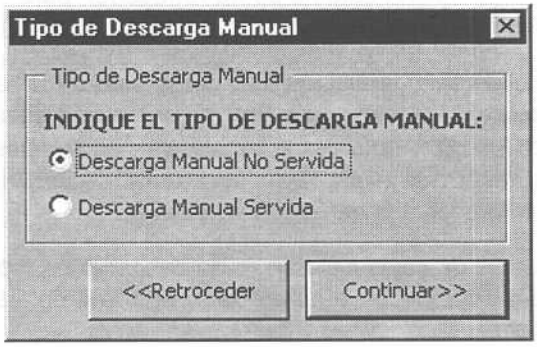



11. Al presionar el botón continuar, aparece la caja de diálogo "Descarga Paletizada", la cual permite establecer la cantidad de cajas de vacío que se descargarán de los camiones y el método que se utilizará para esta descarga. Es posible establecer distintas formas de descarga para distintos porcentajes de carga del camión.

    Introduzca el porcentaje de camiones a descargar según el método y la cantidad de vacío establecido. Seleccione el botón de opción que indique el método de descarga a efectuar y por último escoja las pestañas de las bahías que serán descargadas paletizadamente y el tipo de presentación contenida en ellas. En las bahías que no serán descargadas paletizadamente seleccione el botón de opción "Vacía".

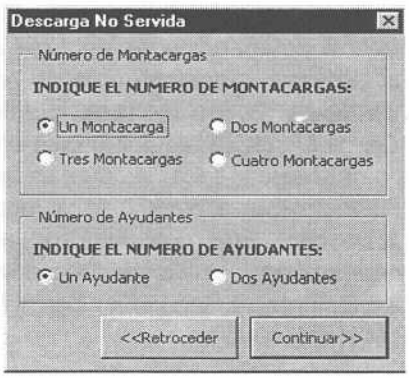



12. Si escoge la opción "Descarga Mixta", seleccione la opción de descarga manual en la caja de diálogo "Tipo de Descarga Manual".




13. A continuación aparece la caja de diálogo "Descarga Manual Retornable No Servida" o "Descarga Manual Retornable Servida", dependiendo de la opción escogida. Ambas cajas de diálogo poseen la misma estructura y funcionamiento. Seleccione las pestañas de las bahías a descargar manualmente y en cada caso introduzca en los cuadros de texto de cada presentación, el número de cajas a descargar. Si alguna bahía ha sido seleccionada en la caja de diálogo "Descarga Paletizada", su pestaña no estará disponible.

14. La siguiente caja de diálogo se refiere al número de montacargas y de ayudantes que intervendrán en la operación. Seleccioné los botones de opción de su conveniencia.

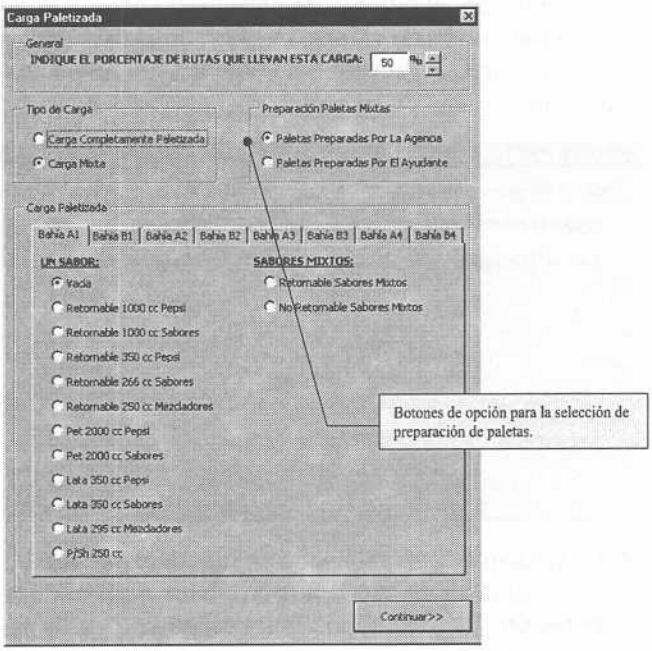


Pulse el botón "Continuar" sólo cuando esté seguro de que los datos introducidos en todas las cajas de diálogo referentes a descarga son correctos, ya que una vez hecho esto no podrá retroceder para hacer modificaciones.

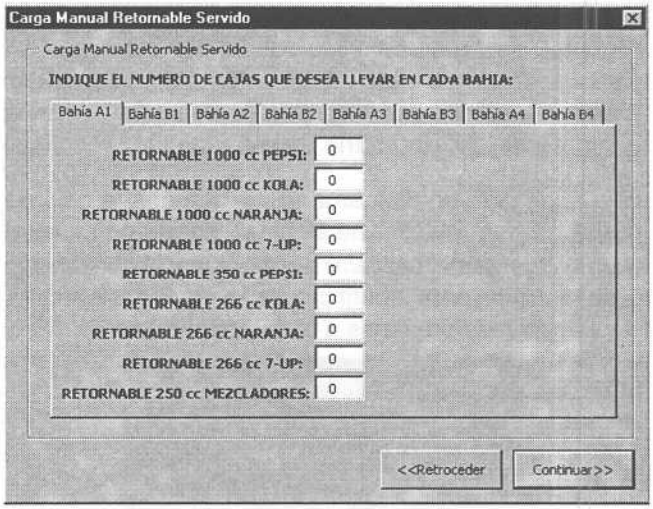
Si en la caja de diálogo "Descarga Paletizada" escogió la opción "Descarga Completamente Paletizada", aparecerá directamente la caja de diálogo "Descarga Paletizada Total", cuya estructura y funcionamiento son iguales a la descarga no servida.

El ciclo de cajas de diálogo de descarga se repetirá hasta que se haya completado el 100% de los camiones.

15. En las siguientes cajas de diálogo se construirá el escenario de carga. La primera caja de diálogo en aparecer es "Carga Paletizada". Su estructura y funcionamiento son similares a la "Descarga Paletizada"; sólo se le ha añadido un recuadro con dos opciones que permiten seleccionar quién preparará las paletas de sabores mixtos.

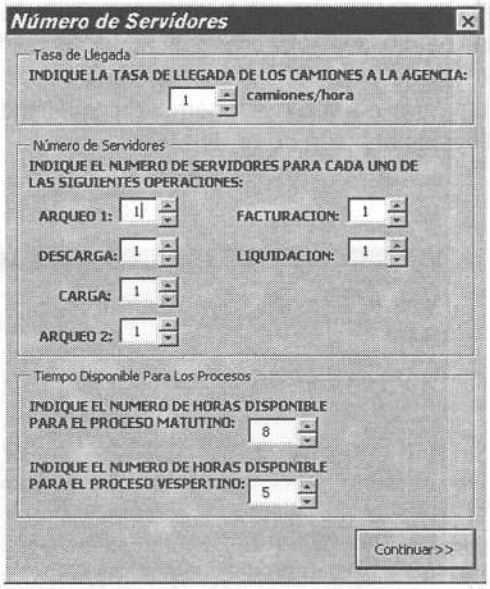



16. La secuencia de aparición de las cajas de diálogo referentes a carga es análoga a la de las cajas de diálogo de descarga. Por ejemplo, si selecciona la opción "Carga Mixta", la siguiente caja en aparecer será "Tipo de Carga Manual", la cual es igual en forma y funcionamiento a la caja de diálogo "Tipo de Descarga Manual". En el conjunto de cajas de diálogo de carga se han incluido las alternativas "Carga Manual No Retornable Servido" y "Carga Manual No Retornable No Servido".

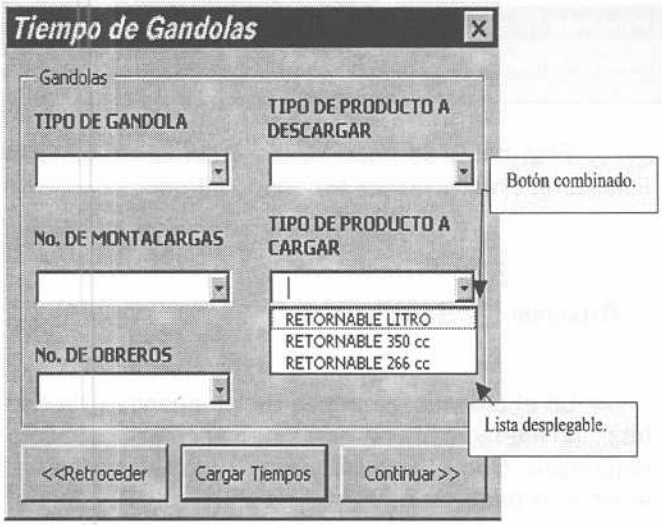



Estas aparecen cuando la opción ha sido "Carga Mixta" y "Carga Manual Servida", o "Carga Mixta" y "Carga Manual No Servida", respectivamente. Ambas cajas de diálogo funcionan igual que "Carga Manual Retornable Servida" y "Carga Manual Retornable No Servida", las cuales a su vez son análogas a "Descarga Manual Servida" y "Descarga Manual No Servida".

17. Introduzca en la caja de diálogo "Número de Servidores", la tasa de llegada de los camiones a la agencia, número de servidores por cada operación y la cantidad de horas laborables en el turno matutino y en el turno vespertino.



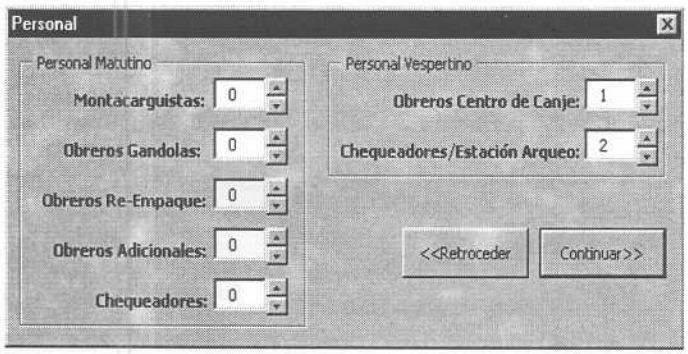

18. En la caja de diálogo "Tiempo de Gandolas", introduzca los datos relacionados con la descarga de gandolas. Para hacerlo pulse el botón combinado situado al lado de cada cuadro de texto. Se desplegará una lista de las opciones entre las que puede escoger.



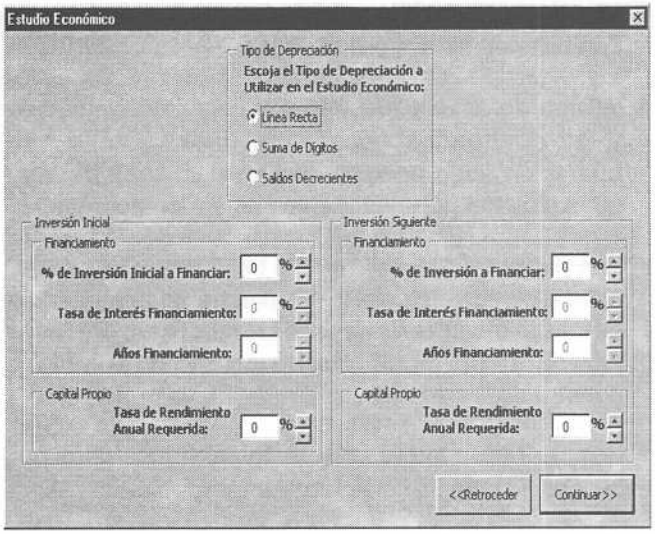

Si pulsa "Cargar Tiempos", aparecerá en la pantalla una tabla que muestra el tiempo total de operación por gandola con las características establecidas en la caja de diálogo y la cantidad de estas gandolas que pueden procesarse durante el turno matutino.

Esta caja de diálogo sigue activa hasta pulsar "Continuar", lo que conduce a la caja de diálogo "Personal".

19. Asigne el personal del turno matutino de acuerdo con los resultados obtenidos en la caja de diálogo anterior y los requerimientos del proceso. También debe asignar el número de obreros para el centro de canje en el horario vespertino y el número de chequeadores por estación de arqueo 1 y arqueo 2.




20. La última caja de diálogo se refiere a los datos económico-financieros. En ésta debe introducirse información acerca del método de depreciación a utilizar, el financiamiento de la inversión inicial y de la inversión siguiente. Pulse "Continuar" para finalizar con la etapa de introducción de datos y ver los resultados.



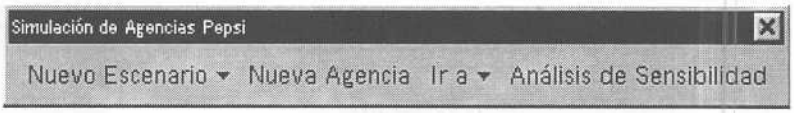

## Obtención De Resultados

El Modelo genera resultados de tipo operativos y económico-financieros, los cuales se resumen en varias tablas contenidas en la hoja "Resultados" que aparece en la pantalla al terminar de introducir los datos. En los resultados económicos se consideran, para fines comparativos, las opciones Con Arrendamiento, que se refiere al caso de alquilar el local, y Sin Arrendamiento, para el caso de invertir en la construcción de la agencia.

A continuación se realiza una breve explicación del contenido de esta hoja.

- **Número de Servidores:** presenta la cantidad de servidores asignados para cada operación que se realiza en la agencia.
- **Tiempo de Permanencia del Concesionario:** muestra el tiempo estimado para atender a un concesionario en el escenario establecido. Este tiempo se desglosa en dos componentes; el primero corresponde a las operaciones relativas al camión y el segundo a las operaciones administrativas.
- **Areas:** contiene el espacio físico asociado a cada operación realizada en la agencia y un estimado para el área de oficinas.
- **Dimensión del Galpón:** da las dimensiones requeridas para el almacén de vacío y de lleno.
- **Personal Asignado a la Agencia:** presenta una lista de todo el personal administrativo, de ventas y

obrero asignado a la agencia, según las condiciones fijadas por el usuario.




- **Vehículos:** muestra la lista de vehículos y las cantidades necesarias para la operación de la agencia. Incluye camiones de ruta, vehículos del personal de ventas y montacargas.
- **Inversión:** calcula la inversión total necesaria para el establecimiento y puesta en marcha de una agencia con las características establecidas. Permite comparar las opciones de arrendar el local o construirlo.
- **Costos Fijos:** totaliza los costos fijos incurridos por la agencia para un horizonte económico de ocho años.
- **Costos Variables:** totaliza los costos variables anuales producto de la actividad de la agencia para ocho años de estudio.
- **Costos Totales:** totaliza los costos fijos y variables mencionados anteriormente.
- **Indices:** en este cuadro se calculan los diferentes índices e indicadores que permiten evaluar económicamente la operación de la agencia. Estos son: Punto de equilibrio en rutas, diferencia con el punto de equilibrio, costo de operación por caja, costo de operación por ruta y costo de operación por cliente.
- **Flujo de caja:** Muestra el flujo de caja anual para todo el período en estudio, incluyendo la inversión inicial y los ingresos y egresos operativos de la agencia. Este flujo es utilizado posteriormente para el cálculo del valor presente neto de las opciones de construir o alquilar los espacios de la agencia.
- **Valor Presente Neto:** Calcula el valor presente neto de las opciones de alquilar o construir los espacios necesarios para la operación de la agencia en el horizonte económico en estudio, descontando los flujos de efectivo a la tasa correspondiente al costo promedio de capital, el cual es calculado de acuerdo a los datos introducidos por el usuario en la caja de diálogo "Estudio Económico".
- **Estado de Resultados:** Presenta un estado de ganancias y pérdidas para cada año en estudio, con el fin de verificar la estructura de gastos y si éstos superan el estándar establecido por la empresa.

Es posible obtener información más detallada de algún aspecto en particular de la agencia. Para ello pulse el botón "Ir a" de la barra "Simulación de Agencias", el cual le permitirá navegar entre las hojas del Modelo para buscar detalles acerca del tema de su interés.

Esta barra se hace visible automáticamente al finalizar la simulación del escenario introducido.

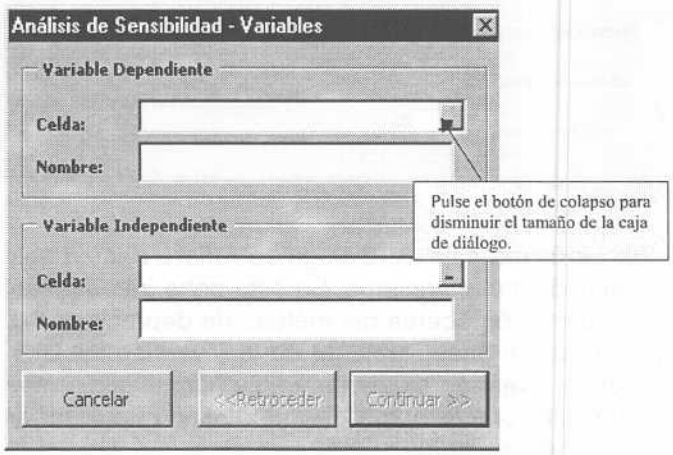
## Análisis De Sensibilidad

En el proceso de diseño de las agencias de distribución interactúan una gama de variables de distinta naturaleza. Con el análisis de sensibilidad se logran establecer patrones de influencia entre las mismas, por lo que éste se convierte en una herramienta de gran utilidad.

El Modelo permite realizar análisis de sensibilidad. Para ello se hace oscilar la variable independiente seleccionada entre los límites establecidos por el usuario, y se observan los cambios en la variable dependiente. El producto de lo anterior es una tabla y un gráfico que ilustran estos cambios. Sólo es posible hacer el análisis de sensibilidad sobre una variable independiente a la vez.

El procedimiento es el siguiente:

1. Pulse "Análisis de Sensibilidad" de la barra "Simulación de Agencias". Aparecerá la caja de diálogo "Análisis de Sensibilidad – Variables".
2. Seleccione la celda correspondiente a la variable dependiente directamente en la hoja que la contiene. Es importante seleccionar solo una celda.
3. Escriba el nombre de la variable en el cuadro de texto de la variable dependiente.
4. Repita los pasos 2 y 3 para la variable independiente.

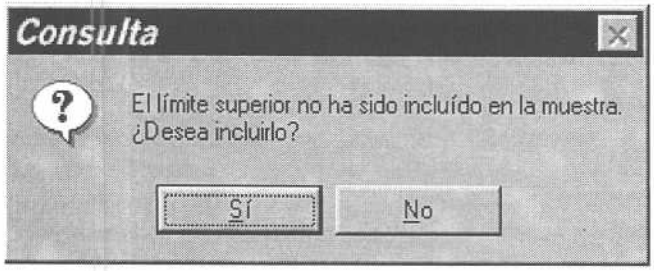


Para mayor facilidad, las variables sobre las cuales se puede hacer análisis de sensibilidad han sido identificadas con un borde verde en sus celdas.

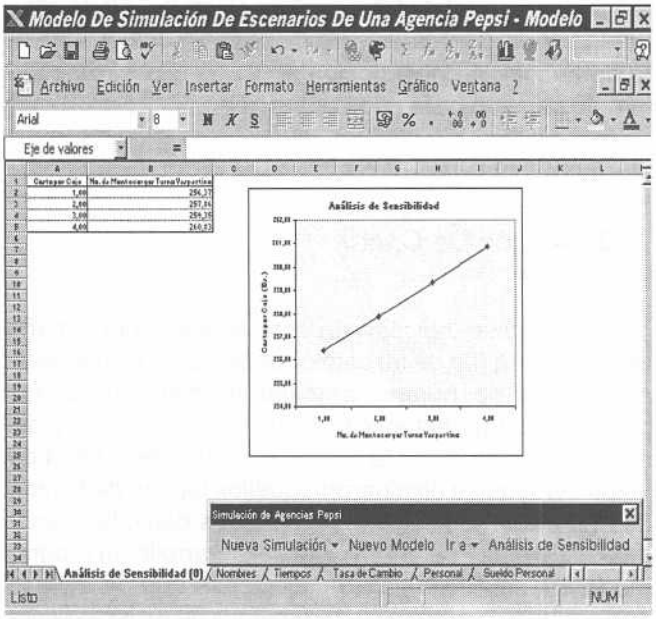
5. En la caja de diálogo "Análisis de Sensibilidad – Variación", seleccione si la variación de la variable independiente se hará porcentualmente o por valores enteros sobre el valor inicial de la misma. Introduzca los límites del rango entre los cuales oscilará este valor y la cantidad de intervalos o el tamaño de los mismos.

Con la opción "Porcentajes", el valor a introducir en los límites superior e inferior corresponde al porcentaje de incremento y decremento sobre el valor inicial de la variable. Con la opción "Enteros", los valores introducidos se refieren directamente a los límites del rango de oscilación.

En cuanto a las opciones "Con Intervalos de" y "Cantidad de Intervalos", éstas se utilizan para establecer el tamaño de los intervalos de variación o el número de intervalos que se desean en el rango de oscilación de la variable. Cuando el tamaño del intervalo no divide al rango en una cantidad entera de intervalos, se mostrará un mensaje indicando dos opciones: aumentar el tamaño del rango para incluir el anterior límite superior, o no hacerlo.




6. Al pulsar "Terminar" será mostrada una tabla y un gráfico ilustrativos de la influencia de la variable independiente sobre la variable dependiente seleccionada.




## Validación Del Modelo

En esta etapa se persigue contrastar el comportamiento del sistema real bajo la influencia de ciertos parámetros, con los resultados arrojados por el Modelo cuando es alimentado por estos mismos parámetros. Esta operación permitirá, si los resultados del Modelo se alejan de los resultados del sistema real, ajustar ciertos parámetros y relaciones dentro de la funcionalidad del Modelo hasta obtener, dentro de un margen de error aceptable, una representación fidedigna del sistema real.

De esta manera, a fin de constatar la aproximación del Modelo al mundo real, se seleccionaron la operación de carga y el comportamiento de la cola en el túnel como los subsistemas a comparar. La razón por la que se escogieron estas dos operaciones como los patrones de prueba es que ellas, junto con la descarga, son las que involucran un número significativo de variables importantes de las cuales dependen el resto de los resultados arrojados por el Modelo. La descarga se descartó de esta validación ya que es una operación análoga a la carga en cuanto a las relaciones establecidas en el Modelo, por lo que se considera que una vez validada la operación de carga se aceptará como válida la operación de descarga.

Una vez que se establecieron los patrones de prueba, se visitó la agencia Los Ruices, en la cual se tomaron las muestras requeridas para la validación.

Las muestras se tomaron durante cinco días en el horario comprendido entre la 1:00 p.m. y las 7:00 p.m., que corresponde al período de llegada de los camiones de ruta a la Agencia. Durante estos días se logró tomar un total de 98 muestras efectivas; 50 de ellas para la operación de carga y 48 para el comportamiento de la cola. A continuación se describirá el procedimiento seguido para cada operación.

## Operación De Carga

Como se indicó, para esta operación el tamaño de la muestra fue de 50 camiones de rutas. Cada medición constó del número de cajas de cada uno de los productos cargados en cada camión muestreado y del tiempo consumido en la operación. Durante la toma de estos tiempos se eliminaron aquellos lapsos de tiempo que no eran atribuibles al proceso, es decir, las pérdidas de tiempo. Posteriormente se desarrolló un programa en Visual Basic para Aplicaciones que permitió la aplicación de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis a las muestras tomadas. La aplicación de esta prueba de hipótesis es ideal para este caso ya que ésta es independiente de la distribución de probabilidad de los datos de la muestra y permite probar, a un nivel de confianza establecido, la siguiente hipótesis:

$$H_o: \mu_{\text{sistema real}} = \mu_{\text{resultados del modelo}}$$

Una vez desarrollado, el programa se alimentó con la muestra obtenida y se integró al Modelo, de manera que el estadístico de prueba "H" se calculara automáticamente al finalizar la simulación con las distintas cargas observadas en la visita a la agencia.

El tipo de carga y los recursos que se alimentaron en el Modelo correspondieron a los observados en la toma de las muestras. Estos son: carga paletizada para los productos retornables (alta rotación), carga manual para productos no retornables (baja rotación), completación de paletas de productos retornables, preparación de paletas mixtas por parte de los ayudantes de los concesionarios, dos montacargas en el túnel de carga y un ayudante realizando la carga manual.

Seguidamente se inició un proceso iterativo que permitió, en función del estadístico "H" obtenido, ir ajustando ciertos parámetros y relaciones del Modelo hasta obtener el nivel de confianza deseado. Para el proceso de validación se estableció que el nivel de confianza mínimo que se aceptaría sería del 80%.

Así, después de 27 iteraciones realizadas, durante las cuales se hicieron ajustes progresivos en ciertos parámetros y relaciones del Modelo, se obtuvo el siguiente valor de "H":

$$H = 62{,}82$$

en el cual se acepta la hipótesis nula con un nivel de confianza del 91,13 %, para una ji-cuadrado de 49 grados de libertad.

## Comportamiento De La Cola

Para la validación referente al comportamiento de la cola se siguió la misma metodología descrita para la operación de carga, tomando en este caso 48 muestras correspondientes al tiempo de cada operación desde el comienzo del Arqueo 1 hasta la finalización de la operación de Arqueo 2, con el objetivo de obtener el tiempo de permanencia de cada concesionario en ese trayecto. Las condiciones en las que se tomaron las muestras fueron las siguientes: tres servidores para la operación de Arqueo 1, dos montacargas en la operación de descarga, dos montacargas en la operación de carga y dos servidores en la operación de Arqueo 2. De esta manera, luego de realizar 18 iteraciones, se obtuvo el siguiente valor para el estadístico de prueba "H":

$$H = 56{,}48$$

en el cual se acepta la hipótesis nula con un nivel de confianza del 83,80% para una ji-cuadrado de 47 grados de libertad.

Bajo las condiciones en las que se ha establecido la realización de este trabajo los niveles de confianza podrían ser ampliados, mediante la incorporación de datos y relaciones obtenidos a través de la implantación de las mejoras pertinentes que se apliquen, producto de los resultados de las simulaciones realizadas y de las optimizaciones que se hagan a lo largo del tiempo en las agencias. Esto requiere de un proceso de seguimiento y estudio constante a través de un período de tiempo considerable. Sin embargo, bajo las limitaciones de tiempo y de información en que se ha desarrollado este Modelo, un nivel de confianza mínimo del 80% es un valor bastante bueno para comenzar la aproximación a la agencia cercana a la óptima.

# El ingeniero Alfredo Jahn. Contribución lingüística

***Francisco Javier Pérez***

*Universidad Católica Andrés Bello*
*Instituto de Investigaciones Históricas*

## PUNTO DE PARTIDA

Una larga vida le permitió conocer a Alfredo Jahn (1867-1940) el proceso de modernización inicial más violento sufrido por la sociedad y cultura de Venezuela. Al momento de morir, en 1940, ha visto, además de la aparición del petróleo y primera expansión de la industria, el crecimiento socio-cultural de un país, antes pobre y pequeño, a otro lleno de esperanzas. La transformación ciudadana de Caracas es un hecho. Muy poco queda ya de la ciudad que recibe el nuevo siglo. Las capitales del interior del país ya van mostrando atisbos de independencia. Vías férreas, puentes, edificaciones públicas, acueductos, centros de cultura, escuelas, cuarteles, sociedades científicas y culturales, hospicios y hospitales parecen mostrar, desde su estructura física hasta su sentido ideológico, la imagen de un rediseño ofrecido por los cambios. Otro, sin embargo, el país que genera los sueños de este ingeniero, etnógrafo, historiador y lingüista.

Vida de enormes servicios públicos, Jahn los ofrecerá en demasía para el cumplimiento de dos metas personales y públicas muy específicas: construcción nacional y conocimiento profundo de la espiritualidad venezolana. Es así como se reúnen en este destino científico venezolano, el ingeniero, constructor de una fachada de progreso, con el hombre de ciencia, abocado a la tarea ardua de profundizar en el conocimiento de la naturaleza venezolana y de su recorrido humano. Es a esta última y riquísima faceta de la actividad científica de Jahn sobre la que quisiera hoy llamar la atención para esbozar algunos planteamientos sobre el crecimiento cultural del país y la necesidad de paradigmas sobre los cuales asentarlo, específicamente en cuanto a la producción etnolingüística del autor.

Procuraremos que este retrato del científico cultural se encuadre en el marco de la actividad de las ciencias espirituales de su tiempo como uno de los capítulos de mayor interés en la historia de la ciencia en Venezuela. En este sentido, nuestra aproximación quiere contribuir a la divulgación de una parcela del estudio de la ciencia venezolana, aquella que privilegia y enfoca su mirada sobre el trabajo de descripción y reflexión de las lenguas indígenas. Nuestro proceso de enfoque está exigiendo, además, que nos detengamos sólo en su obra más célebre. Efectivamente, el ensayo tendrá como campo de investigación el estudio de la historia, etnografía y afinidades lingüísticas de *Los aborígenes del occidente de Venezuela*, publicado en 1927. He aquí nuestro punto de partida.

## POR LA INGENIERÍA

Sí; sin duda, el ejercicio profesional que Alfredo Jahn hizo de la ingeniería, como la participación en importantes proyectos nacionales, lo obligó a recorrer el país con exhaustividad y a conocerlo en profundidad. Sin pretenderlo, cada una de estas incursiones técnicas, estaban, en otro orden, significando un ejercicio de campo de sabor antropológico que se reflejaría en resultados muy estimables, sobretodo en sus estudios etnolingüísticos.

Así, puede afirmarse que la ingeniería estuvo al servicio de las ciencias humanas. Como un expedicionario nostálgico del pasado de las ciencias naturales, naturalista de estirpe humboldtiana, protagonizará una ingente labor de campo. Lo vemos, en 1887, en el Alto Orinoco en una expedición patrocinada por el gobierno de Antonio Guzmán Blanco. Conducida por Vicente Marcano, tenía la intención de recoger materiales botánicos, geográficos y etnográficos que serían remitidos a Gaspar Marcano, hermano del anterior, residenciado en París, para su estudio y posterior aprovechamiento en la elaboración de su importante *Etnografía precolombina de Venezuela* (1889-1891), que preparaba en ese entonces. Entre 1903 y 1905, ahora en rol directivo, para el Museo Etnográfico de Berlín, está al frente de una expedición exploratoria de carácter arqueológico en la orilla oriental del Lago de Valencia. Durante tres años, de 1910 a 1913, y para el Ministerio de Obras Públicas, al frente de la Comisión exploradora del occidente de Venezuela que le reportará los fundamentos documentales para su obra futura.

Otras expediciones científicas también son registradas en su ficha de trabajo como ingeniero. Se le encargan los estudios y trazados para la construcción del ferrocarril del centro. Residenciándose en Maracay, centro de sus operaciones, aprovecha para hacer múltiples anotaciones geográficas y botánicas. Más tarde, en 1906, se incorpora al equipo técnico del ferrocarril Caracas-La Guaira. Tres años más tarde, se encuentra, como inspector técnico de los ferrocarriles de Venezuela, en visita en los Andes (los resultados científicos se reflejarán en su obra *Orografía de la cordillera venezolana de los Andes*, 1912). Explorará, también, la orilla oriental del Lago de Maracaibo, estableciendo su proyecto general de investigación en el occidente del país. Este daría como resultado la más compleja observación, descripción y análisis de la región desde la óptica de la geografía, orografía, geología, historia, etnografía y lingüística. Sin embargo, nunca en menosprecio de otras zonas, susceptibles también de sus intereses de investigador: los valles de Aragua (*La altitud de Caracas*, 1919; *Los cráneos deformados de los aborígenes de los valles de Aragua: observaciones antropológicas*, 1932) o la Guayana (*Contribución a la hidrografía del Orinoco y Río Negro*, 1904; *Una importante contribución a la hidrografía de la Guayana venezolana*, 1931) (Pérez Marchelli 1997: II, 837-838).

Su obra maestra, *Los aborígenes del occidente de Venezuela* responderá, entonces, a este mismo proyecto de implicaciones multidisciplinarias y de fuerte espíritu venezolanista. Observémosla de cerca, ahora, en su significación etnolingüística y en su aporte a las ideas lingüísticas en Venezuela.

## *Los Aborígenes*, sus ideas lingüísticas y su contribución

No resulta usual plantear el estudio de las ideas lingüísticas contenidas en una obra de etnografía como la de Alfredo Jahn. Entendida, en general, como texto de descripción, muy ocas veces se plantea una aproximación que ponga en discusión los planteamientos teóricos que ella vehicula.

La obra está estructurada en seis capítulos (I: "La población precolombina del Lago de Maracaibo"; II: "Los indios Motilones"; III: "Los Guajiros y Paraujanos"; IV: "Los Caquetíos y Achaguas"; V: "Los indios Ayomanes, Jirajaras y Gayones"; VI: "Los aborígenes de la Cordillera de los Andes venezolanos"), una introducción, conclusiones y una densa sección de apéndices lingüísticos ("Las lenguas de los aborígenes del Occidente de Venezuela", "Vocabulario de la lengua Motilón", "Vocabulario comparado Guajiro-Paraujano", "Vocabulario comparado de la lengua Achagua", "Vocabulario Ayomán", "Vocabulario Jirajara comparado con el Ayomán", "Vocabulario Gayón comparado con el Ayomán y el Jirajara", "Vocabulario de la lengua Timote", "Comparación de los dialectos andinos de Venezuela con los de Costa Rica", "Tabla comparativa de los dialectos andinos de Venezuela con el Chibcha"). En el "Prefacio", escrito también por el autor, se da cuenta del proceso de concepción de la obra que dedica, el gran etnógrafo y lingüista, como él mismo, Theodor Koch-Grünberg, muerto a orillas del Río Branco en 1924 y en el camino hacia las fuentes del Parima y del Orinoco, como parte de la expedición de Hamilton Rice ("de la cual era el miembro más conspicuo"): "A la memoria del Profesor Dr. Theodor Koch-Grünberg, cuya muerte ha privado de uno de sus más diligentes y fecundos obreros a la Etnología Americana, de un justo y desinteresado protector a los Indios de Venezuela y del Brasil y de un excelente inolvidable amigo al Autor" (Jahn 1927: 3).

El "Prefacio" ofrece valiosas informaciones sobre la elaboración de la obra y, muy especialmente, ilustra el proyecto macro de investigación del autor, del que esta obra es su cuenta fidedigna y depurada:

> El presente volumen encierra los resultados etnográficos de la exploración científica que efectuamos en toda la región del Occidente de Venezuela, como Jefe de una Comisión que nos confiara el Gobierno Nacional durante los años de 1910 a 1912, y de los viajes que de 1914 a 1917 y de 1921 a 1922 hicimos, por propia iniciativa, con el fin de completar y ampliar las observaciones que habíamos recogido durante nuestra misión oficial.
>
> Fueron partes de nuestro programa, a más de las investigaciones etnológicas, el levantamiento de la carta geográfica de todo nuestro sistema andino y

regiones circunvecinas y las observaciones relativas a su meteorología, geología, glaciología y flora, que pudieran ilustrar el aspecto físico de aquella interesante sección de la República. Ninguna otra región del país ofrece tal variedad de condiciones topográficas y climatéricas, constitutivas de otros tantos medios en que se desarrolla la vida orgánica y de ahí el interés y la importancia que ha de tener el estudio comparativo de sus diversas manifestaciones.

En1912 hemos publicado lo que hasta entonces teníamos observado respecto a la orografía e Hipsometría de la Cordillera Venezolana de los Andes. Posteriormente hemos dado a conocer algunas de nuestras observaciones climatológicas y glaciológicas; tenemos en preparación, para dar a la estampa, las observaciones astronómicas, geodésicas y meteorológicas y nos proponemos también publicar un estudio sobre la flora de los páramos.

De la población autóctona, que aún se conserva en su primitiva pureza en parte del Estado Zulia (Motilones, Guajiros y Paraujanos), quedaban a principios del siglo algunos supervivientes en los Estados Lara, Trujillo y Mérida, (Ayomanes, Gayones y Timotes). Las anotaciones sobre etnografía y lingüística comparada de estas tribus, recogidas en el curso de nuestros viajes y que son materia del presente estudio, vienen a ampliar los trabajos de igual índole que han visto la luz en libros, revistas y periódicos nacionales y extranjeros, salidos de las autorizadas plumas de Ernst, Zeledón, Uricoechea y Simons, y de las no menos ilustradas de nuestros compatriotas Arcaya, Alvarado, Julio Salas, Febres Cordero, Lares, Amílcar Fonseca, Freitez Pineda, Oramas y otros.

Un extracto de nuestro capítulo tercero sobre los Guajiros y Paraujanos y sobre las construcciones parafíticas del Lago de Maracaibo, fué publicado en 1914 en la Zeitschrift für Ethnologie, revista de la Sociedad de Antropología, Etnología y Prehistoria de Berlín (Jahn 1927: V-VII).

Obra de síntesis de todas sus investigaciones anteriores sobre la orografía andina y la etnografía zuliana, ofrecida en publicaciones preliminares anteriores a 1927, reunirá todas las propuestas de su comprensión de la lingüística indígena aborigen de la región estudiada.

Por su parte, la "Introducción" reconstruye la historia de la lingüística indígena, presenta sus aportes más estimables y apunta las corrientes de su desarrollo, desde los tiempos antiguos hasta el momento en que escribe el autor. Se trata de una de las piezas iniciales más valiosas, por la riqueza de sus materiales y por la sobriedad de sus enfoques, para el conocimiento y estudio de la evolución de la lingüística indígena venezolana. Jahn estima las contribuciones más diversas, tanto de estudiosos nacionales como extranjeros, tratando de entender la organicidad de un pensamiento de investigación lingüística disperso y, a primera vista, confuso

He aquí una síntesis del panorama que hace posible. Procede no sólo cronológicamente, sino topológicamente, ofreciendo un recorrido que ensambla tiempos y espacios de consideración y progreso de la investigación etnolingüística, desde los intereses más remotos hasta los más nuevos. Así, podemos ver a los primeros historiadores y cronistas haciendo sus aportes a la reflexión hasta desembocar en el delta de la ciencia venezolana de finales del siglo XIX y del comienzo del XX. Recorremos el desarrollo de los estudios, como queda dicho, por itinerarios científicos: los Andes, los estados Zulia, Lara y Falcón. Los itinerarios etnolingüísticos nos conducen a los itinerarios de los pueblos indígenas: timotes y cuicas, paraujanos y guajiros, gayones, ayamanes y jiarajaras. Estudiosos de notable estirpe son privilegiados en la mirada crítica de Jahn para armar el retrato de la ciencia lingüística venezolana de aquellos tiempos, en reconocimiento, además, de la rica aportación foránea. Para las culturas andinas, José Ignacio Lares, Jesús Manuel Jáuregui, José Gregorio Villafañe, Tulio Febres Cordero, Julio C. Salas y R. M. Urrecheaga. Para la región zuliana, Adolfo Ernst y Luis. R. Oramas, acompañados de los autores colombianos, Rafael Celedón, Esteban de Uterga, Ezequiel Uricoechea y Jorge Isaacs. Para las regiones centro-occidentales, Pedro Manuel Arcaya, Rafael Freitez Pineda y Juan Tomás Pérez.

Los resultados a los que arriba Jahn en su obra serían anticipados, veinte años antes, y formulados en una carta, de fecha 10 de julio de 1906, que le dirige a Lisandro Alvarado desde Caracas, mientras el sabio que se encontraba en El Tinaco. Con algunas inconsistencias, este texto revela la claridad y conocimiento que Jahn tenía sobre el panorama lingüístico indígena del país:

Hasta ahora he podido establecer como caribes, los restos Cumanagotos: Caribes del Oriente, los Macusis, Arecunas: Acawai de la Guayana, los Maquiritares del Alto Orinoco i los Motilones de la Sierra de Perijá. Probablemente lo serán también los Yaruros i Otomacos. En cuanto a los Goagiros son legítimos Aruacos, [...] En el grupo de los Un-Aruacos de la clasificación de Steinen debemos incluir a nuestros Piapocos, Barés, Banivas, Guagibos, Parenis, Guinaus y Mawakas, cuyo parentesco lingüístico con algunas tribus brasileñas del Río Negro, Río Yapurá y Río Yutaley he podido comprobar por los vocabularios de Wallace, Spix, Martius, Schomburgk y Matterer. /Los Piaroas y Guaraunos me han dado mucho que hacer i hasta ahora no he encontrado en qué grupo incluirlos, pues no me resultan ni Caribes, ni Aruacos, ni Tupís, ni Tapuyas [...]/ Como complemento de mi trabajo desearía estudiar dialectos de

Lara i Coro i si es posible algunos del Alto Apure, pues sospecho la existencia por allí de una o más tribus caribes que puedan establecer la comunicación entre los Motilones del Zulia i los Caribes de la Guayana. Muy importante sería poder comprobar el paso de aquellos Caribes (Motilones) al través de los pueblos Aruacos i Muiscas del Occidente (Key-Ayala 1958: 102-103).

Pero por encima de estos aportes concretos, nos interesa, hoy, establecer el retrato del Jahn teórico y metacientífico, artífice de una propuesta de abordaje científico de las lenguas indígenas venezolanas, heredero de métodos del XIX y promotor de planteos que miran hacia el futuro. Queremos reconstruir su método de estudio como resultado de la ciencia de su tiempo, en la que estaba tan inmerso, pero, además, necesitamos verlo en proyección de modernidad, así como a muchos de sus correligionarios científicos, en dimensión de perspectiva.

Este retrato del científico de la lengua debe centrar su atención en los mecanismos descriptivos empleados, en el método comparativo privilegiado, en la necesidad clasificatoria como clarificación de la fragmentación lingüística entendida como confusión y, por último, en el afianzamiento del conocimiento étnico en la probatoria lingüística.

Jahn estudia la lengua y cultura de los pueblos aborígenes del occidente de Venezuela: motilones, guajiros, paraujanos, caquetíos, achaguas, ayomanes, jirajaras, gayones y timotes, dedicando a cada uno de ellos capítulos independientes. Ha procedido, en gran medida, conducido por similares mecanismos de descripción: ubicación geo-histórica, exploración etnohistórica, presentación lingüística y planteamientos clasificatorios.

Recurrentemente, los aportes clasificatorios son respaldados por la aplicación del método comparativo. Se hace muy claro en los apéndices lingüísticos que ofrece. Analicemos el "Vocabulario comparado Guajiro-Paraujano". Aparece organizado con una macroestructura que parcializa el texto por grupos temáticos: partes del cuerpo; hombre y familia; casa y ajuar; religión, medicina, etc.; naturaleza y elementos; tiempo y lugar; plantas; números; colores; y por tópicos gramaticales: pronombres y sus posesivos; adverbios modales; adjetivos; verbos; frases; elementos gramaticales. Para cada una de ellas, el texto lexicográfico se construye en columnas verticales relativas a las lenguas que intervienen en la comparación: español, como lengua de partida; y guajiro y paraujano, como lenguas de llegada; acentuando las correspondencias, en la lectura horizontal de las unidades presentadas:

| **Español** | **Guajiro** | **Paraujano** |
|---|---|---|
| Cabeza (mi) | *tekí* | *táki* |

Esta persistencia en la aplicación del método comparativo comporta, además, implicaciones más complejas que las acentuadas por aspectos de naturaleza metodológica. Por una parte, la creencia en que la gramática particular de una lengua arrastra una visión de la realidad que le es propia y que revela su manera de entender el mundo. Sin embargo, la necesidad de afianzar diferencias y semejanzas a través de la comparación habla del pensamiento en que resulta posible la organización de las lenguas del mundo, si no en una sola gramática general y madre de las otras, sí en una gramática que conecte desde una perspectiva etnolingüística. Es decir, la comparación daba fuerza a la idea de que las lenguas se ordenaban por lenguas matrices y lenguas derivadas de aquéllas. Una y otra vez este viejo principio activo desde los comparatistas de finales del siglo XVIII y comienzos del XIX se veía crecer para ser demostrado en su fundamento teórico y filosófico. La comparación no era más que una forma de filosofía del lenguaje.

Permitía, además, entender la evolución lingüística desde el momento en que nos remitía a las edades de las lenguas, períodos identificables como por estratos de tiempo que la comparación, también, podía ir discerniendo.

Contribución evidente del comparatismo, el acercamiento al estudio de la fragmentación lingüística de las lenguas indígenas del occidente venezolano en la visión de Jahn. Aísla cuatro grandes troncos lingüísticos, afiliando un numeroso grupo de lenguas en cada uno. Siguiendo metodológicamente el trabajo de los autores antiguos en materia de clasificación, especialmente el de Felipe Salvador Gilij (*Ensayo de Historia Americana*, 1782) durante el siglo XVIII, y el de los modernos, para Venezuela el más brillante tendría que ser el de Pedro Manuel Arcaya ("Lenguas indígenas que se hablaron en Venezuela", 1918) (Pérez 1988: 134-137; 156-157), Jahn logrará la formulación más acabada del período para la región descrita:

1. ARUACOS:

Caquetíos, Ajaguas, Kinóes, Chinóes, Mokinóes, Umukénas, Babukénas, Orikénas, Babirikénas, Burumakénas, Kenikeas, Kenias (Canias), Tiruacás, Aricaguas, Canaguáes, Chacantáes, Caparos, Burguas, Kinimaríes, Karapós, Tororós, Azuas, Guajiros, Paraujanos.

2. TIMOTES:

**GRUPO KUIKAS:**

3. Tribu Kuikas: Parcialidades Kuikas, Karaches, Chejendées, Cabimbúes, Burbusayes, Siquisaques, Monayes.

4. Tribu Eskúkes: Parcialidades Eskúkes, Isnotúes, Betijokes, Kibáos, Pokóes, Moskeyes.

5. Tribu Tirandáes: Parcialidades Tirandáes, Chachúes, Estiguatis, Kurandáes, Bombáes, Bujayes, Tonojóes, Misisies.

6. Tribu Tostós: Parcialidades Tostós, Estitekes, Guandáes, Mikicháes, Nikitáos.

**GRUPO TIMOTES:**

7. Tribu Timotes: Parcialidades Timotes, Esnujakes, Jajóes, Mikimboyes, Kindoráes, Chachopos, Mocotapóes, Mucujurapes.

8. Tribu Mucuchíes: Parcialidades Mucuchíes, Mocáos, Mistekes, Misintáes, Mosnachóes, Misikeas, Mucuchaches, Mucubajíes, Mucurubáes, Mucumpíes, Mucumamóes, Torondoyes, Tucaníes, Escagueyes.

9. Tribu Miguríes: Parcialidades Miguríes, Tiguiñones (?), Cacútes, Tabayes, Tatuéis, Curos, Guakes, Guaimaros, Túcuos, Mucujunes, Mocanareyes, Mocaketáes, Mucutibiríes, Mocochopos, Mocoabás, Camucayes, Mirripús, Mucujetes, Mucuguayes, Mucumbíes, Minanones, Isnumbíes, Kiroráes, Kinaróes (?), Carigríes, Iricuyes, Capáces, Jajíes, Mucutuyes, Mucubaches, Chiguaráes, Guaruríes (?).

10. Tribu Mocotíes: Parcialidades Mocotíes, Bailadores, Guarakes (?).

11. BETOYS: Ayomanes, Gayones, Cuibas, Jirajaras, Pajones, Camisetas, Paruyes, Tucupíes, Curayes, Ticoporos, Micheayes, Pagueyes, Curbatíes, Capuchos, Táribas, Téucaras, Peribecas, Guásimos, Sirguráes, Chibateros (en Colombia).

12. CARIBES: Bubures, Buredes, Guanaos, Pemenos, Kirikires, Motilones (Macoas, Tucucos, Pariríes, Mapes, Chakes), Itotes, Tocóes, Opones, Carares, Chinatos (Chinácotas y Cúcutas), Corbagos (Chriguanos), Lobateras, Yariguíes.

(Jahn 1927: 334-335).

Esta organización del cuadro lingüístico permitía el acercamiento al conocimiento étnico de las culturas indígenas. La hermandad entre estudio lingüístico y estudio etnográfico venía a ratificar, también, la tesis de los filólogos alemanes del siglo XIX, especialmente las hipótesis de Guillermo de Humboldt, que habían afianzado las conexiones entre lengua y raza. No siempre era sencillo esclarecer la divisoria entre una y otra, ni entre el estudio de la una o de la otra. Más bien, se creía firmemente en que no era posible tal discernimiento, en la idea de que estudiar la lengua era igual a estudiar la raza y viceversa.

Subyace, tanto en Jahn como en toda la ciencia venezolana del período, esta creencia que conduce toda la investigación y condiciona todos los resultados obtenidos, llevados con solvencia y aciertos de evidente notoriedad. Así, la clasificación lingüística, la búsqueda de filiaciones y parentescos y la aplicación comparativa aparecían eslabonados con las ciencias del hombre y su estudio: "Creemos por tanto, como von den Steinen, Koch, Brinton, Arcaya y otros, que la única clasificación científica, es la que tiene por base el parentesco de las lenguas. En efecto, las tribus americanas, que por su lengua aparecen como miembros de una misma familia, en muchos casos resultan también ligadas por sus costumbres y elementos culturales" (Jahn 1927: 9).

Entonces, es posible entender cómo las ideas lingüísticas que vehicula el texto de Jahn, viejas y nuevas ideas, como queda visto, en armónica conjunción postulan una obra de alcances etnográficos y lingüísticos paradigmáticos. Supo Jahn potenciar los métodos lingüísticos y relanzarlos en nuestra ciencia en su carácter de fundamento de toda investigación etnográfica. Conocimiento del hombre y su cultura por medio de la lengua, la lingüística en la perspectiva de Jahn pasaba a erigirse en disciplina rectora de la actividad científica de descripción y análisis de las culturas de los orígenes.

En cuanto a su consideración histórica, suponen *Los aborígenes del occidente de Venezuela* el producto más acabado en la escritura de una tipología textual en la ciencia del lenguaje; los *orígenes*. Género científico, de base lingüística y etnográfica, que buscaba reconstruir por vía, muchas veces hipotética ante la desaparición del documento físico, la prehistoria o la historia más remota del país. Los *Orígenes* proliferaron y se propagaron epidémicamente, a la par de los *Mitrídates*, textos poliglóticos de estirpe comparativa en donde se ofrecía el diálogo coral de muchas lenguas con la finalidad de propiciar acercamientos, filiaciones y hermandades entre ellas. Las mejores tradiciones mitridáticas serían las propiciadas por autores antiguos como Gilij o modernos como Julio César Salas, contemporáneo de Jahn. Los *Orígenes* generarían también una tradición, tal vez más fuerte, que, más moderna que antigua en nuestra ciencia, se articula en las obras de Amílcar Fonseca (*Orígenes Trujillanos*), ... Ambas tradiciones quedarían unificadas, tal vez porque vienen a coincidir en fines y métodos, en los *Orígenes Americanos* de Salas, como texto lexicográfico de predominancia lingüística y en la obra de Jahn, como

texto etnohistórico de armonías lingüísticas y etnográficas (Pérez 1999: 34-45).

La contribución de Jahn tiene que ser medida, entonces, en esta dimensión de la reflexión historiográfica de nuestra lingüística. Descripción equilibrada, documentada y de sobrada sistemática, utilización ecuánime de una metodología de investigación y un marco de intereses metacientíficos que le ofrecieron arraigo histórico con la especialidad y la solidez teórica que necesitaba para producir impacto en el ámbito de la ciencia del lenguaje y en el de la inteligencia venezolana.

En otro sentido, su obra también tiene que ser entendida, en una dimensión aún no determinada, como eslabón en la construcción de una espiritualidad venezolana desde los ámbitos, en primera mirada no congeniables, de la ciencia lingüística, del indigenismo y de la reflexión venezolanista.

## Algunos textos

Para finalizar, quisiera anotar algunos estudios y escritos que deberían revisarse para conocer el trabajo de investigador desarrollado por nuestro autor. Para el estudio que acabamos de concluir, obviamente, la primera edición de *Los aborígenes del occidente de Venezuela. Su historia, etnografía y afinidades lingüísticas*. Caracas: Lit. y Tip. del Comercio, 1927, resulta indispensable. Se conoce una segunda edición en dos pequeños tomos, obra de Monte Avila Editores, en Caracas, en 1973. Es un facsímil de la primera. Como textos de primera mano, las dos cartas incluidas por Santiago Key-Ayala en su célebre compilación *Obra inducida de Lisandro Alvarado (Piezas de su Archivo)*. Buenos Aires: Imprenta López, 1958, pp. 101-107.

Junto a ésta, los siguientes estudios sobre el autor o sobre la lingüística venezolana del tiempo de Jahn. En primer lugar, debe remitirse a los trabajos bibliográficos que aportan la visión de conjunto sobre la inmensa obra que Jahn produjo: 1) Víctor Alberto Grillet: "Contribución a la Bibliografía del Dr, Alfredo Jahn". En *Bibliociencias* (Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales), Caracas, N° 2 (1966), pp. 3-10; 2) Franco Urbani P.: "Bibliografía del Doctor Alfredo Jahn (1867-1940)". En *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*, Caracas, N°s. 139-140 (1985), pp. 108-119; 3) Franco Urbani P.: "Bio-bibliografía del Ingeniero Alfredo Jahn (1867-1940)". En *Boletín de la Academia Nacional de la Historia*, Caracas, N° 277 (1987), pp. 101-145 ("Ensayos en Homenaje a Alfredo Jahn"). La Academia Nacional de la Historia reunió en la entrega número 277 de su *Boletín* un grupo de importantes estudios sobre la significación de Jahn a la ciencia nacional. Para nuestros intereses resulta de particular lectura el escrito por Erika Wagner: "La contribución antropológica de Alfredo Jahn" (p. 160-161). Sobre el Jahn antropólogo, hay que mencionar dos textos clásicos: 1) Iradia Vargas Arenas: "Introducción al estudio de las ideas antropológicas venezolanas (1880-1936)". En *Semestre histórico,* Caracas, N° 3 (1976), pp. 151-174; y 2) Luise Margolies y María Matilde Suárez: "Historia de la etnología contemporánea en Venezuela". En *Montalbán*, Caracas, N° 6 (1977), pp. 695-738; recientemente, han sido vueltos a publicar en la compilación de Emanuele Amodio: *Historias de la antropología en Venezuela*. Maracaibo: Ediciones de la Dirección de Cultura de la Universidad del Zulia, 1998. Asimismo, Héctor Pérez Marchelli ha logrado una síntesis satisfactoria de la vida y producción del autor en los artículos escritos para las dos ediciones del *Diccionario de Historia de Venezuela*. Caracas: Fundación Polar, 1988 y 1997 (II: 597-598; II: 837-838). La segunda entrega actualiza y modifica parcialmente la primera. En torno a la significación histórica de la obra de Jahn deben revisarse dos trabajos, el primero sobre su participación científica propiamente dicha y, el segundo, sobre su aporte a la historia de la lingüística venezolana. Ellos son: 1) Marcel Roche (comp..). *Perfil de la ciencia en Venezuela*. Caracas: Fundación Polar, 1996. Se trata de los documentados estudios de Yajaira Freites sobre la ciencia del siglo XIX. En este mismo sentido, y sobre el Jahn botánico, remito a: Yolanda Texera Arnal: *La exploración botánica en Venezuela (1745-1950)*. Caracas: Fondo Editorial Acta Científica Venezolana, 1991; y 2) Francisco Javier Pérez: *Historia de la lingüística en Venezuela*. San Cristóbal: Universidad Católica del Táchira, 1988, pp. 165-167. También, para el planteamiento teórico sobre los *orígenes-mitrídates* tenga que revisarse, de este mismo autor, *Mitrídates en Venezuela. Diccionarios, poliglotismo y lenguas indígenas en Julio C. Salas*. Caracas: Fundación Julio C. Salas/ Universidad Católica Andrés Bello, 1999. A raíz de la muerte de Jahn, Pedro Grases escribió una nota necrológica, que aunque escueta, es representativa del papel que la significación había logrado entre los estudiosos venezolanos: "El doctor Alfredo Jahn (1867-1940)". *Obras*. Caracas/ Barcelona/México: Editorial Seix Barral, 1981, t. 7 ("Maestros y amigos"), pp. 6-8 (originalmente en *El Heraldo*, 17/6/1940).

# Un proyecto para el estado Vargas

**Hugo Ignacio *Pérez* Ayala**

*Profesor Agregado (desde 1985), Facultad de Ingeniería UCAB. Caracas.*
*MSE (1982), Universidad de Michigan, Ann Arbor.*
*Ingeniero Civil (1979), Universidad Metropolitana, Caracas.*

## 5 DE ENERO DE 2000

Motivado por lo acontecido el mes de diciembre deseo transmitir una idea, que de ser implementada, generará de forma inmediata: empleo, desarrollo, integración y una nueva imagen al futuro del estado Vargas.

El suceso nos ha mostrado que las zonas que creíamos seguras para el hábitat y desarrollo humano se nos presentan como de alto riesgo y susceptibles de sufrir daños inmensurables.

La fragilidad y el riesgo del estado Vargas aumenta, con relación a otras zonas, por la posible ocurrencia de otros fenómenos naturales, impredecibles en el tiempo y en su magnitud, tales como tormentas tropicales y sismos.

Si a estos fenómenos impredecibles, añadimos la intervención del hombre, completamos un cuadro que nos obliga a una acción técnicamente conservadora, que minimice las consecuencias trágicas en el futuro.

La base económica de Vargas determina el proyecto o conjunto de proyectos de ingeniería que contribuyen en su desarrollo, las acciones deben orientarse a la reactivación del motor que mueve su economía.

Las principales fuentes generadoras de empleo podemos concentrarlas en los servicios directos e indirectos requeridos por las actividades aeroportuarias y turísticas (incluyendo actividad recreacional y vacacional).

Es indiscutible que la existencia de Caracas determina la de Vargas. Lo sucedido el mes de diciembre con el transporte por la autopista Caracas-La Guaira, nos muestra y avisa sobre la importancia de acciones tendientes a solventar y minimizar este problema siempre latente.

Por otra parte, conocido lo sucedido y comparando con eventos anteriores de menor magnitud pero similares, como el del río Limón en Maracay, en el futuro podremos instrumentar y predecir hechos como los ocurridos.

Aunque en ocasiones podemos prever no implica que podamos evitar.

La ingeniería debe ser dinámica para adaptarla a estos fenómenos y minimizar sus consecuencias a corto, mediano y largo plazo.

Cuando el proyecto o edificación cumple con un servicio a toda la comunidad, lo anterior es aún más importante, si el servicio colapsa lo hace la comunidad, el servicio debe obedecer a un diseño y a una alternativa que permita su pronta restitución.

Los servicios deben diseñarse a futuro, no pueden ser puntuales, deben estar vinculados e integrar unidades operativas interconectadas, la falla en un sector, aún tratándose de un corredor como Vargas, no debe incidir en otros sectores, si esto ocurre debe permitir una restitución rápida en los sectores no afectados.

Los servicios importantes podemos resumirlos en: sistemas de suministro eléctrico y de comunicaciones, sistemas de distribución de agua potable y aguas servidas, transporte y médico asistenciales, incluyendo refugios provisionales en lugares seguros para atender alarmas o posibles siniestros.

El caso del colapso físico de Vargas obliga a algunas consideraciones antes de emprender obras para su rehabilitación.

Según las estimaciones hechas, reponer lo dañado a la condición que existía no se justifica en todos los casos, la existencia de grandes zonas prácticamente tapiadas por sedimentos imposibilitan la reposición a la cota original de los servicios y parcelas, el costo de esta reposición es de varias veces el costo del bien físico que se recuperaría.

Por otra parte tenemos el factor tiempo, pensar en 10 o 15 años, con acciones puntuales no es suficiente aunque en muchos casos sea necesario.

Necesitamos implementar un proyecto que genere recursos y empleo, contribuya en el suministro de los servicios básicos, integre a Vargas y lo vincule a Caracas de manera segura, motorice todas las actividades económicas, presente a un Estado con otra imagen para sus habitantes, de seguridad y sea de fácil restitución ante un colapso parcial.

Necesitamos un proyecto que favorezca la confianza del usuario de las instalaciones existentes y por construir, genere confianza, motive la inversión privada y revalorice los activos de Vargas.

La reactivación y actualización del proyecto de Transito Rápido entreCaracas y el Litoral Central enlazando ramales al Aeropuerto, Puerto,

Punta de Mulatos, Catia La Mar, Macuto, Los Corales, Caraballeda y

Naiguatá a mediano y corto plazo. Se presenta hoy como una alternativa factible y necesaria.

Sus ramales a lo largo de la costa generarán alrededor de sus estaciones polos de desarrollo turístico, recreacional y habitacional.

El alineamiento y carácter elevado de la estructura, permiten gran flexibilidad constructiva, facilitando salvar obstáculos y accidentes topográficos de forma segura.

Por otra parte sus componentes prefabricados, en caso de colapso parcial, facilitan su reposición, minimizando el efecto negativo sobre los habitantes del corredor de Vargas ante la pérdida de las vías convencionales.

La creación de Centros de Servicios Múltiples cercanos a cada estación y vialidad secundaría que favorezca el uso peatonal y de bicicletas como transporte local, incidirá positivamente en la generación de un polo turístico único para Vargas.

Los Centros de Servicios Múltiples deben podrán ser diseñados y proyectados como Centros de Hospedaje Turístico con todos sus servicios y construidos en las zonas más para la población. Estos podrían convertirse provisionalmente en Centros de Refugio.

La estructura del Sistema de Tránsito Rápido deberá soportar el sistema principal de distribución de agua para toda la costa, con estaciones de bombeo y aducciones locales y la red principal de distribución eléctrica, con las subestaciones necesarias.

Paralelamente a estas obras, la restitución parcial de servicios es necesaria a fin de mantener a la población en sus hogares pero con el incentivo y la esperanza que dará la ejecución del Sistema de Transito Rápido.

El Sistema de Transito Rápido no implica la eliminación de la carretera de la costa, la cual siempre será necesaria. Para su rehabilitación debe acelerarse todo lo relacionado con las áreas que permanecerán en la cota y a la elevación producida por los sedimentos.

Como inversión, no se trata de la reposición de un bien perdido o dañado sino de un valor agregado que no existía en la zona, que además de solventar varios problemas la revaloriza.

El efecto de este proyecto en la economía local es inmensurable y como proyecto de inversión facilita al Gobierno la obtención los recursos ante organismos y empresas internacionales.

El momento es propicio, existe un proyecto actualizable en manos de FERROCAR, es cuantificable y su atractivo turístico favorece un régimen de concesiones.

A título de ejemplo, un tramo entre Punta de Mulatos y Macuto, puede incluir servicios y operación turística recreacional del balneario o balnearios reacondicionados de Macuto. Este tramo puede ser una concesión y tener un enlace con otro entre Macuto y balneario de Camurí operado por otro concesionario.

El mejor atractivo es el volumen probable de usuarios, se estará prestando servicio a la Ciudad de Caracas con mas de 4 MM de habitantes sin contar al usuario local y al incremento de personas que se radicarán en Vargas y trabajarán en Caracas incentivando la construcción de viviendas.

Para la ejecución del proyecto en todas sus partes se propone la creación de una entidad autónoma con asignación de recursos propios por parte del Estado. Similar al Centro Simón Bolívar o Metro de Caracas.

Esta empresa será la encargada de ejecutar todos los proyectos necesarios y sus activos estarán representados por las obras que construya y administre directa o indirectamente o comparta bajo cualquier sistema factible con empresas privadas.

Según los recursos y prioridades los proyectos podrán dividirse en tramos independientes aunque entrelazados en un todo integrado y ser negociados y ejecutados de igual forma.

El tiempo de ejecución de la obra dependerá de cada tramo y de los recursos que se dispongan, el tramo principal entre Caracas y Vargas deberá ser prioridad y acometerse a la brevedad posible.

Este ejemplar se terminó
de imprimir en
Caracas
en
*octubre del año 2000,*
en
los talleres de
*Editorial Texto, C.A.*