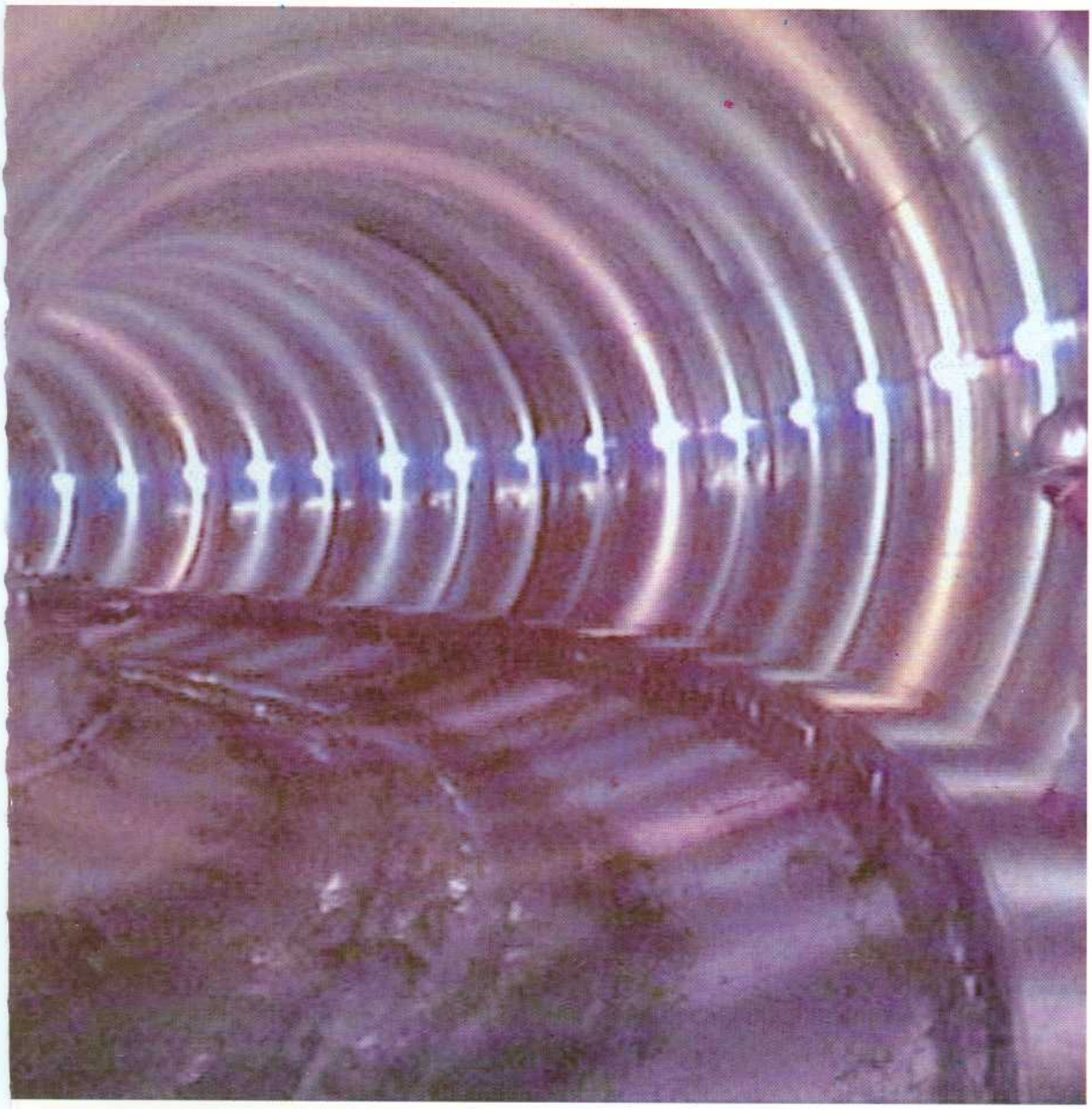
N°. 5 - 2001

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/publicaciones/tekhne.htm
E-mail: rahernan@ucab.edu.ve

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

tekhne

Revista de Ingeniería

Universidad Católica Andrés Bello
Facultad de Ingeniería

n° 5

Editorial 5

ESTUDIOS

1. Criterios de diseño del sistema de disipación sísmica en los viaductos del ferrocarril Caracas-Tuy Medio.
Robert Pérez H.(✞), José Nieto F. y Emilio Solorzano 7

2. Lo que no vió Stillman Drake en Galileo. Parte I.
Joseba A. Lascurain 15

3. Diseño de un plan para mejorar el sistema de comercialización de una compañía comercializadora de productos de consumo masivo con sus principales clientes.
Arazaty Etayo 23

4. Soluciones del medio continuo aplicables a perfiles de carga generalizables, a partir de la ecuación diferencial de Murashev, Sigalov y Baykov. Parte I.
Mario Paparoni y P. F. Hummelgens 41

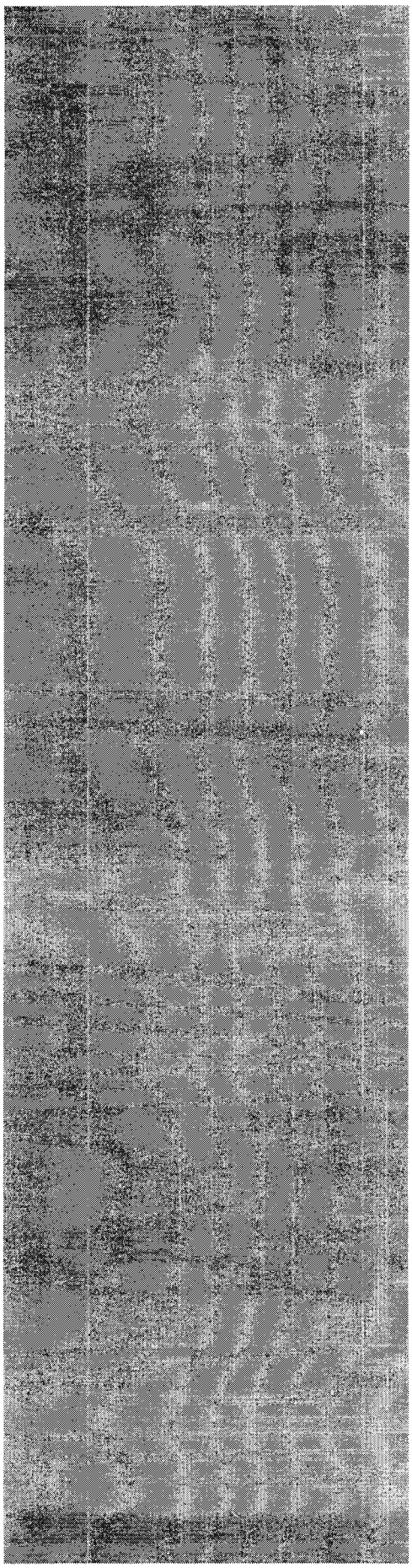
5. Estudio del equilibrio líquido-vapor de una solución acuosa no ideal. Sistema metanol-agua.
María Isabel López y Abraham Serruya 49

6. Estudios sobre los esfuerzos de adherencia desarrollados entre el acero y el concreto con cabillas de diámetro 3/8", 1/2", 5/8", 3/4", 1".
Alexander Cedeño y Jhonny González 55

7. Aplicación de las tecnologías CAD/CAE en el ámbito de la Ingeniería concurrente: caso de un equipo médico.
Orly Jacome Velázquez y Maximiliano Giunta 71

8. Influencia de la resistencia del concreto en el costo de los proyectos de edificaciones multifamiliares.
Alejandro O'daly y Domingo A. Radina 91

9. Diseño sismorresistente basado en el desempeño de las estructuras.
William Lobo Quintero 101



ARTÍCULOS

1. Flash: excelente herramienta para un multimedia educativo.
María Isabel López y Daniel Herrera 113

2. No al Hullabaloo y al Bruhaha.
José Grases 115

INFORMACIÓN GENERAL Y VARIOS

1. Ingeniería de Telecomunicaciones.
Mayra Narvaez 117

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

Las revistas técnicas son de vital importancia en las bibliotecas de las universidades para la consulta y actualización del universo de investigadores, docentes y estudiantes.

Es satisfactorio recibir comentarios sobre los artículos que aparecen en TEKHNE, señal de que es leída y analizada. Los estudiantes de nuestras Escuelas consideran un importante reto el que sus trabajos de grado sean aprobados con mención publicación, ya que ello significa aparecer en la revista de la Facultad.

El mundo de la ingeniería requiere la constante palestra de discusión e intercambio de información, con libertad de exposición y de dialogo. Las controversias están siempre servidas y son necesarias para contrastar las diversas opiniones de los expertos, de ahí que TEKHNE siempre ha sido y seguirá siendo ventana para la opinión, la dialéctica, la controversia y el crecimiento del universo de opinión dentro de la ingeniería.

En el transcurso de este año 2001 se cumplirán dos metas ansiadas por todos: la graduación de la primera cohorte de ingenieros informáticos en el mes de Noviembre y el inicio de la Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones en el mes de Octubre. Ambos acontecimientos son productos no del azar, sino del esfuerzo del equipo humano de la Facultad, que con metas claras y contando con los medios aportados por la Universidad ha logrado estos fines.

Esto es importante, ya que el lograr algo es muy diferente del querer hacerlo, el soñarlo o el planificarlo. Es básico planificar, es bueno soñar, pero es contundente el decir aquí esta el resultado, tangible y operativo.

Venezuela requiere de ingenieros con mentalidad emprendedora que logren alcanzar metas con optimismo, dedicación y honestidad. Este es el único camino del desarrollo: lograr que todos los venezolanos alcancen un empleo honesto y digno, remunerado con justicia, para la manutención y progreso de su familia.

Gracias como siempre a todos los que han colaborado en éste, el quinto numero de TEKHNE, y la invitación de siempre a participar en el próximo número.

Ing. Rafael Hernández Sánchez-Ocaña
Decano

Criterios de diseño del sistema de disipación sísmica en los viaductos del ferrocarril Caracas - Tuy Medio

Robert Pérez H.*(†), Jose Nieto F.**, Emilio Solorzano**

ASPECTOS GENERALES.

La línea ferroviaria La Rinconada-Cúa, actualmente en construcción, está situada en la región norte-central de Venezuela, cuya sismicidad se encuentra influenciada por la interacción entre las Placas Tectónicas del Caribe y América del Sur. El Estudio de Amenaza Sísmica (J. Grases, Coral 83), realizado para este proyecto, fundamenta la selección de los movimientos de diseño en la aceptación de una pequeña probabilidad de excedencia (7.5%) durante la vida útil del Sistema (70 años) equivalente a un período medio de retorno de 900 años. Para el control de daños selecciona eventos asociados a un período medio de retorno de 50 años, los cuales es probable que ocurran más de una vez durante la vida útil de las estructuras. Los viaductos y puentes son clasificados dentro del Grupo 1, al cual pertenecen las obras e instalaciones vitales para la operación del Sistema.

PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LOS MOVIMIENTOS RECOMENDADOS.

Los parámetros característicos de las zonas, aceleración horizontal máxima de la roca, velocidad y período de esquina, se resumen en la siguiente tabla:

ZONA	SISMO DE VERIFICACION			SISMO DE DISEÑO		
	A (gal)	V (cm/s)	Te (s)	A (gal)	V (cm/s)	Te (s)
Caracas – km 14	150	7	0.27	400	30	0.37
Km 14 - Cúa	125	6	0.27	360	25	0.34

EXCITACIÓN SÍSMICA.

La excitación sísmica queda definida por los parámetros característicos y las formas espectrales indicados en el Estudio de Amenaza, a partir de los cuales se construyen los espectros de respuesta elástica de cada componente (horizontal y vertical) para la zona de interés y el perfil del subsuelo correspondiente. Los viaductos de montaña de esta Línea son fundados en terrenos esencialmente constituidos por roca, esquistos predominantemente grafitosos blandos a duros, a los

(*) Universidad Católica Andrés Bello, PSN Ingeniería S.C. (**) PSN Ingeniería S.C.

que corresponde un GSI (Geological Strenght Index, E. Hoek) comprendido entre 20 y 40.

A partir del Espectro de Respuesta de las Aceleraciones Horizontales de Diseño se generaron cinco registros artificiales consistentes con dicho Espectro, utilizando el programa SIMQKE (MIT, Massachusetts, Gasparini-Vanmarcke), de 40 segundos de duración.

Los registros sísmicos reales (J. Grases, Coral 83) seleccionados para el análisis son representativos del área de interés, afectada por eventos tanto de fuentes cercanas como lejanas. Ellos son:

Evento Whittier, Estación Obregon Park, componentes 270 y 90, aceleración horizontal máxima 0.410g y 0.428g respectivamente, y 40 segundos de duración. Evento Landers, Estación Baker Fire Sta., componentes 140 y 50, aceleración horizontal máxima 0.11g en ambas direcciones, y 80 segundos de duración.

Los registros del evento Northridge, Estación Santa Mónica, componentes 90 y 360, aceleración horizontal máxima 0.883g y 0.370g respectivamente, 60 segundos de duración, se emplearon para algunas investigaciones particulares.

El grado de severidad de estos registros (artificiales y reales) se midió utilizando la Intensidad Instrumental propuesta por A. Arias:

$$Ia = (\frac{\pi}{2g})\int_0^{to} \ddot{u}_g^2(t)dt$$

y la Potencialidad Destructora (R. Araya y R. Saragoni) definida directamente proporcional a la intensidad de Arias e inversamente a la intensidad del número de cruces por cero del registro.

Principios Básicos.

Los Criterios de Diseño adoptados en el proyecto se basan en los siguientes principios:

- Evitar la ocurrencia de daños estructurales bajo las condiciones impuestas por el "Sismo de Verificación".
- Proteger a los tableros de los viaductos de la formación de articulaciones plásticas o falla de algunos de sus componentes para las condiciones impuestas por el "Sismo de Diseño".
- Proteger a los tableros de la pérdida de apoyo cuando ocurran los desplazamientos sísmicos asociados al "Sismo de Diseño".

Se ha previsto un Sistema Disipativo Pasivo (SDP) entre el tablero y la infraestructura (pilas y/o estribos), capaz de actuar a partir de un Umbral de Fuerzas Horizontales (U). Dicho Umbral se estableció, tal que sea permitida la operación normal de los trenes en ambas vías sin iniciarse la disipación. Por otra parte, se provee la capacidad de resistencia demandada por las fuerzas inerciales correspondientes al Sismo de Verificación mayoradas por 1.15.

$$U = 1.5*Hop,2t$$

Siendo Hop,2t los efectos debidos a las Fuerzas horizontales operativas de dos trenes

Estas condiciones particulares se realizan en vista de que las fuerzas horizontales nominales longitudinales y transversales debidas a la operación de los trenes en cada vía, determinadas de acuerdo con las normas que rigen el proyecto (UIC Code 776-1R), normalizadas por el peso permanente mas el removible y el de un tren (W) alcanzan una magnitud aproximadamente igual a 0.12 y 0.10 respectivamente.

Otros Aspectos en la Selección de los Aparatos de Apoyo

Esencialmente por razones directamente relacionadas con el soporte de la vía férrea no se emplean apoyos que permitan una condición de "flotación" del tablero (norma UIC Code 772-1R).

Otros aspectos no menos relevantes que han sido considerados en la selección, regulados por las normas, lo constituyen la durabilidad ante el ataque de agentes externos como los biológicos (insectos, hongos u otros), la alteración de las propiedades mecánicas debida a los efectos de envejecimiento del material y los cambios en las propiedades de los materiales originados por el calor e incrementos de temperatura durante el proceso de disipación histerética de la energía.

Aparatos de Apoyo Seleccionados

Las características de los aparatos de apoyo para los tableros de los viaductos de esta Línea se establecieron tomando en consideración el adecuado funcionamiento en todo momento bajo las condiciones impuestas por las cargas originadas durante la operación de los trenes, las previamente establecidas cuando ocurra un evento asociado al Sismo de Verificación, así

como la disipativa entre dicho estado y el producido por un evento asociado al Sismo de Diseño. Estas funciones pueden cumplirse incorporando elementos de sacrificio calibrados (fusibles), capaces de restringir los movimientos hasta alcanzarse el umbral U de rotura de los mismos, instante a partir del cual se iniciaría la disipación de la energía.

El esquema de vínculos de los tableros a la infraestructura (pila y/o estribo) es isostático y provee una condición de vínculo isotrópica en el plano horizontal.

Superado el Umbral de Fuerzas Horizontales, debido a la ocurrencia de un evento sísmico, la falla del fusible permitirá a los aparatos iniciar su función disipadora de energía, limitando la magnitud de las fuerzas horizontales transmitidas a la subestructura. El diseño de los aparatos prevé la accesibilidad para la sustitución de los elementos de sacrificio sin requerirse ser desmontados.

Investigaciones Experimentales

Dentro de programa de investigaciones contemplado en las Especificaciones Técnicas del Proyecto se estableció realizar pruebas sobre una mesa vibratoria de un modelo físico que incluyera un elemento de sacrificio. Las pruebas se llevaron a cabo en el ISMES (Bergamo), el modelo de un grado de libertad dinámico, masa 38765 kg y elemento disipativo tipo a escala natural caracterizado por un Fy igual a 43 kN, dy igual a 5 mm, dmax de diseño igual a 65 mm y relación rigidez plástica a elástica igual a 0.027.

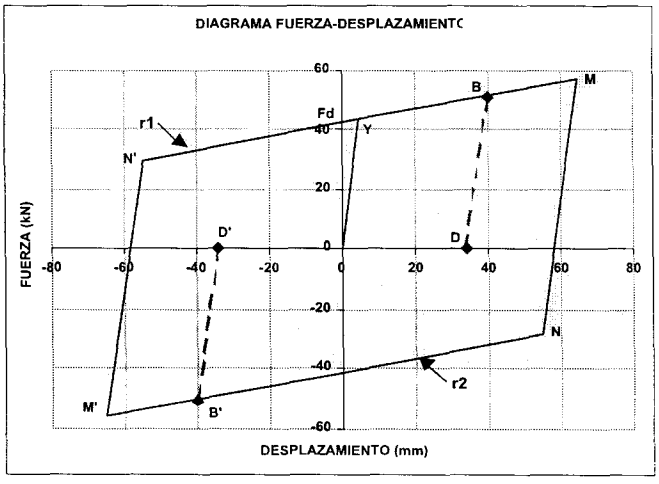
Las respuestas registradas durante la secuencia de pruebas realizadas sobre el mismo elemento disipativo indican un comportamiento estable, el cual puede observarse cuando se comparan los registros de desplazamiento de la masa en la quinta y sexta prueba para la misma señal de entrada (excitación AST1). Los diagramas fuerza-desplazamiento de la segunda y octava prueba confirman un comportamiento histerético estable.

Las propiedades de los elementos disipativos utilizados en el diseño se determinan mediante pruebas individuales de cargas reversibles cíclicas, para una amplitud de desplazamiento constante. El Eurocode 8-2, NEHRP Guidelines y otros incluyen este tipo de pruebas como medio de validación de las propiedades de diseño y coinciden en aclarar que dichas especificaciones no son consideradas como un estándar de pruebas de control de calidad de la fabricación.

Las propiedades de los elementos de sacrificio (fusibles), cuyo comportamiento debe tender a ser elástico-frágil, son determinadas mediante pruebas de carga monotónicas creciente.

Modelo Constitutivo

El modelo constitutivo del elemento de disipación pasiva se ha representado por la curva fuerza–desplazamiento transversal, su comportamiento es idealizado en forma bilineal. Los puntos donde se inicia la descarga, como el B o el M, así como aquellos donde se inicia la recarga (B'o M') están asociados a los valores máximos y mínimos de la función desplazamiento X(t), que ocurren cuando la velocidad de la respuesta es cero. De tal manera que, el paso de un proceso de carga a descarga o viceversa, dependerá muy especialmente de la excitación, como se desprende de la ecuación del equilibrio dinámico.



$$F = -m[\ddot{X}_g(t) + \ddot{X}(t)]$$

La figura muestra el lazo histerético asociado al máximo desplazamiento de diseño, representado por las coordenadas del punto M (Xmax, Fmax). El punto de corte de la recta r1 con el eje de las ordenadas corresponde al llamado Valor Característico de la Fuerza (Fd).

$$F_d = F_y + \gamma K_o X_y$$

El punto Y corresponde a la cedencia del material (Xy , Fy).

Ko: Rigidez Elástica (Fy/Xy)

γKo: Rigidez Post-elástica

Ecuación de la Recta r1:

$$F - F_y = \gamma K_u (X - X_y)$$

Ecuación de la Recta r2:

$$F + F_y = -\gamma K_u (X - X_y)$$

Las curvas fuerza-desplazamiento obtenidas experimentalmente no son exactamente reproducidas por el modelo constitutivo bilineal, Ozdemir propone un modelo general capaz de ajustarse más fielmente a los resultados experimentales.

Limitaciones del Modelo Constitutivo

Los modelos constitutivos representados por la clásica relación tensión-deformación que caracteriza el comportamiento de los metales en el rango inelástico cuando las cargas son aplicadas cíclicamente, no incluyen el concepto de falla. Sin embargo, los resultados experimentales indican que el material sujeto a la aplicación de ciclos reversibles de carga frecuentemente falla por fatiga, después de haber transcurrido un cierto número de ciclos (Nf). El mecanismo envuelve la formación e interconexión de microgrietas o fracturas que eventualmente conducirán a la falla. Cuando la falla ocurre para un número limitado de excursiones en el rango inelástico, el fenómeno se conoce como "fatiga de bajo ciclaje".

La relación entre la componente plástica de las deformaciones (Δεp/2) y el número de ciclos que conduce a la falla (2Nf) puede describirse mediante una ley de potencia como la propuesta por Mason-Coffin.

$$\frac{\Delta \varepsilon_p}{2} = \varepsilon'_f (2N_f)^c$$

El modelo de falla por acumulación de daño postula que en cada excursión al rango inelástico o ciclo de respuesta se impone un incremento del daño, el cual dependerá de la amplitud pico de la excursión. Cada ciclo sucedido impondrá un daño adicional, y la falla ocurrirá cuando sea alcanzado el 100% del daño. Cuando la amplitud de los ciclos es constante, se observa que cuanto mayor sea la amplitud menor será el número de ciclos necesarios para producir la falla.

Cuando la amplitud de los ciclos no es constante, como en el caso de la acción sísmica, se debe realizar alguna hipótesis adicional, como puede ser postular una acumulación de daño por fatiga del tipo lineal, regla de Palmgren-Miner, donde se dice que la falla ocurrirá cuando el daño D≥1.

$$D = \sum_i \frac{ni}{Nfi}$$

Donde ni es el número de ciclos de la respuesta cuya amplitud es igual a Ai, y Nfi el número de ciclos de dicha amplitud que conducirían a la falla por fatiga.

La vida útil del elemento disipativo dependerá muy especialmente de la máxima deformación de diseño seleccionada. Durante la ocurrencia de un terremoto severo, como el de diseño, no debe agotarse la vida útil del elemento disipativo, ya que las réplicas que comúnmente suceden después del evento impondrá un daño adicional.

Por esta razón, códigos como el Eurocode 8-2 y NEHRP Guidelines plantean la realización de ensayos de caracterización, y hacen un énfasis muy especial en el mínimo número de ciclos y amplitud que al menos deben cumplirse.

Análisis Dinámico

La estructura se modela en forma discreta mediante elementos finitos, usualmente unidimensionales y por un número de masas apropiado que definen las coordenadas asociadas a los grados de libertad dinámicos. El proceso de síntesis estructural conducirá al sistema de ecuaciones diferenciales del movimiento, cuya forma es bien conocida.

$$M\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = -M\{1\}\ddot{x}_g(t)$$

Donde *M*, *C* y *K* representan la matriz de masa, amortiguamiento y rigidez de la estructura.

En estructuras cuyo comportamiento es lineal, mediante el método de superposición modal, el problema puede reducirse a la determinación de los autovalores (***ωi***) y autovectores (***φi***) del sistema de ecuaciones. Mediante una transformación de coordenadas se desacopla dicho sistema, tal que se disponga de una ecuación para cada modo de vibración, cuya forma corresponda a la de un oscilador de un grado de libertad.

$$\ddot{y}_i(t) + 2\zeta_i \omega_i \dot{y}_i(t) + \omega_i^2 y_i(t) = -\Gamma_i \ddot{x}_g(t) = \ddot{y}_{gi}(t)$$

La respuesta yi(t) puede ser calculada mediante la integración de cada una de las ecuaciones correspondientes al modo *i*, evaluando la integral de Duhamel. La respuesta *x(t)* se determina mediante la superposición de las correspondientes a cada modo de vibración:

$$x_i(t) = \sum_{i=1}^{n} \phi_i y_i(t)$$

Otro procedimiento para determinar la respuesta sería el de emplear el espectro de pseudo-aceleraciones, cuyas ordenas *S(Ti, ζi)* corresponden al período natural *Ti* y a la relación de amortiguamiento *ζi*, que puede designarse por Si; tal que la máxima respuesta para cada modo *i* es expresada por:

$$x_i = (\frac{\Gamma_i}{\omega_i^2})\phi_i S_i$$

La respuesta más probable de la estructura viene dada por la combinación de las máximas respuestas de cada modo (***ri***) de vibración, la cual puede realizarse mediante la regla de combinación cuadrática completa conocida comúnmente por las siglas CQC.

La respuesta dinámica de estructuras no lineales debe preferentemente determinarse en el dominio del tiempo, mediante la integración directa del sistema de ecuaciones diferenciales del movimiento, utilizando algoritmos numéricos como el método β de Newmark o θ de Wilson. Este procedimiento también puede aplicarse a sistemas lineales, aun cuando ciertamente demandaría un mayor esfuerzo de cálculo.

De una manera general, los elementos de disipación pasiva pueden representarse por una función lineal del vector de aceleraciones, velocidades y desplazamiento.

$$R_{dp}\,x(t) = M_{dp}\,\ddot{x}(t) + C_{dp}\,\dot{x}(t) + K_{dp}\,x(t)$$

En ese caso las matrices de masa (*M*), amortiguamiento (*C*) y rigidez (*K*) serán iguales a la suma de las correspondientes a la estructura y al sistema de disipación pasivo.

$$M = M_{est} + M_{dp}$$
$$K = K_{est} + K_{dp}$$
$$C = C_{est} + C_{dp}$$

La forma de la ecuación del movimiento no se altera.

$$M\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = -M\{1\}\ddot{x}_g(t)$$

En particular, el sistema de disipación pasivo presentado puede ser representado como una función lineal del vector desplazamiento, ya que la masa y el amortiguamiento propio no es significativo.

Programas de computación como el DAIN-2DX (Kanaan y Powell, 1993), IDARC (Nagarajaiah, Reinhorn y Constantinou, 1991) y SAP2000 están orientados para aplicaciones en ingeniería estructural, mientras que para propósitos más generales se dispone de programas como ABAQUS, ADINA y NASTRAN. En general se fundamentan en el método de la aceleración constante. Del equilibrio dinámico se desprende:

$$[M]\{\Delta\ddot{x}\} + [C]\{\Delta\dot{x}\} + [K]\{\Delta x\} = \{\Delta P\}$$

$$[K^*] = [K] + \frac{2}{\Delta t}[C] + \frac{4}{\Delta t^2}[M]$$

$$g(\Delta x) = [M]\{\Delta\ddot{x}\} + [C]\{\Delta\dot{x}\} + [K]\{\Delta x\} - \Delta P = 0$$

$$[K^*]\{\Delta x\} = \{f^*(t_1)\}$$

$$[K^*]_{(n)} = (\frac{\partial g}{\partial x})_{(n)}$$

La solución de este sistema de ecuaciones no lineal se obtiene aplicando el método de Newton-Raphson.

El balance de la energía impuesta a la estructura por la excitación sísmica (***Eug***) viene dado por la suma de la contribución individual de la energía cinética relativa de la masa (***Ek***), la energía disipada por el amortiguamiento inherente a la estructura usualmente supuesto viscoso (***ED***), la energía de deformación (***Es***) y la energía del sistema de disipación pasivo (***Edp***).

$$\boldsymbol{Eug = Ek + ED + Es + Edp}$$

RESPUESTA DINÁMICA EN LA ETAPA DISIPATIVA

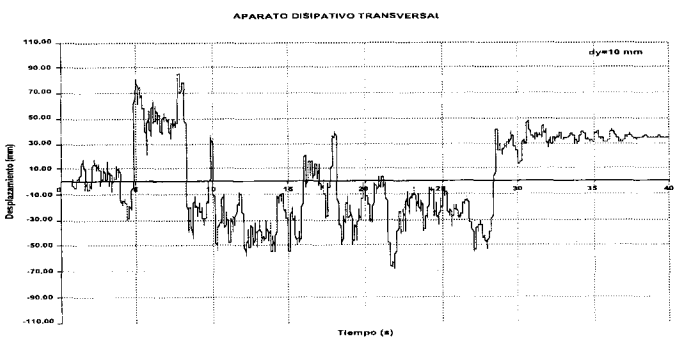
Se presentan los resultados del análisis realizado para un viaducto conformado por cinco (5) luces de 50 m, tablero de acero (dos vigas doble T) de sección compuesta para dos (2) vías, pilas de concreto armado de sección rectangular hueca cuya altura varía entre 20 y 35 m fundadas mediante pozos de 15 m de profundidad.

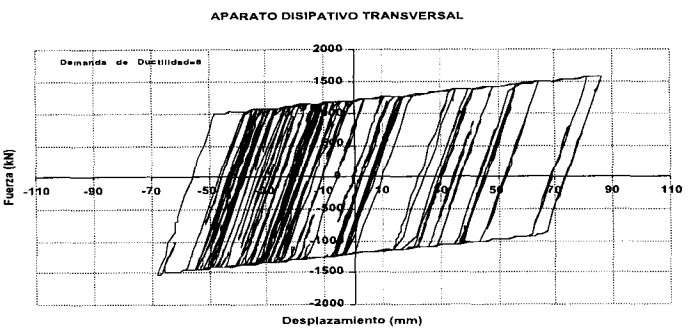
El tablero, las pilas y los pozos de fundación de los viaductos se modelaron mediante elementos finitos unidimensionales y masas discretas de comportamiento elástico lineal, mientras que los componentes de disipación pasiva (huso, spindle) fueron simulados por elementos de comportamiento elasto-plástico bilineal y las superficies de deslizamiento (PTFE) de los aparatos mediante elementos de comportamiento rígido-plástico perfecto. El medio circundante al pozo de fundación se incorporó en el modelo empleando para ello elementos de conexión simple (resortes) con comportamiento elasto-plástico perfecto.

El análisis dinámico no lineal en el dominio del tiempo, para la excitación sísmica representada por un registro acelerografico simulado, se realizó utilizando el programa DRAIN-2DX (Kanaan y Powell, 1993). Estos análisis permitieron establecer las demandas de resistencia y las máximas deformaciones.

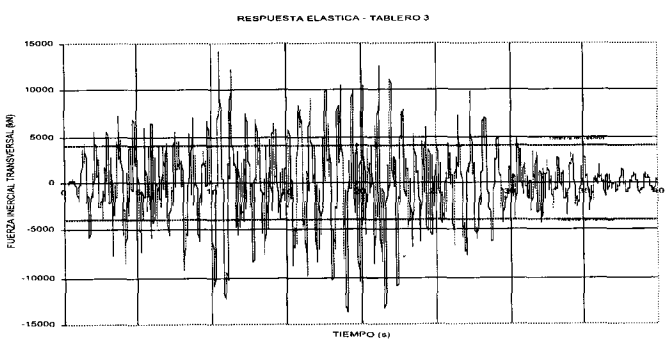
Para ilustrar la respuesta dinámica de los diferentes componentes estructurales se ha seleccionado un conjunto de resultados que permiten tal objetivo.

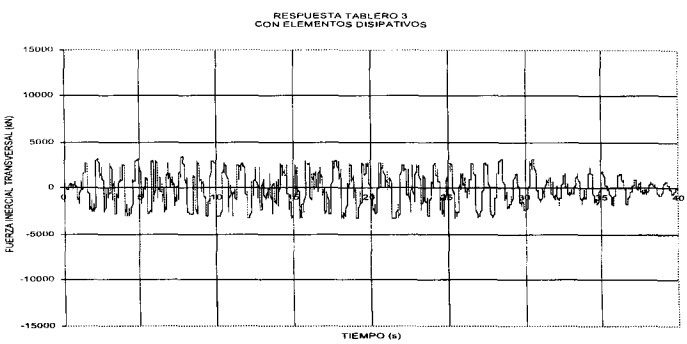
La respuesta de los elementos de disipación pasiva, en cualquiera de las direcciones (longitudinal o transversal), puede representarse mediante la historia de los desplazamientos o de las fuerzas, así como por el diagrama fuerza-desplazamiento. En la historia de las fuerzas se puede observar como la respuesta del sistema disipativo permite uniformar la magnitud de la misma. Seguidamente se muestran las figuras que ilustran estas formas de representación.



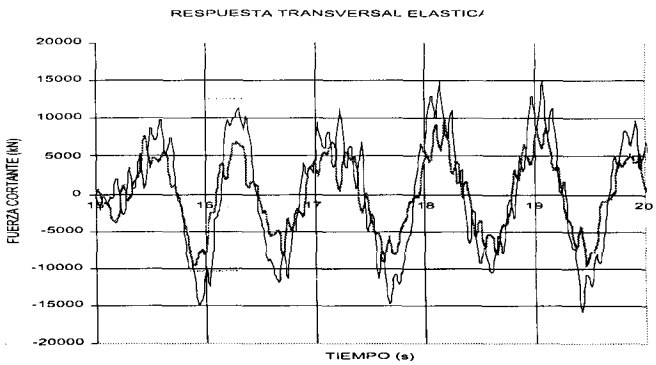


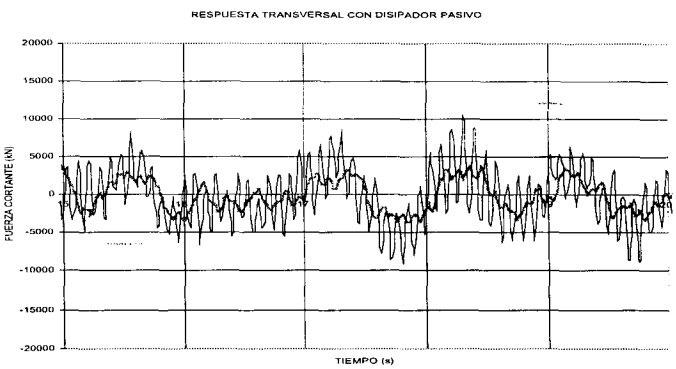
En las siguientes figuras se muestra la historia de la fuerza inercial total del tercer tablero, longitudinal y transversal, y se puede observar cómo mediante el medio de disipación pasiva se puede controlar la máxima magnitud de la misma. La respuesta elástica supera ampliamente el umbral establecido para el diseño.



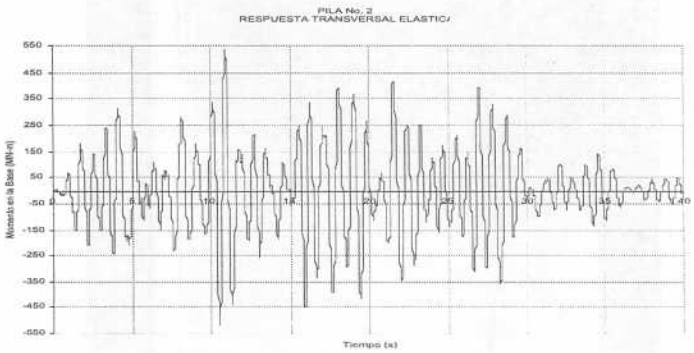


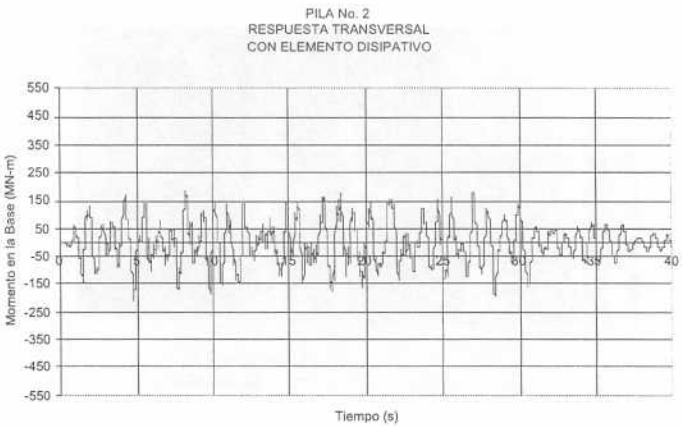
Las siguientes figuras muestran la historia de la fuerza corte en el tope y base de las pilas, transversales, entre 15 y 20 segundos. Se puede observar cómo la interacción entre los componentes estructurales y el medio de disipación pasiva permite controlar la máxima magnitud de la respuesta cuando se compara con la respuesta elástica.





Las siguientes figuras muestran la historia del momento flector en base de las pilas, en dirección transversal. Se puede observar cómo la interacción entre los componentes estructurales y el medio de disipación pasiva permite controlar la máxima magnitud de la respuesta cuando se compara con la respuesta elástica.

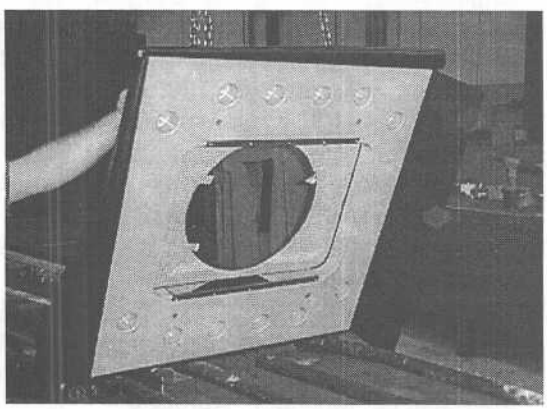


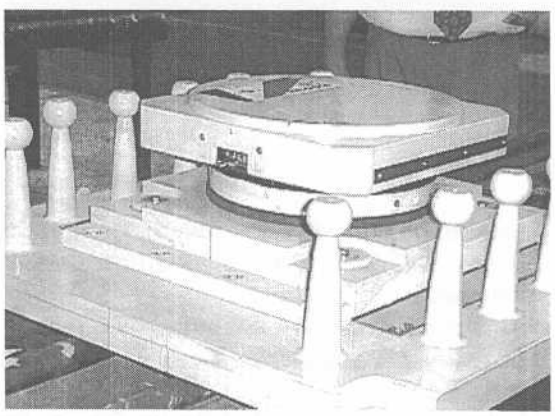


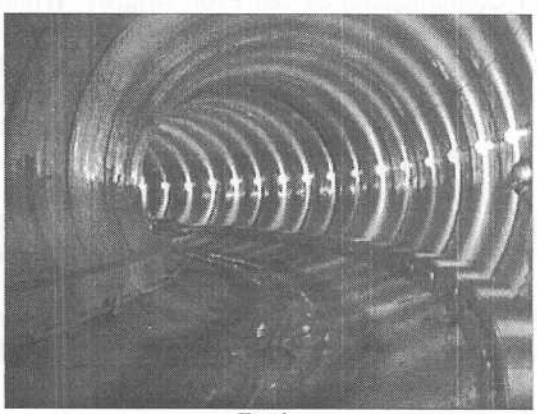
En la siguiente Tabla se comparan los valores máximos de la fuerza cortante y el momento flector en la base de las pilas que resultan del análisis dinámico correspondiente al viaducto con disipación pasiva, con los del análisis supuesto el comportamiento elástico y lineal.

RESUMEN PARA UN VIADUCTO

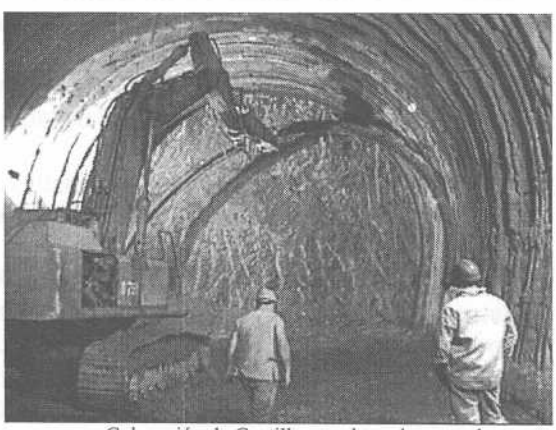
	RESPUESTA ELASTICA				*RESPUESTA CON DISIPACION PASIVA*			
	LONGITUDINAL		*TRANSVERSAL*		*LONGITUDINAL*		*TRANSVERSAL*	
	F. CORTANTE (kN)	*MOMENTO* (MN-m)	*F. CORTANTE* (kN)	*MOMENTO* (MN-m)	*F. CORTANTE* (kN)	*MOMENTO* (MN-m)	*F. CORTANTE* (kN)	*MOMENTO* (MN-m)
PILA No. 1	17076	319	21614	434	8177	169	8841	192
PILA No. 2	16114	281	18839	537	9161	209	10582	210
PILA No. 3	19432	307	15637	406	9976	193	8248	200
PILA No. 4	17481	318	19596	373	7660	129	7407	147



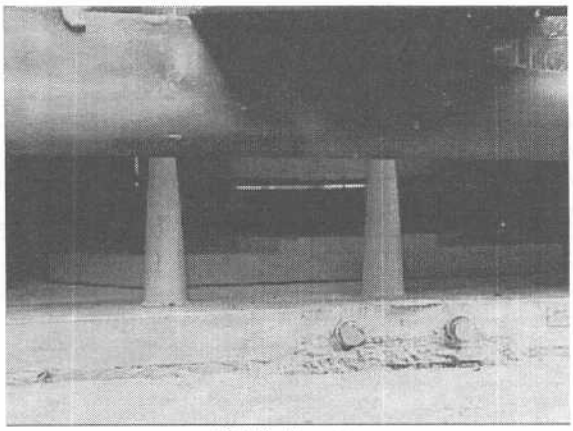




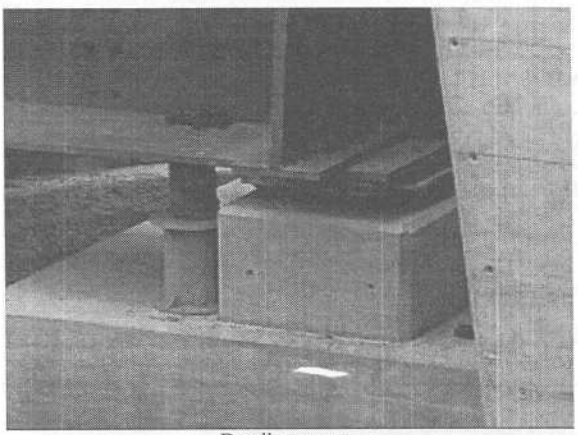
Tunel



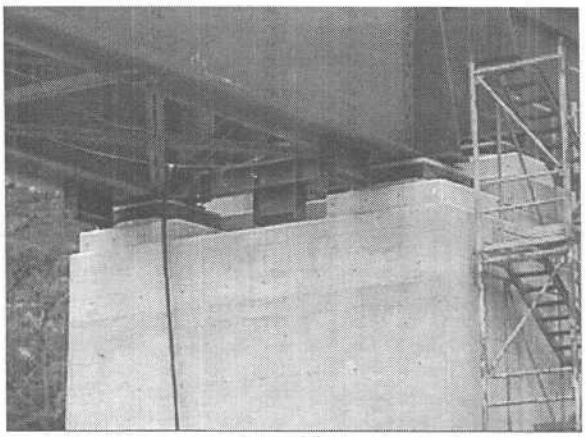
Colocación dc Costillas cn el tunel excavado



Detalle Apoyos



Detalle apoyos



Apoyo Vigas

Referencias

R-1. Loads to be considered in the design of railway bridges, UIC Code 776-1R, International Union of Railways.

R-2. Estudio de Amenaza Sísmica, J. Grases, A. Malaver y J. Manzanares, Coral 83, 1993, Consorcio Contuy.

R-3. Medidas de la Intensidad de un Sismo, Prof. Arturo Arias, Notas Curso Universidad Autónoma de México, 1975.

R-4. Capacidad de los Movimientos Sísmicos de Producir Daño Estructural, R. Araya y R. Saragoni, Universidad de Chile, 1980.

R-5. Criterios y Normas de Diseño para los Viaductos de los Tramos 3 y 4, PSN Ingeniería S.C., 1996, Consorcio Contuy.

R-6. Eurocode 8 - Design provisions for earthquake resistance of structures – Part 2: Bridges, 1996.

R-7. Eurocode 1- Basis of design and actions on structures – Part 3: Traffic loads on bridges, 1995.

R-8. Pseudodynamic and saking table tests on R. C. Bridges, ECOEST PREC 8, 1996.

R-9. Guide Specifications for seismic Isolation Design, AASHTO, 1998.

R-10. Finite Element Procedures, K. Bathe,1996.

R-11. Probabilistic Theory of Structural Dynamics, Y. K. Lin, 1967.

R-12. Rondom Vibration in Mechanical Systems, S. Crandall and W. Mark, 1963.

R-13. Dynamic of Structures, A. Chopra, 1995.

R-14. Seismic Design and Retrofit of Bridges, M. Priestley – F. Seible – G. Calvi, 1996.

R-15. Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering, T. Soong – G. Dargush, 1997.

R-16. Passive Energy Dissipation Systems for Structural Design and Retrofit, M. Constantinou - T. Soong – G. Dargush, 1998.

R-17. Manual DRAIN-2DX, Universidad de California, Berkeley.

R-18. Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials, R. Hertzberg, 1996.

R-19. Nonlinear Transient Dynamic Analysis of Yielding Structures, Ozdemir H.

R-20. Shape Memory Alloy Crossbracing of Brick Masonry Walls. Cyclic Test of Large Scale Model and Numerical Analyses, Bono F., Tirelli G., Verzeletti G., Molina J., Renda V.

R-21. Comunicaciones del Prof. Andrew Whittaker, Universidad de California, 1998.

R-22. Especificaciones Técnicas, Pruebas de Caracterización de los Aparatos de Apoyo, Viaductos Tramos 3 y 4 de la Línea Ferrea Caracas-Tuy Medio , PSN Ingeniería S.C., 1998, Consorcio Contuy.

R-23. Análisis de los resultados de las pruebas de los aparatos sobre la Mesa Vibrante, PSN Ingeniería S.C., 1998, Consorcio Contuy.

R-24. Proyecto del Viaducto N∞ 17, Línea Ferrea Caracas-Tuy Medio , PSN Ingeniería S.C., 1999, Consorcio Contuy.

Lo que no vió Stillman Drake en Galileo Parte I

Ing. Joseba A. Lascurain

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

Introducción

Este genio de la investigación histórico-científica, vino a ser uno de mis autores favoritos leyendo sus meticulosos artículos sobre las obras de Galileo, publicados a lo largo de los años en los substanciosos trabajos que suele divulgar Scientific American.

Haciendo una revisión por Internet y la conexión, vía Amazon.com , encontré hace pocos días que se le ha publicado a Stillman Drake hasta 29 obras sobre sus investigaciones y ensayos acerca de los trabajos científicos, religiosos, físicos, geométricos, astronómicos y filosóficos de Galileo.

Realmente son pocos los autores que pueden aportar tales indagaciones sobre la vida y los hechos de un solo hombre dedicado a la exploración de los fenómenos cientificos resaltantes de su época.

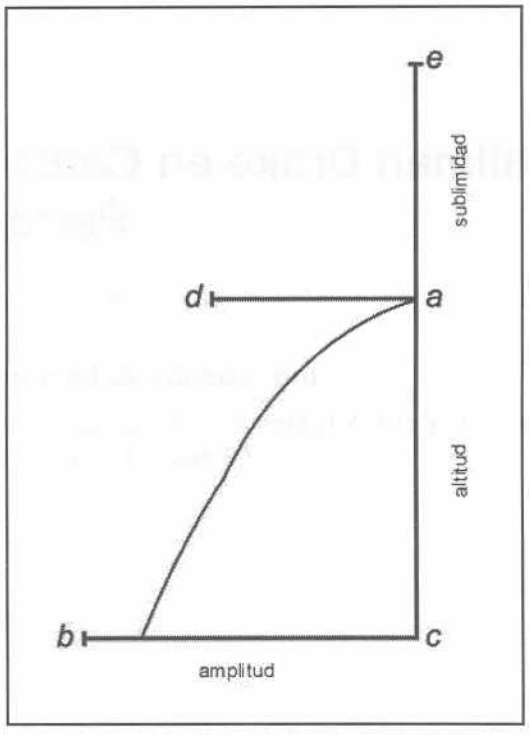
A las personas interesadas les debo indicar, que pueden encontrar una selecta lista de las obras de Stillman Drake en la bibliografía anexa a este artículo.

Para estimular las imágenes sobre los datos que sus documentos transmiten al curioso, en Diciembre del 2000, recibí un hermoso regalo que me devolvió el sentimiento de humanidad que aún trato de preservar, a pesar de los disgustos con mi personaje Galileo, al confrontar yo mismo información matemática que no parece confirmar todo lo que se ha dicho de bueno de Galileo Galilei. Leer el libro: ***Galileos´ Daughter: A Historical Memoir of Science, Faith and Love***, escrito por la famosa Dava Sobel autora de la renombrada obra ***Longitude***.

Como resultado de esa confrontación anímica, puse a funcionar mis recuerdos por algunas investigaciones realizadas sobre el curioso personaje, de manera que esta Parte I es la primera entrega de un buen número de cálculos y conclusiones inéditas sobre **Lo que no vió Stillman Drake en Galileo.**

Además, dedico este artículo a mi profesor en la UCAB para la cátedra de Filosofía de la Ciencia Dr. José Burgos, quien despertó en mi la curiosidad sobre los métodos aplicados para conocer la verdad científica y motivó aun más mi interés por Galileo.

Prefacio: Estudiando la obra póstuma de Galileo Galilei, publicada en Leyden en el año 1638, titulada "Diálogos sobre Dos Nuevas Ciencias", se encuentra en su CUARTO DIA del diálogo entre Sagredo, Salviati y Simplicio el tema: "el movimiento de proyectiles", el cual contiene el "Teorema II, Proposición III" con la siguiente defición referida al esquema adjunto: <<Se recuerda al lector que arriba he llamado a la línea ***cb*** "amplitud" de la semiparábola ***ab***; el eje ***ac*** de esta parábola, yo la he llamado su "altitud"; pero la línea ***ea*** la caida a lo largo que determina la velocidad horizontal yo la he llamado "sublimidad". Habiendo sido explicados estos asuntos yo procedo con la demostración>>.... les ruego a mis lectores que sigan leyendo!!!



La precisión de los cálculos Galileanos

Se realizó un análisis numérico comparativo del PROBLEMA. Proposición XII del cuarto libro (Cuarto día) de Galileo en sus *Diálogos sobre Dos Nuevas Ciencias* , debido a que en su demostración contiene tablas numéricas que permiten determinar la distancia (amplitud) y altura (sublimidad) de las semiparábolas que alcanzan los proyectiles, con la misma velocidad (impetur) inicial, en función de los ángulos de elevación que van de 1º a 90º (Ver extractos de la tabla en la copia de las pp. 287 y 288 de sus *Diálogos,* que siguen más adelante).

La idea detrás de este ensayo, era la de constatar la precisión de los cálculos contenidos en dicha tabla, con respecto a los resultados obtenidos usando un moderno programa Excel-97 en comparación efectuada en Diciembre de 1997.

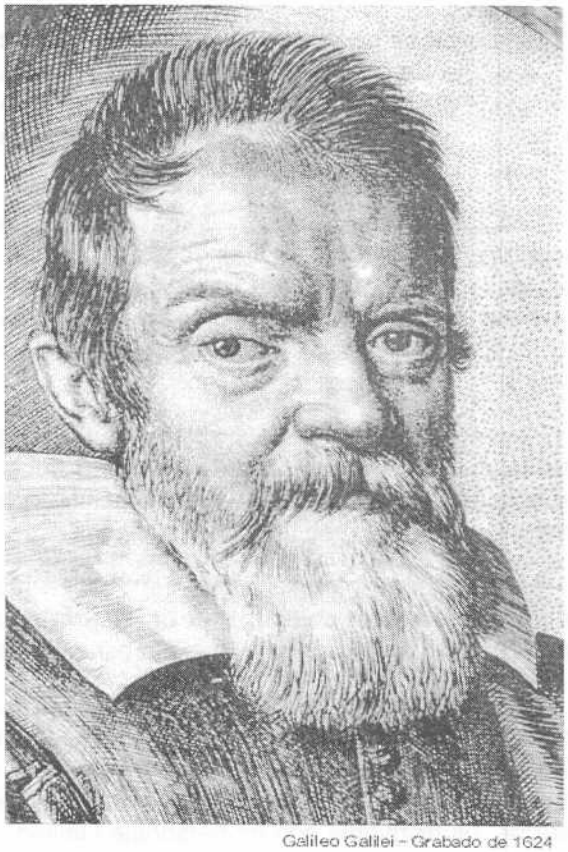
Los resultados y las diferencias encontradas tanto para la determinación de la Altitud y la Sublimidad, son realmente sorprendentes y se demuestra en las tres hojas de Excel-97 tituladas **"Tabla para calcular Altitudes y Sublimidades de Parábolas de constante Amplitud".** Publicada en Leyden en 1638 **.** Esta tabla, contiene las columnas A, B, C, D, E, F, y G las cuales muestran los siguientes valores:

1) Columna A (Angulo de Elevación **å**, en grados) de la trayectoria del lanzamiento de un proyectil). Viene a ser el ángulo que forma la tangente localizada en el punto de impacto en el piso de un cuerpo lanzado con la misma velocidad inicial desde el apex de la semiparábola.

2) Columna B (Altitude Excel-97 en unidades) están dados los valores correspondientes a la función trigonométrica = **TAN(π x å /360) x10.000** (según lenguaje matemático del programa Excel-97). De la misma manera la Columna C contiene los valores de la **Sublimidad = (1/2 Amplitud)²/ Altitud**

3) Columna D y Columna E están dados los valores de Altitud (Altitude) y Sublimidad (Sublimity), calculados por Galileo y transcritos por medio de lectura óptica para evitar error humano de lecturas.

4) Columna F contiene las diferencias entre los valores calculados en la columna B (Excel) y la columna D(Galileo) y la Columna G que contiene las diferencias entre los valores de la columna C (Excel) y la Columna E (Galileo)



Galileo Galilei - Grabado de 1624

Ver Proposición XII en el libro titulado *Two New Sciences by Galileo*, Dover Publications Inc, New York (First publication 1954) <<Para computar y tabular las amplitudes de todas las semiparábolas que son descritas por proyectiles lanzados con la misma velocidad>> pp.301 de la obra publicada por MacMillan Company, traducida por Henry Crew y Alfonso de Savio.

TABLA PARA CALCULAR ALTITUDES Y SUBLIMIDADES DE PARABOLAS						
Tabla para obtener Altitudes y Sublimidades de Parábolas de constante Amplitud, es decir 10.000 unidades, calculadas para cada grado de elevación según Excel 97 y Galileo 1635						
A	B	C	D	E	F	G
° Angulo	Excel Dic 97	Excel Dic 97	Galileo	Galileo	Diferencia	Diferencia
Elevación	Altitude	Sublimity	Altitude	Sublimity	Alt[(B)-(D)]	Sub[(C)-(E)]
1	87	286450	87	286533	0	-83
2	175	143181	175	142450	0	731
3	262	95406	262	95802	0	-396
4	350	71503	349	71531	1	-28
5	437	57150	437	57142	0	8
6	526	47572	525	47573	1	-1
7	614	40722	614	40716	0	6
8	703	35577	702	35587	1	-10
9	792	31569	792	31565	0	4
10	882	28356	881	28367	1	-11
11	972	25723	972	25720	0	3
12	1063	23523	1063	23518	0	5
13	1154	21657	1154	21701	0	-44
14	1247	20054	1246	20056	1	-2
15	1340	18660	1339	18663	1	-3
16	1434	17437	1434	17405	0	32
17	1529	16354	1529	16355	0	-1
18	1625	15388	1624	15389	1	-1
19	1722	14521	1722	14522	0	-1
20	1820	13737	1820	13736	0	1
21	1919	13025	1919	13024	0	1
22	2020	12375	2020	12376	0	-1
23	2122	11779	2123	11778	-1	1
24	2226	11230	2226	11230	0	0
25	2332	10723	2332	10722	0	1
26	2439	10252	2439	10253	0	-1
27	2548	9813	2547	9814	1	-1
28	2659	9404	2658	9404	1	0
29	2772	9020	2772	9020	0	0
30	2887	8660	2887	8659	0	1
31	3004	8321	3008	8336	-4	-15
32	3124	8002	3124	8001	0	1
33	3247	7699	3247	7699	0	0
34	3373	7413	3373	7413	0	0
35	3501	7141	3501	7141	0	0
36	3633	6882	3633	6882	0	0
37	3768	6635	3768	6635	0	0
38	3906	6400	3906	6395	0	5
39	4049	6174	4049	6174	0	0
40	4195	5959	4196	5959	-1	0
41	4346	5752	4346	5752	0	0

42	4502	5553	4502	5553	0	0
43	4663	5362	4662	5362	1	0
44	4828	5178	4828	5177	0	1
45	5000	5000	5000	5000	0	0
46	5178	4828	5177	4828	1	0
47	5362	4663	5363	4662	-1	1
48	5553	4502	5553	4502	0	0
49	5752	4346	5752	4345	0	1
50	5959	4195	5959	4196	0	-1
51	6174	4049	6174	4048	0	1
52	6400	3906	6399	3906	1	0
53	6635	3768	6635	3765	0	3
54	6882	3633	6882	3632	0	1
55	7141	3501	7141	3500	0	1
56	7413	3373	7413	3372	0	1
57	7699	3247	7699	3247	0	0
58	8002	3124	8002	3123	0	1
59	8321	3004	8332	3004	-11	0
60	8660	2887	8600	2887	60	0
61	9020	2772	9020	2771	0	1
62	9404	2659	9403	2658	1	1
63	9813	2548	9813	2547	0	1
64	10252	2439	10251	2438	1	1
65	10723	2332	10722	2331	1	1
66	11230	2226	11230	2226	0	0
67	11779	2122	11779	2122	0	0
68	12375	2020	12375	2020	0	0
69	13025	1919	13025	1919	0	0
70	13737	1820	13237	1819	500	1
71	14521	1722	14521	1721	0	1
72	15388	1625	15388	1624	0	1
73	16354	1529	16354	1528	0	1
74	17437	1434	17437	1433	0	1
75	18660	1340	18660	1339	0	1
76	20054	1247	20054	1246	0	1
77	21657	1154	21657	1154	0	0
78	23523	1063	23523	1062	0	1
79	25723	972	25723	972	0	0
80	28356	882	28356	881	0	1
81	31569	792	31569	792	0	0
82	35577	703	35577	702	0	1
83	40722	614	40222	613	500	1
84	47572	526	47572	525	0	1
85	57150	437	57150	437	0	0
86	71503	350	71503	349	0	1
87	95406	262	95405	262	1	0
88	143181	175	143181	174	0	1
89	286450	87	286499	87	-49	0

Ahora bien, la pregunta que nos hicimos fue: ¿Cómo pudo Galileo, calcular y verificar los resultados contenidos en su tabla con los procedimientos matemáticos a su alcance en la época?

Se consideraron las siguientes Hipótesis:

1) La preparó, calculó y verificó directamente sin ayuda de ningún tipo de Tablas numéricas

2) La preparó utilizando cálculo aritmético/geométrico con la ayuda de Tablas logarítmicas.

3) La preparó utilizando cálculo aritmético/geométrico con la ayuda de Tablas trigonométricas, ampliamente usadas en la época

De estas Hipótesis y otras consideraciones

Sobre la Hipótesis primera:

Nos resulta inverosímil que Galileo, a punto de quedar totalmente ciego, pudiera haber calculado todos y cada uno de los pasos necesarios para llegar a obtener los resultados analizados. Además hay que considerar que, si era tan meticuloso, debía haber usado alguna tabla, genuinamente confiable, comparativamente fácil de utilizar, y con su auxilio verificar los resultados obtenidos.

¿Cómo resolvía esto?. La historia señala en su biografía, que Vincenzo Viviani entró al servicio de Galileo en 1639, Evangelista Torricelli fue contratado en 1641, Galileo se encontraba mal de la vista; en el año 1637 pierde la visión total del ojo derecho y al año siguiente queda totalmente ciego. Su hijo Vincenzo se mantuvo a su lado hasta su muerte Su última obra se publicó en Leyden en 1638 (En el año 1637 estaba terminada pero le faltaba el título, la dedicatoria y el índice) y el año 1639 publican una traducción al Francés.

Quiénes y cómo ayudaron en los minuciosos cálculos, tan largos y <<tediosos-según sus propias palabras>> para esa época?, No resulta plausible esta primera Hipótesis.

Sobre la Hipótesis segunda:

Aquí tenemos que considerar que fue el matemático John Napier quien en su obra *Canonis Descriptio,* 1614 publicó las primeras tablas logarítmicas. Henry Briggs efectuó la primera compilación de la tabla de logaritmos comunes (es decir con base 10)

La forma de calcular los logaritmos en la época y construir las tablas consistía en calcular los valores entre dos exponentes en intervalos muy cortos para obtener el número requerido, así pues: $10^0 = 1$ $10^1=10$ $10^2=100$ etc. De manera que para obtener, por ejemplo, el logaritmo de 2 = 0,3010300 (y se requerían 7 decimales para lograr buenos cálculos astronómicos) había que ir reduciendo poco a poco los exponentes de la base hasta lograr igualar el resultado al número deseado. Claro está que una vez conocido el logaritmo, en forma tabulada, las operaciones aritméticas fundamentales de multiplicar y dividir, y extracción de raíces se simplificaban enormemente, obteniendo en las mismas tablas el antilogaritmo de las sumas o restas de los logaritmos involucrados, y por consiguiente las respuestas deseadas. Además este conjunto de valores, eran: verificables, constantes, y de aplicación eterna. ¡¡Qué labor tan agotadora, tesonera y admirable la de los calculistas!!!

La tabla más antigua de logaritmos con siete cifras fue la de Sherwin, publicada en Londres en 1705 y contenía los logaritmos desde el número 1 al 101.000 y, además, incluía los valores de senos, cosenos y tangentes de ángulos con intervalos de minuto a minuto y sus logaritmos correspondientes. Gardiner en el año 1741 preparó una tercera edición de las tablas de Sherwin con intervalos de 10 a 10 segundos.

Hasta nuestros días de estudiantes de ingeniería (mitad del siglo XX) utilizamos las tablas de logaritmos del Baron von Vega en su 40va edición. Eran tan precisos estos cálculos que una comparación con el *Thesaurus logarithmorum* de von Vega hecha por Lipsiae en 1794 *Thesaurus logarithmorunm completus* dejó fuera aquellos logaritmos que consideró dudosos, con 10 decimales de precisión y terminaran en 500, de manera que fueron recalculados hasta con 15 decimales .

Volviendo a nuestro Galileo , es difícil pensar que éste pudiera haber refinado de tal manera su minuciosidad que reprodujera sus propias tablas logarítmicas y/o trigonométricas. En consecuencia,, como las tablas de logaritmos de Napier se publicaron muy cerca de la fecha de publicación de los *Diálogos* deja firme la duda si las usó directamente.

Por último, estas reflexiones parecen señalar que Galileo no pudo utilizar tablas logarítmicas integradas con funciones trigonométricas; estas últimas, de antiquísima data, como demostraremos en la hipótesis tercera que sigue a continuación.

Sobre la Hipótesis tercera:

La reducción histórica, nacimiento y evolución, de las tablas trigonométricas es admirable y fascinante; he aquí su secuencia:

Cerca del año 150 A.C, Hiparco* logró resolver triángulos con una tabla trigonométrica que obtenía las cuerdas de la circunferencias. Su tabla se iniciaba con el ángulo 7 1/2 º y en 48 pasos llegaba hasta los 360º. Esta tabla es equivalente a la moderna función seno(x). El valor del radio de la circunferencia aplicada a su tabla no fue conocido; pero 300 años más tarde, Pitágoras tomó un radio igual a 60, porque los griegos habían adoptado la geometría Babilónica y la cifra de 60.

El *Almagest* de Tolomeo contiene una tabla similar a la de las cuerdas con ángulos de 0º a 180º y pasos de medio grado y con precisión de 1/360 de una unidad, y explica el método para construir la tabla, así como instrucciones para obtener otras partes de los triángulos, y llegó a resolver valores de los triángulos esféricos.

Por años y siglos, la trigonometría fue el curso introductorio en la enseñanza de la astronomía en el continente europeo.

Adelante en el tiempo, los Musulmanes, herederos de la tradición griega, y también los Hindúes, escogen la función seno en el siglo VIII. y para finales del siglo X ya habían completado tablas de las seis funciones trigonométricas: seno, coseno, tangente, cosecante, secante y cotangente, que las utilizaban para determinar la dirección de la Meca. Además cambiaron su estructura, al tomar el radio de la circunferencia igual a una (1) unidad, en lugar del radio igual a 360, y fueron tablas de una gran precisión. En el poniente de Europa se inició, en el siglo XII, un movimiento de avance en trigonometría usando estas tablas .

El astrónomo alemán Johann Müller introdujo el concepto de función trigonométrica como relaciones, en lugar de longitudes de ciertas líneas.

El francés François Viète intodujo en la trigonometría esférica el triángulo polar y creó fórmulas (expresiones en lugar de ecuaciones) que resolvían las funciones de seno (nq) y de sus potencias. A comienzos del siglo XVII, John Napier construyó tablas logarítmicas y escribió 10 reglas para calcular ángulos esféricos.

Newton, casi un siglo después (XVIII) representa las funciones trigonométricas como conjuntos en series de potencias de "X" y encontró las series que resuelven los: seno (X) coseno (X), y tangente (X) .

Leonhard Euler las representa en números complejos, de manera que la trigonometría, viene a ser un manifestación más de la teoría de los números complejos y consecuencia de la aritmética de tales números.

Hoy día, a fines del siglo XX, la trigonometría queda encartada en otro capítulo importante de los avances logrados en matemáticas, al fundirse con la teoría de las geometrías no-Euclidianas (años 20 del siglo XIX) del ruso Lobachevsky , el alemán Riemann y el húngaro Bolyai... su relación con la geometría diferencial, y a la comprensión de la teoría de la relatividad general y especial de Einstein, con sus espacios (manifolds) cuatri dimensionales y sus consecuencias sobre las más recientes teorías unificadas de las fuerzas (Ashtekar, Abhay (Hindú)- Una nueva forma de la teoría de la Relatividad , oficialmente publicada en 1986, y la teoría de los espacios texturados de lazos de Ashtelkar, Rovelli y Smolin, en la última década del siglo XX.

A dónde vamos a parar.....?

Como resultado de este análisis, cabe suponer con mayor posibilidad de acercamiento a la verdad histórica, que Galileo utilizó tablas trigonométricas, ampliamente conocidas en ese entonces- como lo hemos demostrado- en alguna fase de sus cálculos aplicadas a la determinación de las trayectorias de los proyectiles, Es curioso sin embargo, que en los *Diálogos* (que según carta a Belisario Vita (7/5/1610) menciona que tiene elaborados numerosas piezas de tres libros sobre una nueva ciencia dedicada a la teoría del movimiento) y que luego, 28 años después, completó con la obra más importante de su vida, **y que contiene 313 páginas, no haya una sola palabra sobre logaritmos ni de trigonometría. Sin embargo hay una sola pista .....**

En la página 282 del libro Two New Sciences by Galileo (Dover Publications, Inc, New York 1954) al desarrollar el PROBLEMA: Proposición II está escrito lo siguiente (el subrayado es nuestro):

<<Supongamos que 10.000 es la mayor amplitud para una parábola cuyo ángulo de elevación es 45º;

(*) Hiparco fue un brillante astrónomo griego (190 a 120 A.C) quién, entre otras notables proezas, calculó el ángulo de la eclíptica de la tierra. Calculó el año tropical, la precesión de los equinoccios, la longitud del año medida desde el sol (con apenas 6,5 minutos de diferencia). Clasificó y calculó el brillo de unas 1000 estrellas del firmamento. Sus tablas trigonométricas fueron incluidas por los astrónomos de su época, tal como en el *Almagest* de Tolomeo en Alejandría.

ésta, entonces será la longitud de la línea ***ba*** y la amplitud de la semiparábola ***bc***. Este número, 10.000, es seleccionado porque en estos cálculos nosotros hemos empleado una tabla de tangentes en la cual este es el valor de la tangente de 45º >> (El subrayado es nuestro),

Ecolo qui. ¡¡ Jerónimo!!

Con este encuentro se confirma nuestra Hipótesis tercera, y con ella se puede concluir el análisis acerca de la Precisión de los cálculos de Galileo.

Conclusiones

En la tabla se observa que la precisión del cálculo de la Altitud usando Excel 97 versus Galileo 1635 es la siguiente :

1) De un total de 89 valores hay 5 errores importantes en la columna F de la Tabla Galileana

(No se tomó en cuenta los 90º)

2) Aquí hicimos un descubrimiento que posíblemente nadie lo había detectado: Para los ángulos comprendidos entre 59º y 89º lo que parece un error de cálculo Galileano no lo es tal (Los 5 errores en la columna G en la tabla comparativa se detectaron para los ángulos de 59º, 60º, 70º, 83º y 89º) son errores de **transcripción de/a los grabadores de las planchas Gutenberg - o del mismo Galileo**, que han ido cabalgando en el tiempo, desde el momento de su publicación el año 1635 hasta nuestros días.

La razón de ser de esta conjetura robusta, es porque para obtener la columna F Galileana que determina las Sublimidades, Galileo utilizó los valores calculados, correctamente, de las amplitudes entre 59º y 89º que, por otra parte, están perfectamente bien calculados según la comparación demostrada en la columna G.

3) Galileo se equivocó en el cálculo de la Sublimidad de las semiparábolas para ángulos de tiro comprendidos entre 1º y 16º, entre los que se encuentran 15 valores malos de un total de 89 valores transcritos.

4) Así fueron las precisiones y las imprecisiones de los cálculos de Galileo !!

Bibliografía de algunas obras de Stillman Drake

- Galileo: A Very Short Introduction.
- Galileo.
- Galileo at Work.
- Galileo Galilei.
- Cause, Experiment, and Science.
- Cause, Experiment, and Science: A Galilean Dialogue, Incorporating a New English Translation of Galileo´s Bodies That Stay Atop Water, or Move in It.
- On Motion & on Mechanics (medieval Science Publication Series).
- Dialogue Concerning the Two Chief Wold Systems: Ptolemaic and Copernican, 1967.
- Galileo Studies, Personality, Tradition and Revolution, 1970.

- Discoveries and Opinions of Galileo: Including the Starry Messenger (1610) Letter to the Grand Duchess Christina.
- Telescopes, Tides and Tactics: A Galilean Dialogue About the Starry Messenger and Sistems of the World, 1983.
- History of Free Fall: Aristotle to Galileo, With an Epilogue on Pi in the Sky, 1989
- Nature, Experiments and the Sciences: Essays on Galileo and the History of Stillman Drake (Boston Studies in the Philosophy Of), 1990.
- Galileo: Pioneer Scientist , 1994.
- Galileo at Work: His Scientific Biography, 1995.
- Dialogue Concerning the Two Chief World Systems (Physics).
- Galileo, Science and the Church, 1998.
- Galileo (Past Masters Series).
- Mechanics in Sixteenth Century Italy.

Diseño de un plan para mejorar el sistema de comercialización de una compañía comercializadora de productos de consumo masivo con sus principales clientes

Ing. Arazaty Etayo

Introducción

En los últimos años, se ha observado en el comercio un crecimiento considerable en la demanda de los productos de consumo masivo, además de la creciente competencia en los diversos sectores del mercado. Muchas de las compañías se han dado cuenta de la importancia de tener en sus anaqueles productos variados, con una selección y lugar adecuado. Es por ello que las empresas de consumo masivo buscan cada vez más estrategias y herramientas para tener una presencia más destacada en los puntos de venta.

Estas inquietudes, han dado origen a un movimiento que ha surgido a nivel mundial en la Industria de productos de Consumo Masivo como respuesta a la demanda creciente de los consumidores, el cambio hacia ambientes más competitivos y los vertiginosos cambios de tecnología.

Este movimiento se define como E.C.R. (Efficient Consumer Response). Es una filosofía de negociación ganar- ganar que permite a los fabricantes, proveedores y detallistas trabajar en conjunto para lograr la reducción de procesos que no generan valor agregado en la cadena comercial de modo de satisfacer mejor, más rápido y a menor costo los deseos del consumidor.

En la actualidad son varias las compañías a nivel mundial que han empezado a trabajar en proyectos de ECR (Respuesta Eficiente al Consumidor). Cualquiera de las opciones que las empresas tomen es comprensible, teniendo en cuenta que cada compañía en su interior, de acuerdo con sus conocimientos y habilidades, determina diferentes caminos para llegar a un objetivo y al que todas quieren llegar: tener una posición y participación relevante en el mercado, un excelente manejo de los recursos y una rentabilidad adecuada.

Algunas de las principales compañías de consumo masivo y los principales detallistas, han decidido formar parte de ésta iniciativa, la cual comenzó en Venezuela en noviembre de 1999.

Objetivos

- Diseñar un plan de mejora a ser utilizado por una Compañía Comercializadora de productos de consumo masivo y sus principales Cadenas considerando los siguientes aspectos:

1. Traslado y Almacenamiento del producto terminado.
   a) Canales de distribución utilizados.
   b) Proceso para el despacho de los productos.
   c) Evaluación de las rutas y tiempos de entrega para el despacho de los productos requeridos en los puntos de venta / Centro de Distribución de los clientes.
2. Sistemas de Apoyo Logístico.
   a)Control de Inventarios.
   b)Clasificación y codificación de los diferentes productos terminados.

c)Almacén (infraestructura, manipulación de los productos).

3. Sistema de Apoyo al Cliente.
   a) Atención Comercial.
   b) Integración con los clientes.
4. Tiempos de respuesta para la colocación del material requerido en los puntos de venta.

- Señalar el conjunto de conclusiones y recomendaciones al sistema propuesto.

Metodología general

En el presente Trabajo Especial de Grado, la metodología utilizada para el estudio del sistema de comercialización de una compañía comercializadora de productos de consumo masivo con sus principales cadenas de autoservicio, fue la siguiente:

Como primer paso, se determinó cuál era la información necesaria y relevante que involucra las etapas de un sistema de comercialización. Se analizó dentro de este esquema los procesos intermedios y el flujo de productos físicos e información asociada.

Luego de determinar la información que se requiere para el estudio, se procedió a definir las fuentes para la recopilación de la misma. Como fuentes primarias para la obtención de información se consideraron los siguientes elementos: Al Centro de Distribución de la compañía, el cual trabaja como outsourcing, y a los Departamentos de Operaciones y Ventas. Las fuentes secundarias para obtener información fueron las siguientes: EAN Venezuela[1]y PricewaterhouseCoopers[2] como empresas asesoras de la iniciativa ECR en Venezuela, además de los Departamentos de Sistemas y Trade Marketing de la compañía.

Seguidamente, se diseñaron las herramientas para la recopilación de información, las cuales abarcaron:

Entrevistas realizadas al Gerente del Almacén de la compañía, a la Supervisora del Departamento de Atención Comercial, y a las principales Cadenas de autoservicio de la compañía.

Visitas a los Centros de Distribución de los principales clientes, en donde se observó cómo se realiza el proceso de descarga de los productos de la compañía.

Se trabajó con la herramienta denominada Scorecard, elaborada por Pricewaterhouse Coopers, para la evaluación de los procesos internos de la empresa, así como la medición del desarrollo de las relaciones comerciales entre socios comerciales.

Marco teórico

E.C.R (efficient consumer response)

Antecedentes

La iniciativa de ECR comenzó en los Estados Unidos en el año de 1993. Las razones principales de esta iniciativa fueron la respuesta a varias condiciones del mercado y el incremento de consumidores sofisticados y exigentes. Entre las exigencias se tienen:

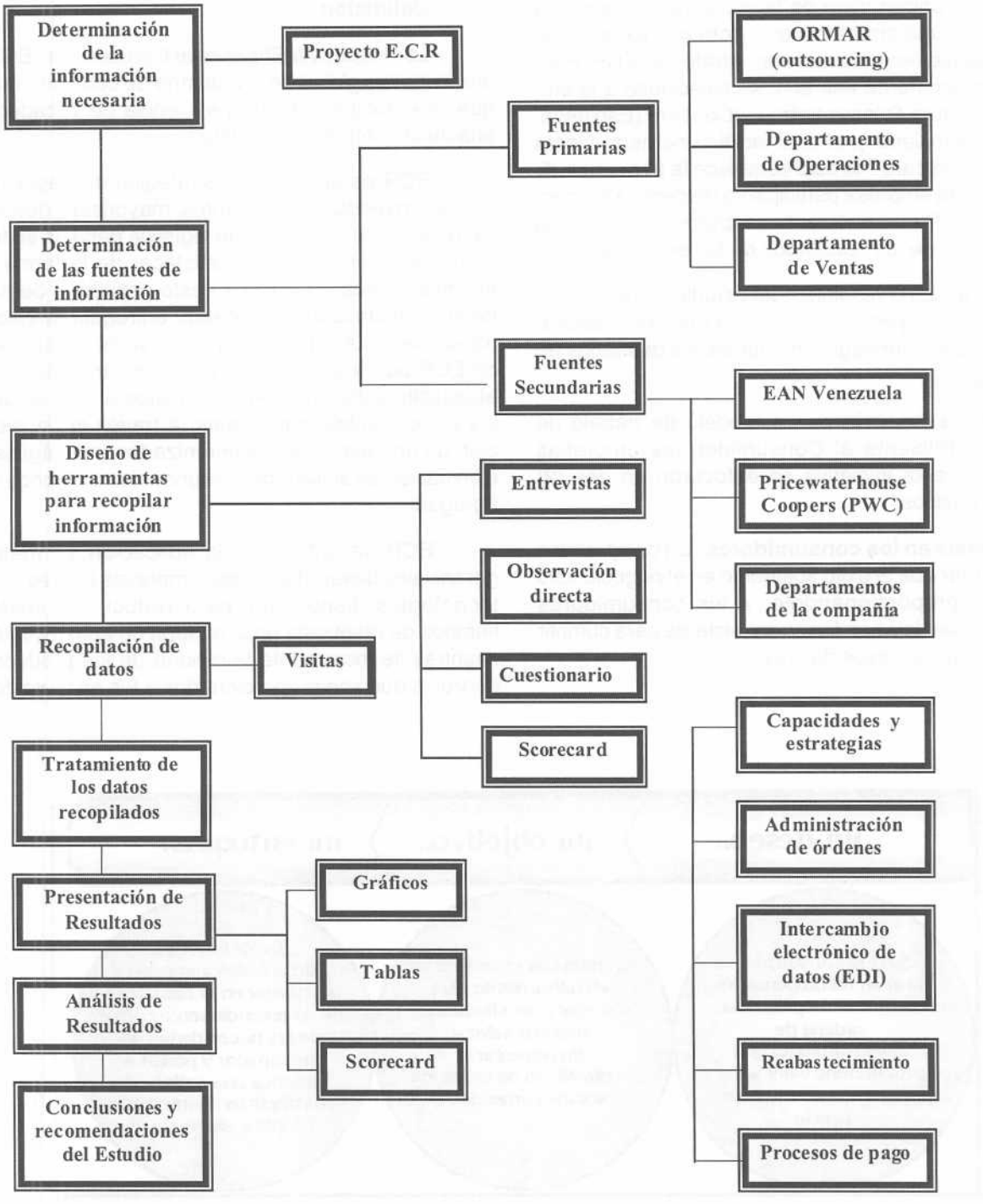
- Consumidores:
  - Mejor calidad en los productos.
  - Mayor variedad.
  - Mejor servicio al consumidor.
  - Costos menores a lo largo de la cadena de abastecimiento.
  - Menor tiempo en las compras.
- Condiciones del Mercado:
  - Bajo crecimiento en el mercado de consumo masivo.
  - Alta competencia.
  - Presión por parte de los consumidores.
  - Necesidad de nuevos canales de distribución.
  - Relaciones tradicionales adversas entre socios comerciales que resultaban en altos costos.

Entre los países en donde se han llevado a cabo las distintas iniciativas de ECR se encuentran Argentina, Brasil, Australia, España, Chile y México.

La iniciativa ECR en Venezuela surge en el año 1999, principalmente inspirada en la preocupación de varias empresas del sector industrial y comercial del país, por integrar la cadena de abastecimiento y eliminar las actividades que no agregan valor a la gestión

[1] Asociación para la codificación Internacional de productos de Venezuela.
[2] Espiñeira, Sheldon y Asociados

1.1 METODOLOGÍA GENERAL PARA EL ESTUDIO DEL SISTEMA DE COMERCIALIZACIÓN



de abastecimiento. En tal sentido, en el año 1999, se conforma un Consejo Consultivo, el cual está integrado por los presidentes y/o gerentes generales de algunas empresas participantes; un grupo de dieciséis (16) empresas pertenecientes al ramo de consumo masivo, detallistas, y EAN Venezuela.

Como primer paso de la iniciativa se planteó la selección de una empresa consultora con experiencia en varios países en desarrollo de estrategias ECR. Para ello en noviembre de ese año, se seleccionó a la empresa consultora PricewaterhouseCoopers (Espiñeira, Sheldon y Asociados), el cual facilitó una herramienta llamada "Scorecard"[3] la cual establece la posición individual de cada empresa participante respecto a los conceptos de ECR mundialmente aceptados, así como la consolidación de los resultados de las empresas.

Luego como resultado del estudio, cada empresa sugirió los proyectos pilotos que consideró necesarios aplicar para conseguir los beneficios deseados en la estrategia.

Para la creación de un modelo de trabajo de Respuesta Eficiente al Consumidor, las empresas pioneras de esta iniciativa se enfocaron en dos (2) principios básicos:

Enfasis en los consumidores: Un compromiso para asegurar que el éxito sostenido en el negocio sólo es posible proporcionándole a los consumidores productos y servicios en forma consistente para cumplir con su demanda y expectativas.

Trabajo Conjunto: El mayor valor a los consumidores es fue ofrecido cuando las organi-zaciones involucradas en la cadena de suministros trabajan en forma conjunta, tanto internamente como con sus socios comerciales, eliminando las barreras que afectan la eficiencia y efectividad.

Definición

La Respuesta Eficiente al Consumidor (ECR) es una iniciativa global de la industria de consumo masivo que se enfoca en lograr la eficiencia de la cadena de abastecimiento en su totalidad.

ECR es un modelo estratégico de negocios en el cual proveedores, fabricantes, mayoristas, detallistas y empresas de servicios y de logística trabajan en forma estrecha y conjunta para satisfacer de la forma más efectiva, rápida y al menor costo posible la demanda de los consumidores, buscando entregarle a éstos un mayor valor. La implantación efectiva de los conceptos de ECR busca aumentar la eficiencia en la cadena de abastecimiento, en lugar de considerar por separado los componentes individuales, a través de la realización de procesos mejor sincronizados, más ágiles y la eliminación de actividades redundantes o de poco valor agregado.

ECR se enfoca en la aplicación de métodos gerenciales desarrollados por empresas líderes con las tecnologías disponibles para reducir los costos y tiempos de respuesta en la cadena de abastecimiento, mientras se incrementa la calidad de los productos y servicios que son proporcionados a los consumidores.



[3] Ver capitulo 2, pág. 12

Componentes para una estrategia ECR

Las cuatro estrategias básicas definidas por ECR hacen referencia a dos aspectos primordiales que caracterizan los negocios de distribución y comercialización de bienes de consumo masivo. Estos aspectos son:

Aspectos Logísticos: Los cuales son compuestos fundamentalmente por las actividades relacionadas con el movimiento físico de productos y el flujo de información que los acompaña a lo largo de la cadena de abastecimiento. Dentro de este campo, ECR ha definido una estrategia básica conocida como *Reabastecimiento Contínuo.*

Reabastecimiento Contínuo: Consiste en el constante movimiento de productos desde el fabricante hasta los anaqueles de la tienda, reduciendo el tiempo y los inventarios de toda la cadena de suministro. Es un sistema por el cual los productos se entregan sobre la base de información de mercancías en existencia, pedidos reales. El Reabastecimiento reduce los niveles de inventario y los costos de operaciones al eliminar funciones y actividades excesivas o redundantes y despachar en una base frecuente sólo aquellos productos que son realmente necesarios en la tienda.

La forma más común en la que se aplica Reabastecimiento Contínuo es aquel que es manejado por el Proveedor en donde la bodega del detallista transmite los datos diariamente al proveedor sobre los niveles de inventarios y las órdenes del almacén; el proveedor es responsable de crear las órdenes necesarias para asegurar que la bodega cumpla con las necesidades del detallista.

Para que funcione efectivamente, el Reabastecimiento Contínuo requiere de una combinación de técnicas tales como: Cambio del esquema "Push" a "Pull", Cross Docking, Codificación Estándar de Artículos, Intercambio Electrónico de Datos (EDI), Paletización Estándar, etc.

- Esquema "Push a "Pull"

Consiste en un flujo continuo y parejo de productos asociados a la demanda real evitando la acumulación excesiva e innecesaria de existencias, lo cual, a su vez, se traduce en liberación de espacio, reduciendo la trastienda y aumentado la sala de ventas.

- Cross Docking

Sistema de distribución en el cual la mercancía recibida en el Centro de distribución no se guarda. En su lugar se prepara el envío a los almacenes de detallistas. El Cross Docking requiere de una sincronización precisa y de envíos exteriores.

- Codificación Estándar de Artículos

Es un sistema mediante el cual proveedores, distribuidores y detallistas identifican sus productos para el mejor control de sus inventarios y tener mejor entendimiento entre todos los actores de la cadena de abastecimiento. Para la identificación y creación de los códigos de barras se utiliza el sistema EAN/UCC

El sistema EAN/UCC, permite a los agentes de las cadenas de abastecimiento compartir información en forma inequívoca, abarcando desde los ítems de comercialización hasta las unidades logísticas, favoreciendo con ello la implementación de ECR.

Originalmente, un sistema de codificación fue establecido por Uniform Code Council (UCC) de EE.UU. en 1973 adoptando una base de 12 dígitos, la cual fue escaneada como código de barras por primera vez en 1974. Siguiendo el éxito de ello, European Article Numbering (EAN) se estableció en 1977 para desarrollar un sistema compatible para ser utilizado fuera de Norte América. El sistema EAN es administrado internacionalmente por EAN International y, en la actualidad, en más de 89 países.

El sistema EAN/UCC corresponde a un sistema universal de codificación, en el cual todos los usuarios de la cadena de abastecimiento siguen las mismas reglas de codificación, por lo que cada código de este estándar es único en el mundo. Esto implica reducir al mínimo la posibilidad de confusión permitiendo un comercio más eficiente y responsable hacia el consumidor final.

Un código del sistema EAN/UCC puede ser asignado a cualquier artículo, actuando como una especie de "número de carnet de identidad" desde que nace hasta que muere. Todos ellos permiten su captura automática al estar representados en códigos de barras estándares. También estos identificadores numéricos son usados en el Intercambio Electrónico de Datos o Electronic Data Interchange (EDI).

Cabe señalar que en la actualidad los códigos del sistema EAN/UCC están mayoritariamente representados por códigos de barras.

- Código de Barras

Un código de barras es la combinación de un conjunto de líneas claras y oscuras (llamadas también módulos), las que se pueden leer en forma óptica-

electrónica. Por lo anterior, se utilizan para representar dígitos numéricos o alfanuméricos. Dicho procedimiento facilita la captura y generación de información en términos cualitativamente más fidedignos, seguros y económicos que los métodos convencionales, al evitar múltiples digitaciones relacionadas a la creación de documentos distintos (guías de recepción, de despacho, facturas y otros). El código de barras resulta, por lo tanto, de gran utilidad para aquellos sectores en donde se maneja un volumen importante de información, documentos y transacciones de alto dinamismo.

El sistema de codificación EAN está conformado por los siguientes tipos de códigos:

Código EAN/UCC 13.

Código EAN/UCC 14 o DUN 14.

Código EAN/UCC 128.

La definición y descripción de éstos tipos de códigos se presenta en el Anexo II, pág.2

• Paletización Estándar

Por unidad de carga se entiende a aquella que puede ser arreglada de modo de poder ser manejada y movida por medios mecánicos como una unidad única.

En la actualidad, el dispositivo más utilizado para la formación de cargas unitarias es el pallet o paleta. Éste consiste en una plataforma, generalmente de madera, sobre la cual se colocan los embalajes con los productos. Para fijar los embalajes sobre la paleta, los métodos más comunes son film plástico (stretch y shrink), cintas metálicas, de nailon o adhesivos.

La adopción de un estándar es fundamental para obtener los beneficios de la utilización de cargas y optimizar la cadena logística, ya que, mantener pallets de variados tamaños es antieconómico para el sistema como un todo. La estandarización a una sola medida de la paleta ha sido un requerimiento casi unánime por los distintos agentes de la cadena de abastecimiento en la medida que ésta se hizo masiva.

Además, la paleta determina las dimensiones más apropiadas para la carrocería de los vehículos de carga cuyo objetivo sea el transporte eficiente de dichas unidades de carga. En consecuencia, dichas medidas influyen en las dimensiones del vehículo completo, así como, en el diseño de bodegas y centros de distribución.

Actualmente la mayoría de los países a nivel mundial utilizan el estándar de la paleta con las dimensiones de la base 1x 1.20 mts.

• EDI (Intercambio Electrónico de Datos)

Consiste en la transferencia de documentos estructurados, mediante mensajes estándares ya convenidos, desde una aplicación de computador a otra por medios electrónicos y con un mínimo de intervención humana.

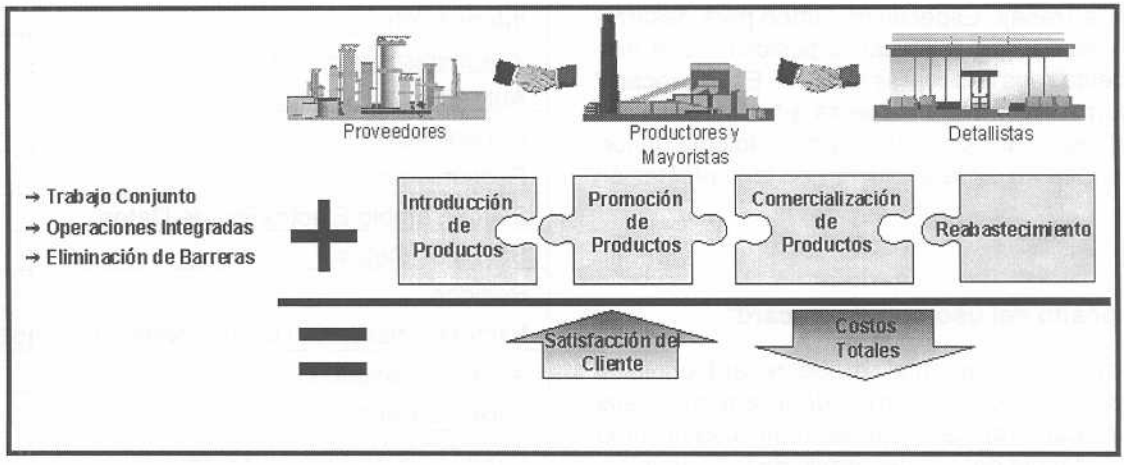
La estructuración de documentos en mensajes estándares convenidos, implica que los datos o la información a ser intercambiada sea reconocible, tanto en el contenido y significado, como en el formato, permitiendo que los documentos sean procesados automáticamente por computadores y sin ambi-güedades. Dos compañías que decidan implementar EDI están, por definición, poniéndose de acuerdo en el tipo de información que van a intercambiar y en la forma como éstos datos serán presentados a través del lenguaje común denominado EDIFACT. EDI suministra a los socios comerciales una herramienta de negocios eficiente para la transmisión directa y automática de documentos comerciales directamente desde un computador a otro. Las compañías no necesitan preocuparse por las diferentes incompatibilidades de los sistemas de computadora. Mediante el uso de mensajes estándares EDI, como EANCOM[4], los datos pueden ser comunicados de forma rápida, eficiente y precisa, sin importar el tipo de hardware y software que tenga el usuario.

Aspectos Comerciales: Son aquellos en donde se incluye el Surtido Eficiente, Promoción Eficiente e Introducción Eficiente de Nuevos Productos.

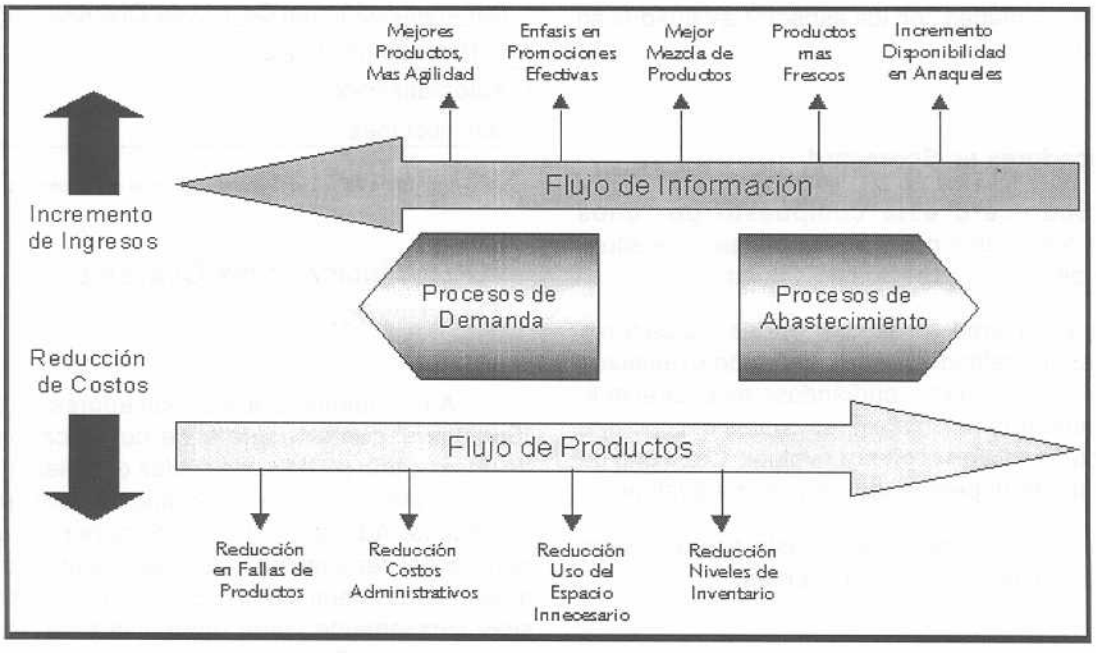
Surtido Eficiente: Consiste en establecer la mezcla ideal de productos que satisfaga las necesidades de los clientes (mejorar el surtido) y la asignación de espacios en la tienda para incrementar los volúmenes de venta de las categorías de artículos, la rentabilidad y la rotación de inventarios. Elimina los SKU[5] no productivos y aumenta la disponibilidad de productos deseados.

Promoción Eficiente: Define nuevos esquemas de promoción que aseguren un mayor impacto sobre el consumidor, sin generar costos adicionales para el manejo de los productos por parte de fabricantes y comerciantes. La planificación de las promociones y el análisis conjunto del impacto dentro de las categorías permite diseñar esquemas adecuados para cada punto de venta, obteniendo mayor rentabilidad de las actividades de promoción.

Introducción Eficiente de Nuevos Productos: Tiene por objeto maximizar la eficacia en el desarrollo e introducción de nuevos productos, disminuyendo el porcentaje de lanzamientos fallidos al mercado. Plantea el trabajo conjunto entre proveedores y detallistas, para compartir información del consumidor de acuerdo a sus preferencias y deseos.



Los conceptos de ECR pueden ser utilizados para integrar procesos en la cadena de suministros que tradicionalmente han sido manejados por las empresas en forma separada y reducir los costos en la cadena de suministro, como se muestra en el siguiente gráfico:



[4] Ver Glosario
[5] Ver Glosario

"SCORECARD" EN ECR

Definición

La medición de la madurez del ECR se puede llevar a cabo gracias al "Scorecard", herramienta utilizada en este Trabajo Especial de Grado para desarrollar el Benchamarking e indicar la posición de la empresa respecto a los conceptos de ECR. El "Scorecard" se ha desarrollado como respuesta a la necesidad de las compañías de disponer de una metodología uniforme que permita medir la evolución de la implantación de ECR.

Propósito del uso del "Scorecard"

El objetivo fundamental del "Scorecard" consiste en evaluar los procesos internos de la empresa, sus capacidades para trabajar en áreas identificadas como de vital importancia para el desarrollo de los negocios, así como medir el desarrollo de las relaciones entre sus socios comerciales para ofrecer mejores beneficios al consumidor final, disminuyendo los costos de operación a través de operaciones más eficientes, tanto internas como externas.

Para un adecuado desarrollo del Scorecard es fundamental que se organice un equipo multidisciplinario con personal de las diferentes áreas que están relacionadas con los aspectos evaluados en el "Scorecard".

Indicadores en Scorecard

En Scorecard está compuesto por unos indicadores los cuales nos permiten evaluar la situación de los diferentes aspectos a estudiar.

Para cada área a estudiar en los indicadores logísticos, están definidos unos niveles de evaluación que van del cero al cuatro, pudiéndose evaluar el indicador con números decimales, los cuales indican una medición intermedia en el nivel a evaluar. Cada uno de ellos es diferente dependiendo del punto a evaluar.

Los aspectos medidos en este estudio como indicadores logísticos son los siguientes:

Concepto ECR[6]
1. Capacidades y Estrategias
Estrategias
Planificación
Estructuras
Información
2. Administración de Ordenes
Automáticas
Consolidación
Seguimiento
3. Intercambio Electrónico de Datos
Bases de Datos
Pedidos
Facturas, Notas de Débito y Notas de Crédito
Aviso de Despacho
Aviso de Recepción
Reporte de Ventas e Inventario
4. Reabastecimiento Eficiente
Planificación de Entregas
Carga y Preparación de Despachos
Seguimiento de los Despachos
Optimización de las Recepciones
Cross Docking- Evaluación
Código de Barras y Estandarización de Unidades
Automatización del Centro de Distribución
5. Proceso de Pagos
Automatización
Devoluciones

Tabla N°1: Indicadores logísticos del Scorecard.

KPI'S. INDICADORES CLAVES DE DESEMPEÑO.

Adicionalmente a los indicadores logísticos, el "Scorecard" contiene una serie de indicadores claves de desempeño (KPI'S), los cuales establecen una base para la planificación, ejecución y control de los resultados. Además permiten disponer de una visión general del desempeño actual de la empresa con base a resultados cuantificados. El número de identificación sirve simplemente como referencia para un orden de aparición en el Scorecard.

[6] Fuente: EAN Venezuela. "Mejores Prácticas de ECR. 1999.Págs. 90-100

A continuación los Indicadores comerciales utilizados en el estudio:

Concepto ECR[7]	Identificador
Administración por Categorías	KPI 01
Surtido Eficiente	KPI 02
Introducción Eficiente de Productos	KPI 03
Promociones Eficientes	KPI 04
Existencias del almacén de Productos Terminados	KPI 05
Nivel de Atención al Local de Ventas	KPI 06
Nivel de Atención al Centro de Distribución del Detallista	KPI 07
Entregas a Tiempo	KPI 08
Ciclo de la Orden	KPI 09
Pedidos Completos.	KPI 10
Documentación sin Problemas	KPI 11
Pedidos Perfectos	KPI 12
Devoluciones	KPI 13
Pedidos EDI	KPI 14
Facturas EDI	KPI 15
Codificación de Productos.	KPI 16
Codificación de Paletas	KPI 17

Tabla N°2: Indicadores comerciales del Scorecard.

Descripción de la situación actual

RESPUESTA EFICIENTE AL CONSUMIDOR -ECR **Empresas Participantes en la Iniciativa de ECR**

INDICADORES CLAVES DE DESEMPEÑO

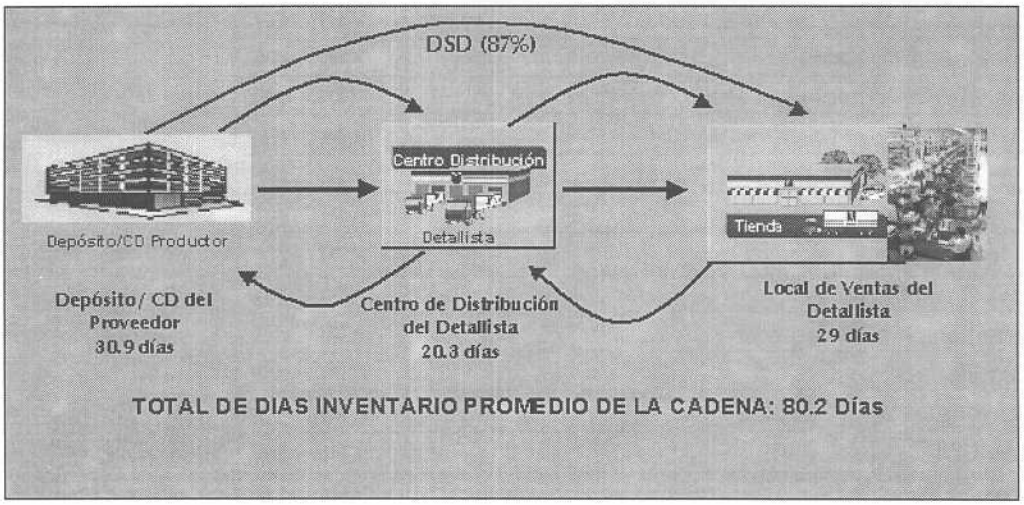
Administración por Categoría	Proveedor	Retailer	Máximo
KPI01 - Despliegue Administración por Categorías	6.27	48.00	100.00
Surtido Eficiente			
KPI02 - Despliegue del Surtido Conjunto	21.91	37.92	100.00
Introducción Eficiente de Productos			
KPI03 - Despliegue de la Introducción Conjunta	20.37	54.55	100.00
Promociones Eficientes			
KPI04 - Despliegue de las Promociones Conjuntas	53.58	67.18	100.00
Abastecimiento Eficiente			
KPI05 - Existencias del Almacén de Productos Terminados	30.86		100.00
KPI06 - Nivel de Atención al Local de Ventas(cajas ord./cajas entreg.)	87.45	89.66	100.00
KPI07 - Nivel de Atención al CD del Detallista(cajas ord./cajas entreg.)	89.62	89.66	100.00
KPI08 - Entregas a Tiempo	87.53	90.48	100.00
KPI09 - Ciclo de la Orden / Lead Time	8.31	5.33	100.00
KPI10- Pedidos Completos	73.27	42.54	100.00
KPI11 - Documentación sin Problemas	93.45	60.33	100.00
KPI12 - Pedidos Perfectos (Notas de Crédito)	65.39	20.01	100.00
KPI13 - Devoluciones	3.20	1.28	100.00
Tecnologías Habilitantes y Estándares Comunes			
KPI14 - Pedidos EDI	3.58	6.84	100.00
KPI15 - Facturas EDI	0.00	0.00	
KPI16 - Codificación de Productos	88.89	97.12	100.00
KPI17 - Codificación de Cajas	42.50	0.00	100.00
KPI18- Codificación de Paletas	12.50	0.00	

Fuente: EAN Venezuela.

[7] Fuente: EAN Venezuela. "Mejores Prácticas de ECR. 1999.Págs. 100-110

Situación Actual del Mercado Venezolano en ECR

De acuerdo al esquema de trabajo planteado, se determinó el estado actual promedio de la cadena logística de abastecimiento. Una de las primeras conclusiones se encuentra referida a los días de inventario promedio de la cadena de abastecimiento, la cual se encuentran representada en el siguiente gráfico:



Comparativamente con estudios previos realizados en otros países cuando se llevó a cabo esta iniciativa, tenemos los siguientes resultados:

País	Proveedor	CD Detallista	Local Ventas	Días Totales
Venezuela	30.9 días	20.3 días	29 días	80.2 días
Argentina	22 días	15 días	10 días	47 días
Brasil (98)	16 días	12 días (Det. 1) 15 días (Det. 2)	13 días (Det. 1) 16 días (Det. 2)	41 días 47 días
Colombia (97)	20 días	29 días		49 días
USA	104 días (1993)			104 días
Europa	80 días (1994)			80 días

Varias de las empresas participantes en la iniciativa presentaron resultados positivos en avances de los conceptos de ECR, aunque hay que destacar que la media arrojó valores relativamente bajos. Entre algunos de los hallazgos positivos de la iniciativa se encuentran:

- Codificación de la unidad de negocio (producto) cercana al 91%.
- Alto grado de utilización de "scanners" en la línea de cajas.
- Reconocimiento de la necesidad de mayor información sobre el consumidor.
- Preocupación creciente por los niveles de inventarios.
- Uso de transportistas externos (en muchas de las empresas).
- Sistemas de información apropiados en la mayoría de las empresas.
- Uso de mensajes electrónicos (EDI) para el procesamiento de pedidos (ORDERS) en algunas empresas, aunque es muy bajo en el promedio. Otros mensajes tales como PRICAT, DESADV, RECAVD, entre otros no están siendo llevados a la práctica.Por otra parte, se identificaron una serie de debilidades sobre las cuales habrá que trabajar para asegurar una mayor eficiencia en la cadena de abastecimiento. Entre algunas de ellas se mencionan:
- El consumidor final, si bien es el objetivo principal de cualquier estrategia de ECR, no está siendo considerado como elemento fundamental en la cadena de suministros (gestión de demanda). Las decisiones están mas bien orientadas a las negociaciones de compra – venta (beneficios individuales, mas que en el consumidor final y beneficios conjuntos de los socios comerciales).
- El esquema de abastecimiento es guiado principalmente bajo un enfoque de empuje de los produc-

tos "push", en lugar de una gestión basada en demanda (enfoque "Pull").

- Poco funcionamiento integral de la cadena. La misma está compuesta por ciclos de abastecimiento independientes entre proveedor – detallista y entre los centros de distribución del detallista y los locales de ventas (no se visualiza un negocio colaborativo y fluido del flujo de información y productos).
- Poca utilización de la información capturada en los puntos de venta: información fundamental respecto a la demanda real proveniente del consumidor final (señales de demanda). La valiosa información capturada en las cajas (POS) de los locales de venta no es compartida entre socios comerciales para diseñar estrategias conjuntas que apoyen la gestión de demanda – administración por categorías (introducción, promoción y surtido eficiente de productos).
- Sistemas de aprovisionamiento poco eficientes, vislumbrándose la necesidad de incorporar modelos de reaprovisionamiento – inventario perpetuo, intercambio de información en forma electrónica (mayor integración de la información del proveedor y del cliente).
- Para el caso del local de ventas, y con base a la información recibida para la casi totalidad de los casos, la reposición de las anaqueles se basa en la experiencia personal de los gerentes del local de ventas y del personal del proveedor quienes acomodan el surtido.
- Poca visión y capacidad para trabajar en forma colaborativa. Según las respuestas recibidas por los líderes de las empresas participantes no existe un intercambio de información entre clientes y proveedores para mejorar la eficiencia de la cadena de abastecimiento. Esto requiere de un cambio cultural por parte de las empresas si se quieren alcanzar los beneficios potenciales de ECR. La información capturada en el punto de venta no sólo puede ser usada para la elaboración de un patrón de demanda, sino también para que el proveedor pueda realizar sus propios pronósticos y de esa forma bajar sus niveles de inventarios realizando planes de producción menos inciertos.
- Baja utilización del EDI / Comercio Electrónico (B2B). Los resultados consolidados del uso de tecnología de la información para el intercambio electrónico de datos es considerablemente bajo. El volumen limitado de empresas trabajando con EDI / B2P no va a permitir lograr disponer de la masa crítica para alcanzar todos los beneficios esperados. La comunicación de mensajes electrónicos (EDI / EFT / B2B) hará posible que el intercambio de información sea fluido y sin errores.
- Algunas cadenas / locales de venta no tienen la infraestructura adecuada para lograr una mayor eficiencia en las entregas.
- Codificación de cajas muy bajas (31.8 %), ausencia de paletas estándares y codificación prácticamente nula (8 %). Esto resulta en altos tiempos para el movimiento administrativo de inventarios así como un alto nivel de errores en dicho proceso.
- Para algunos proveedores los tamaños de los pedidos son muy pequeños, dificultando el uso despachos paletizados, el cual ha sido señalado en esta iniciativa como un de los posibles proyectos piloto a emprender.
- Problemática aduanera que impide la realización de trámites en tiempos normales, con los consecuentes costos de almacenaje, alquiler de containers, nivel de servicio, incremento en los niveles de inventarios (mayores costos), etc.
- Costos de transporte significativos, hurtos a las unidades de transporte y, en algunos casos, parque automotor envejecido.
- Necesidad de optimizar el proceso de despachos vía asignación de citas con la mayoría de los detallistas y lograr uniformidad en el proceso de entregas en la medida que se entienda la necesidad de un negocio colaborativo.
- Nivel bajo de utilización de "scanners" en la recepción de productos.

Diseño del plan de mejora para el sistema de comercialización de una compañía con sus principales clientes

Una vez revisados y analizados los resultados de los indicadores tanto logísticos como comerciales que se obtuvieron del Scorecard aplicado a la compañía en particular, se diseñó un plan de estrategias que se adecuase a las principales necesidades actuales detectadas entre la organización y sus principales clientes.

Para aumentar la eficiencia de las operaciones rutinarias, es necesario homogeneizar ciertos procedimientos a estándares conocidos por todos los involucrados en la cadena. Sin estandarización aumentan las prácticas de retrabajo e ineficiencias, las cuales no generan valor agregado al producto, provocando costos mayores que son traspasados hasta el consumidor final.

En lo que a la Cadena de Abastecimiento se refiere, en Venezuela, existe una falta de estándares y bajo uso de los que hoy existen. El bajo nivel de estandarización en términos de transporte, dimensiones de los productos y embalajes, pallets, utilización de codificación y etiquetamiento de las unidades logísticas, se traduce en:

- Manipulación ineficiente de productos.
- Problemas de consistencia de códigos.
- Descordinación de la información, lo que incrementa los costos de operación en los diferentes procesos.
- Duplicación de tareas, con la consecuente pérdida de tiempo y agregación de costos que podrían evitarse.

La visión del plan de mejora del sistema de comercialización es buscar aumentar la eficiencia de la cadena de abastecimiento, integrando procesos logísticos, comerciales y tecnológicos para lograr una maximización de la satisfacción del consumidor y una real capacidad de competitividad en el comercio y economía actual.

La misión del plan es integrar a los participantes de la Cadena de Abastecimiento para la disminución de los costos asociados con almacenamiento, distribución y comercialización de los productos, satisfaciendo al consumidor a través del incremento en el valor y servicio.

El plan que se propone consta de tres grandes proyectos los cuales están basados en la importancia y prioridad que tienen para mejorar el sistema de comercialización de la compañía y en la estrategia de ECR, específicamente en el Reabastecimiento Continuo desarrollada en el capítulo 2. Estos proyectos son:

- Transferencia Electrónica de Datos vía EDI / Comercio Electrónico (Internet – B2B).
- Despachos Paletizados – Uso de Paleta Estándar.
- Codificación de productos y unidades de despacho.

Para la implantación del plan de mejora se escogió al cliente número uno en facturación para la compañía, ya que el mismo representa un gran porcentaje de las ventas netas, tanto en bolívares como en volumen.

Proyecto EDI

Se propone la utilización del intercambio electrónico de datos con los principales clientes como una herramienta que puede ser utilizada efectivamente para rediseñar la información generada en los procesos de negocio. EDI no es un fin por sí mismo; el esfuerzo en la implantación debe dirigirse a permitir que los proveedores y los clientes tengan una mejor utilización y formas más eficientes de compartir información.

Debe entenderse que las compañías no son parte únicamente de una simple cadena de abastecimiento; sino que forman parte de redes de cadenas de suministro con puntos comunes de interconexión y que la comunicación efectiva entre todos los puntos comunes es un buen beneficio para todos.

Trabajar en conjunto y construir sociedades comerciales efectivas es esencial. La reducción de costos y las ganancias en eficiencia se darán, beneficiando tanto al proveedor como al cliente si se trabaja con una perspectiva de largo plazo.

Para la evaluación del proyecto se consideraron 3 fases las cuales son:

- Fase Preliminar.
- Fase de Desarrollo.
- Fase de Ejecución.

Fase Preliminar

En esta primera fase se realizó una evaluación de los principales clientes que poseen el software EDI, ya que es mucho más fácil y rápido la puesta en marcha del proyecto debido a que no se incurre en los gastos iniciales para un proyecto EDI como lo son: La adquisición del software, desarrollo y programación de las interfases de aplicación, entrenamiento de personal entre otros.

La propuesta principal es comenzar a realizar transacciones vía EDI de otros documentos aparte de la orden de compra (ORDERS), para así maximizar el uso de los recursos existentes Entre los documentos que se decidió desarrollar de acuerdo a su importancia para el manejo de información entre cliente-proveedor se encuentran:

- Catálogos de productos y precios (PRICAT).
- Facturas (INVOIC).
- Aviso de Despacho (DESADV) y recepción (RECADV).
- Reporte de Ventas (SLSRPT) e Inventarios (INVRPT).

Fase de Desarrollo

Después de decidir los documentos a desarrollar se comenzó el estudio y análisis de la estructuración y el contenido de los mismos. Implica que los datos o la información a ser intercambiada sea reconocible, tanto en el contenido y significado, permitiendo que los documentos sean procesados automáticamente y sin ambigüedades.

Se propone la estandarización de los diferentes documentos a desarrollar para así tener un lenguaje común entre proveedores y clientes. Por ejemplo si se trabaja con el documento órden de compra entre socios comerciales, éste debe estar constituido bajo el mismo formato.

Para ello se formó un Comité EDI liderizado por el EAN Venezuela y las compañías y detallistas participantes en el proyecto ECR; cada tres semanas se realizaron reuniones en la sede del EAN en donde se discutía, analizaba y formaba la estructura de los diferentes documentos a desarrollar y actualmente ya se tienen estandarizados la orden de compra, la factura y los catálogos de productos y precios.

Fase de Ejecución

Para la puesta en marcha de esta fase lo primero que hay que tener en cuenta es la alineación de la base de datos entre la compañía y los clientes con que se va a trabajar. Se debe mantener la uniformidad de la base de datos de productos a lo largo de la cadena.

Para comenzar el intercambio de los documentos, el proveedor de servicios EDI de la compañía y de los clientes, se reunieron en varias oportunidades para llegar a un acuerdo en cuanto a los costos de las transacciones y normas para el intercambio de información.

Luego, lo que resta es comenzar el intercambio de los documentos estándar y mantener actualizada la base de datos por parte del proveedor.

Costos y Beneficios de EDI

A pesar que la identificación de los costos relacionados con EDI es relativamente fácil, no lo es la identificación de sus beneficios, en especial cuando la compañía se inicia en el terreno, puesto que muchos de los beneficios reales son de carácter estratégico e intangibles.

Costos del Programa EDI

Para una empresa que decida comenzar a hacer EDI los costos son:

- Diseño: Es el tiempo invertido en la planeación de todo lo que tenga que ver con el sistema EDI.
- Desarrollo: Aquí se contempla la adquisición del programa o software, el desarrollo y programación de las interfaces de aplicación.
- Capacitación: Incluye tanto el entrenamiento del personal interno para redefinir y asumir las nuevas responsabilidades en un ambiente de EDI y más importante aún la educación de los socios comerciales. Por último debe haber un estimado de tiempo que se tome para establecer la conexión con un nuevo socio comercial.
- Implantación: El costo del personal del área de sistema y el mantenimiento de las interfaces EDI del proveedor de servicios.
- Costos por el intercambio de documentos: El costo asociado con el envío y recibo de mensajes EDI a través de redes privadas o de valor agregado es insignificante si se compara con los beneficios que proporciona EDI.

Los costos varían dependiendo del tipo de documento a intercambiar y el volumen de transacciones que se realicen en un periodo determinado de tiempo.

Los costos de la transacción también dependen del proveedor de servicios que se tenga. Los mismos oscilan entre (0.5-1.5) US$ por transacción. También se debe cancelar mensualmente un costo por uso de la red o network, mantenimiento, módulo de seguridad y renovación anual el cual es definido por el proveedor de servicios

Beneficios de EDI

- Disminución de costos administrativos y de procesamiento: Estos son los beneficios más angibles obtenidos al implantar un sistema EDI. Los costos relativos al procesamiento de un documento debe incluir normalmente papelería, preimpresa, sobres, estampillas, teléfono, fax fotocopias. Estos contemplan un tiempo que se gasta en ordenamiento de los datos, entrada de los mismos, correo y lo más importante, en el control y corrección de los errores.
- El intercambio directo de datos elimina los frecuentes y costosos errores que se producen inevitablemente cuando los datos son manejados e intercambiados manualmente.
- Se evitan operaciones repetitivas que no generan valor al proceso.
- Facilita el envío de información en el tiempo real y aumenta la confiabilidad de la información.
- Reducción del ciclo comercial de la orden de compra. Un sistema EDI reduce el tiempo entre la orden de compra y el despacho de la mercancía entre la facturación y el pago.
- Seguridad, integridad y privacidad de la información: ésta puede abarcar desde el control de acceso por medio de un password hasta la autenticidad de las

partes involucradas en la transacción comercial y ecriptación de los datos.

- Beneficios Estratégicos: Los beneficios estratégicos constituyen los aspectos más importantes de EDI, tal como son: satisfacción del cliente, mejores relaciones proveedor-cliente y la ventaja competitiva que se adquiere trabajando bajo el esquema del Intercambio Electrónico de Datos.

EDI no solamente conlleva a un ciclo comercial más rápido, sino además a cadenas de suministro más seguras como resultado del incremento en la cantidad y mejor calidad de la información compartida entre los socios comerciales.

Como propuesta final se tiene la masificación del intercambio electrónico de datos con los principales clientes para así obtener los beneficios a gran escala.

Recomendaciones

- Una de las desventajas de comunicarse por medio de la red de valor agregado (VAN) que utiliza el software EDI es que el remitente y receptor deben estar suscritos a la misma red para comunicarse, a menos que los servicios de las diferentes redes estén interconectados. Puesto que ha habido un rechazo de ciertos proveedores de servicios para interconectar sus redes como resultado de problemas comerciales más que problemas técnicos, un usuario podrá requerir estar suscrito a diversas redes para comunicarse con todos sus socios comerciales.Si se ejerce presión por parte de los usuarios (compañías, detallistas), los proveedores de servicio de redes pueden comenzar a interconectarse entre sí para así agilizar el proceso de intercambio electrónico de datos y llegar a la masificación
- Internet: Debido a los altos costos que representa para los medianos y pequeños retailers la instalación y servicio de una VAN se propone utilizar Internet como medio de comunicación para realizar las transacciones comerciales. En el pasado y todavía existen aspectos en contra como la seguridad en la red, pero son más los beneficios que se alcanzan si se soluciona este problema. Es por ello que la mayoría de las empresas productoras de software comenzaron a desarrollar y aplicar programas para solventar dicha limitación y hoy en día Internet denota altos niveles de seguridad y confiabilidad con lo que se asegura la transparencia y seguridad en el intercambio electrónico de datos.

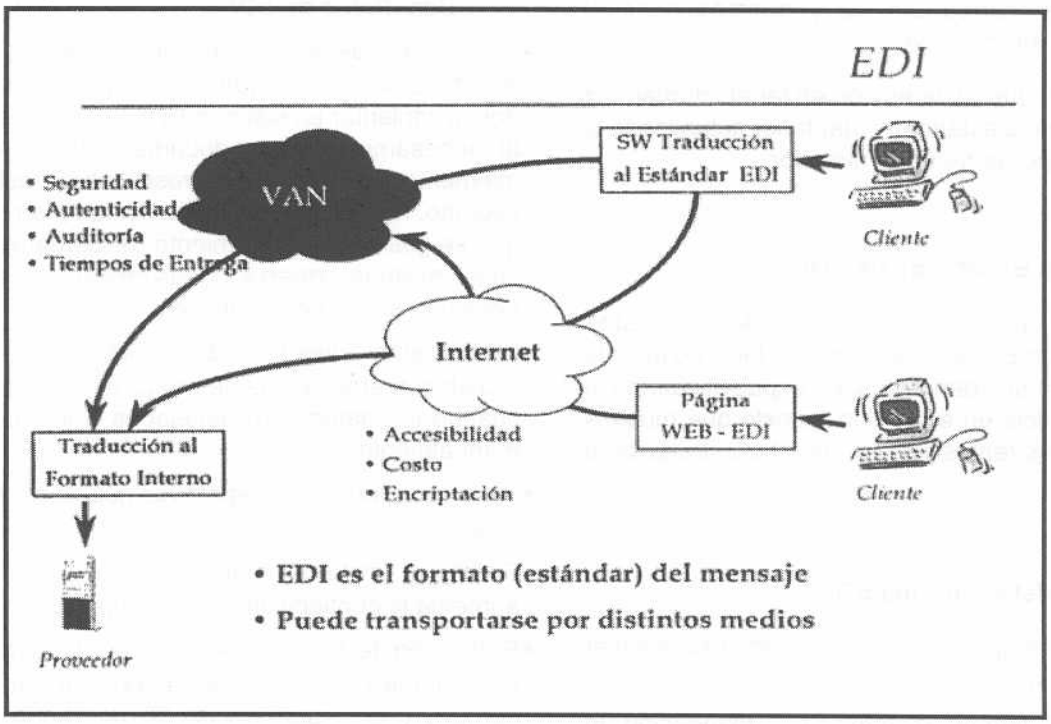


Gráfico # 4. Transferencia electrónica de datos[8]EDI/Internet.

[8] Fuente: Gabriel del Castillo y Ramón Fiol. Reabastecimiento Eficiente de EAN Perú. 1999. Pág. 78

Como recomendación final se presenta que independientemente las empresas posean o no el programa EDI, estas deben adecuarse al intercambio electrónico de información, ya sea bajo el esquema EDI o por medio de Internet, como se refleja en el gráfico anterior; para así lograr un mayor flujo, control y transparencia de la información entre los socios comerciales.

PROYECTO PALETA ESTÁNDAR/ENTREGA PALETIZADA

Las actividades logísticas representan cada día más un porcentaje mayor de los costos de las compañías, es por ello que se propone racionalizar el sistema de comercialización con los clientes clave para la compañía, a través de establecer una paleta estándar común para realizar las entregas de las mercancías de manera paletizada a los Centros de Distribución de los clientes.

Fase Preliminar

En esta primera fase lo primero que se consideró fue definir las dimensiones de la base de la paleta que se usa mayormente en el mercado. Para ello se realizó una encuesta a los líderes del comité ECR en conjunto con el EAN y se estableció la recomendación de que exista un solo tipo de paleta la cual presentara las siguientes características:

Dimensiones : 1x 1.20 mts.
Diseño: cuatro entradas (4) de 9 bloques, no perimetral.
Alto de paleta: 0.15 mts.
Peso máximo de la carga: 1.000 Kg.

Estas dimensiones se escogieron debido a las siguientes consideraciones:

- Las medidas son compatibles con los estándares internacionales. Por ejemplo en Europa y Estados Unidos las medidas de las paletas son de 1x1.20 mts. mayormente.
- La superficie de la carga es lo suficientemente amplia como para permitir un volumen de apilamiento conveniente.
- Estas medidas son compatibles con la medida de los contenedores, cuyas medidas están ampliamente estandarizadas en Venezuela y en el mundo entero.
- Los Centros de Distribución de los proveedores y detallistas están en perfecta capacidad de soportar y manejar este tipo de paleta.

Fase de Desarrollo

El primer paso en esta fase fue analizar si la compañía esta capacidad de realizar este proyecto. Para ello se realizó primero un estatus de la compañía con respecto a la aplicación o ejecución de la utilización de la paleta estándar. El estatus es el siguiente:

- **Almacén**

La definición del layout de los almacenes y rack del Centro de Distribución de la compañíase basa en el manejoestándar 1.00 x 1.20 mts, por lo que no es necesario realizar ningún tipo de inversión para manejar la paleta estándar definida en la fase preliminar.

Estas paletas pueden ser reparadas y llevadas al formato estándar lo cual tiene un costo actual aproximado de 7.000 Bs. El costo unitario de una paleta nueva oscila alrededor de 10.000 Bs.

Fase de Ejecución

Para la puesta en marcha del proyecto de paleta estándar se requiere la colaboración y el conocimiento de todas las personas involucradas en el mismo, desde los Gerentes de Distribución, despachadores, transportistas, etc.

La presente fase incluyó varias reuniones entre la compañía y el cliente # 1,se evaluaron algunos aspectos del sistema logístico como: el equipo de descarga de paletas, la facilidad de estacionamiento para los camiones/furgones y muelle, control y seguimiento de las paletas, sistema de recepción de la mercancía y el volumen y frecuencia de compra. Además se elaboró una serie de acuerdos para el proceso de despachos paletizados

Costos y Beneficios de Paleta estándar/ Entregas paletizadas

Costos

- La definición del layout de los almacenes y las instalaciones físicas (andenes, patios, rack, etc.) del Centro de Distribución se basa en el manejo de la paleta estándar 1x1.20 mts; por lo que no es necesario realizar ningún tipo de inversión para manejar la paleta estándar definida anteriormente.
- Reducción de un 30% aproximadamente del espacio disponible en los camiones. La altura máxima de la paleta es 1.8 mts. Las dimensiones de los camiones 350 y 750 utilizados por el Centro de Distribución son

las siguientes:

Tipo de vehículo	Capacidad Teórica (m3)	Altura (mts.)	Ancho (mts.)	Largo (mts.)
FORD-750	40	2.35	2.5	6.8
FORD-350	16	2	2.3	3.8

Analizando la pérdida de espacio del camión con respecto al volumen, se presenta lo siguiente:

Volumen (m3) de la paleta = 1*1.2*1.8 = 2.16 m3

Tipo de Vehículo	Capacidad teórica (m3)	# de paletas transportadas	Volumen de paleta (m3)	Espacio ocupado (%)	Pérdida de espacio (%)
FORD-750	40	10	21.6	54	46
FORD-350	16	6	12.96	81	19
			Promedio =	**67.5**	**32.5**

Esto puede generar un incremento en los costos de distribución en un 50%; sin embargo no traerá impacto en el costo del flete ya que el mismo es en base a porcentaje sobre la facturación y no al volumen o peso de la mercancía.

- Las paletas que se utilizan actualmente cumplen con las especificaciones de la paleta propuesta, por lo que no se incurre en gastos por la compra de nuevas paletas.

Beneficios

Para la distribución, la recepción de mercancía paletizada significa:

- Facilidad en la recepción y mayor control en las entregas.
- Aceleración de la descarga y el almacenamiento de la mercancía (reducción del tiempo).
- Liberación de los puestos de despacho.
- Mayor despeje de los andenes.
- Mejor aprovechamiento del espacio de almacenamiento.
- Reducción de los daños de la mercancía; gracias a la mejora de las condiciones del transporte.
- Simplificación de las operaciones de recuento y verificación de stock, disminuyendo así los conflictos y problemas entre proveedor y el cliente por causa de las entregas.
- Mejora en la preparación de los pedidos y la distribución de la mercancía

Trabajar con paleta estándar permite un mejor aprovechamiento del almacenaje, reduciendo los costos de manipulación. Utilizar paletas con dimensiones establecidas y acordadas permite el intercambio de mercancía sobre plataformas de cualquier empresa dentro y fuera del país. Así mismo permite recibir tantas paletas vacías como llenas se entregan, manteniendo constante el inventario de paletas, que hoy en día forma parte de los activos de la empresa

Recomendaciones

- Los Centro de Distribución de los detallistas deben tener rampas niveladoras para realizar la descarga de productos cubriendo con esta herramienta una mayor gama de tipos de transporte.

- Para el uso adecuado de las paletas en cuanto su posición correcta, aprovechamiento de la superficie, entre otros, se deben tomar algunas consideraciones las cuales se pueden encontrar en libros especializados.

- Crear documento marco, para definir las normas de paletización con el objeto que sirvan de guía para los actuales miembros del Piloto y para futuros integrantes del mismo.

- Debe existir una clara definición de los roles y responsabilidades de cada lado (cliente y proveedor), con el fin de que se garantice la adecuada eficiencia logística, la cual no solo está relacionada con el manejo eficiente de productos, sino también con el manejo eficiente de documentos, activos, etc.

Proyecto codificación de las unidades de despacho

Con el aumento de la complejidad del comercio, las compañías que realizan transacciones entre sí no pueden utilizar sus sistemas internos para lograr el buen entendimiento entre todos los actores de la cadena de abastecimiento. Se producen grandes problemas de incompatibilidad en lo que a codificación se refiere (interpretación correcta de la información)

Los proveedores comerciales que usan diferentes sistemas de codificación tienen problemas similares a aquellas personas que no hablan el mismo idioma y desean comunicarse. Sería mucho más fácil si todos los proveedores y detallistas hablaran la misma lengua; es decir, utilizar un mismo sistema de codificación para identificar los productos, así como información suplementaria sobre éstos.

Surge entonces la necesidad de definir qué código estándar particular, perteneciente al sistema EAN/UCC, es más apropiado para mejorar el sistema comercial entre proveedores y detallistas.

Fase Preliminar

En esta primera fase se propone la utilización de los códigos de barra EAN/UCC 13 para las unidades de venta, el EAN/UCC 14 para la codificación de unidades de despacho como las cajas o empaques y el EAN/UCC 128 para la identificación de las paletas utilizadas para la entrega de mercancía a los Centros de Distribución de los clientes.

Seguidamente se trabajó principalmente en la depuración y actualización de la data en cuanto a los códigos de barra tanto de producto regular como los productos promocionales.

En esta base de datos se presenta la descripción del producto, los códigos EAN/UCC 13 y los EAN/UCC 14 (existentes y los que no estaban creados).

Fase de Desarrollo

Después de tener en forma detallada la base de datos actualizada con los códigos de barra, se corrigieron los errores referente a la existencia de códigos iguales para distintos productos, no todos los productos presentaban códigos EAN/UCC 13 y se cuantificó la cantidad de bultos que no presentaban EAN/UCC 14.

Para completar la base de datos y crear estos códigos se coordinó con el EAN, el cual tiene la responsabilidad de realizar la creación de los códigos de barra para las empresas.

Fase de Ejecución

Para esta fase se realizaron varias reuniones con el cliente # 1, el cual posee la plataforma tecnológica para la lectura de éstos códigos, al igual que para el EAN/UCC 128 y EAN/UCC 13. Luego se entregó la base de datos depurada y actualizada para ser cargada en su sistema y así comenzar con una prueba piloto para la lectura de los códigos del corrugados en el Centro de Distribución.

Costos y Beneficios

Costos

Los costos para realizar este proyecto son muy bajos si los comparamos con los beneficios que proporciona:

- Costo de mantenimiento de los códigos por parte del EAN (600 US$ anuales).
- Costo de las etiquetas para la impresión de los códigos EAN/UCC 14.
- No se incurre en gastos de impresora de códigos ya que, se disponen de dos las cuales permiten imprimir códigos de barra EAN/UCC 13, EAN/UCC 14 y EAN/UCC 128.
- No se necesita incorporar mano de obra extra para el etiquetado del EAN/UUC, ya que en almacén hay personal para ello y además se debe considerar que una gran cantidad de cajas ya vienen con el código impreso de importación.

Beneficios

- Permite a los agentes de la cadena de abastecimiento compartir información en forma inequívoca.
- Se facilita el manejo, almacenamiento, preparación y despacho de la mercancía.
- Reducción en el tiempo de recepción de la mercancía, ya que con la utilización de los códigos EAN/UCC 14 no es necesario abrir los bultos para cargar en el sistema del Centro de Distribución del cliente los códigos EAN/UCC 13.
- Reducción en las devoluciones por causa de códigos errados.

- Incremento en la velocidad de ingresos de datos en el sistema de información del cliente.
- Automatización de procesos.
- Para los detallista le permite tener conocimiento de los stock y por consiguiente el inventario permanente, mejorando la gestión de pedidos.
- Uniformidad de la base de datos de los productos a lo largo de la cadena de abastecimiento.
- Con el EAN/UCC 128 se puede transmitir información adicional sobre las unidades como fecha de elaboración, peso, destino, lote, entre otros.

Recomendaciones

- Para la colocación de etiquetas en los bultos o cajas se deben considerar unas especificaciones las cuales se pueden encontrar en EAN Venezuela.
- Utilizar equipos etiquetadores y lectores ajustados a las especificaciones EAN.
- Se deben fijar criterios para la codificación, es decir, establecer cuándo un producto debe llevar un código distinto al que lleva el producto similar. En la práctica la más mínima variación de un producto debe ser identificada mediante la asignación de un código distinto
- Los productos promocionales caen en el grupo de los productos que presentan alguna variante con respecto del producto original y, para efectos de recolección de información comercial y criterio de diferenciación, es conveniente que se codifique de forma distinta al producto original. La creación de nuevos códigos permite satisfacer la necesidad de información que se pretende obtener desde el punto de vista comercial.

Como resultado final del estudio, se puede concluir, que para implantar soluciones en el sistema de comercialización entre los socios comerciales, en muchas oportunidades, no es necesario incurrir en grandes inversiones de dinero, aunque si es importante hacer un buen análisis que muestre en dónde están verdaderamente las oportunidades de mejora y compartirlas con los clientes para que aumente el trabajo en conjunto y se llegue a una relación ganar-ganar.

Soluciones del medio continuo aplicables a perfiles de carga generalizables, a partir de la ecuación diferencial de Murashev, Sigalov, y Baykov. Parte I

P. Hummelgens*
M. Paparoni**

*UNIMET / Escuela de Matemática / USB
**UNIMET / Escuela Ingeniería Civil UCAB / CIDI / UCV

Introducción

En el campo de la Ingeniería Estructural, y, específicamente en el diseño de estructuras aporticadas capaces de resistir adecuadamente fuerzas horizontales de sismo o de viento, los métodos llamados del continuo, es decir, basados en funciones continuas derivables, y no en métodos matriciales discretos, permiten de manera rápida y efectiva estudiar una considerable cantidad de casos reales sólo cambiando algunos parámetros.

Originalmente dichos métodos fueron desarrollados para utilizar computadores o calculadoras programables con muy pequeñas capacidades de memoria, pero su aplicación ha demostrado que no sólo sirven para eso, sino que han permitido realizar estudios sistémicos sobre la conducta de Pórticos, aún a partir de resultados matriciales, a través del empleo de sus parámetros definitorios.

El Trabajo que presentamos es uno de una serie ya planificada, en la cual se ofrecerán soluciones generalizables a casos de carga complejos y a configuraciones de pórticos cambiantes en altura.

También esperamos que sirva como confirmación, puramente matemática, de la validez de trabajos anteriores cuya consistencia había sido evaluada por contraste con soluciones discretas.

Motivación de este trabajo

La Ecuación diferencial de Murashev, Sigalov, Baykov [1] fue resuelta originalmente por sus autores para condiciones de carga restringidas, es decir, una distribución rectangular.

Posteriormente, Paparoni [11] generalizó dichas ecuaciones a las distribuciones de carga más utilizadas en la práctica estructural, es decir, cargas concentradas (King- Kong) Cargas triangulares (Portequiv), Momentos nodales concentrados (Momentín) y Momentos Globales (Momentón).

La razón de haber realizado esos trabajos consiste en que esta ecuación diferencial, en preferencia a otras conocidos en la literatura, toma en cuenta los parámetros más importantes que influyen en la conducta de una estructura aporticada, es decir, el parámetro λ (factor de acoplamiento) y el parámetro μ (factor de columnización) equivalente al parámetro $(\nu^2\text{-}1 / \nu^2)$ utilizado en este trabajo.

En una larga serie de trabajos dirigidos por Paparoni entre ellos [2] a [12] Las soluciones desarrolladas por éste fueron sometidas a verificaciones numéricas contrastándolas con soluciones matriciales de pórticos de muy diversos tipos.

Esas verificaciones demostraron que, como instrumentos de predimensionamiento o de verificación rápida de estructuras existentes, las ecuaciones desarrolladas por Paparoni, eran suficientemente buenas para su aplicación práctica.

Dichas ecuaciones separaban, analíticamente, las contribuciones de la solución Homogénea (Influencia de los Empotramientos de la base), la solución de Cortante (Celdas de Cortante) y la solución Flexional (Haz Columnas más Voladizo Plantar), lo cual permitió su empleo en el estudio de la clasificación de pórticos y su extensión a casos discretos (como aproximación a cálculos reales de estructuras discretizadas, en donde el parámetro N, número de pisos, apareció como tercer parámetro adimensional definitorio de las soluciones extendidas).

A lo largo de ese proceso de verificación surgieron tanto dudas como deseos de extender las soluciones de la ecuación diferencial de MSB a otros casos de carga generalizados, así como al tratar de resolver una inestabilidad que se presentaba en las soluciones de Paparoni para λ menores de 2

Este trabajo es un intento de retomar el hilo matemático en este campo, pues creemos que las soluciones que saldrán de éste y de próximos trabajos, permitirán tanto generalizar al mayor número de casos posibles las soluciones que se encuentren, como eliminar las inestabilidades numéricas que se han encontrado al aplicar las ecuaciones de Paparoni, en especial para cargas triangulares.

Otro objetivo, no menos importante que éste, es el poder describir cualquier caso de carga proveniente de análisis dinámicos con ecuaciones de este tipo.

El trabajo de Casadei ..... recientemente, presentado, muestra resultados aparentemente inesperados, es decir, que ciertos perfiles de carga aplicados a la metodología que hoy conocemos como Push-Over, es decir un método práctico de verificar las potenciales ductilidades de pórticos con diversas configuraciones, revelan ductilidades marcadamente diferentes entre si al cambiar los perfiles de carga haciendo dudar de la pertinencia de algunos conceptos establecidos, ya desde hace medio siglo, en la Ingeniería Sísmica.

2. Analisis matemático

Nuestro punto de partida es la ecuación diferencial de Murashev-Sigalov-Baykov (ecuación diferencial de un pórtico)

$$Ky^{(4)} - C\left[y^{(2)} + \frac{M(x)+Ky^{(2)}}{K_0}\right] = q(x)\,;\ 0\le x\le H \quad (1),$$

donde K (suma de las rigideces seccionales de las columnas del pórtico), C (rigidez a cortante del pórtico) y K_0 (rigidez flexional del pórtico) son constantes, $M(x)$ es el momento exterior producido por las cargas y $q(x)$ es la función de carga según la altura x. En este trabajo nos restringimos a cargas de la forma

$$q(x) = \hat{q}\left(\frac{x}{H}\right)^n; n = 0,1,2,3,..... \quad (2),$$

donde $\hat{q}$ es una constante.

Las condiciones de borde para la ecuación diferencial son

$$y(0) = 0, y^{(1)} = 0, y^{(2)}(H) = 0, Ky^{(3)}(0) = -\frac{\hat{q}H}{n+1} \quad (3),$$

donde

$$\frac{\hat{q}H}{n+1} = Q(0)\text{ , siendo } Q(x) = \int_x^H q(t)dt \quad (4)$$

el cortante, y de donde el momento $M(x)$ se obtiene por

$$M(x) = -\int_x^H Q(s)ds = \int_0^x Q(s)ds + M(0) \quad (5)$$

Introduciendo los parámetros positivos ν, s, λ y la nueva variable ξ definidos por

$$s^2 = \frac{K}{C\nu^2},\ \nu^2 = 1+\frac{K}{K_0},\ \lambda = \frac{H}{s},\ \xi = \frac{x}{H} \quad (6),$$

(1),(2) y (3) se transforman en

$$u^{(4)}(\xi) - \lambda^2 u^{(2)}(\xi) = g(\xi);\ ;0\le\xi\le 1 \quad (7)$$

$$\text{con } g(\xi) = \lambda^4 s^4 \hat{q}\xi^n + \lambda^4 s^2 \frac{\nu^2-1}{\nu^2}\tilde{M}(\xi) \quad (8)$$

$$u\ (0) = u^{(1)}(0) = 0, u^{(2)}(1) = 0, u^{(3)}(0) = -\frac{\lambda^4 s^4 \hat{q}}{n+1} \quad (9)$$

donde introducimos la notación $\tilde{f}(\xi) = f(H\xi)$ para funciones $f(x)$ y donde

$$u(\xi) = K\tilde{y}(\xi) = Ky(H\xi) \quad (10)$$

De (2), (4) y (5) encontramos

$$\tilde{M}(\xi)=\frac{\lambda^4 s^4 \hat{q}}{(n+1)(n+2)}\left[-\xi^{n+2}+(n+2)\xi-(n+1)\right] \quad (11)$$

Para encontrar la solución del problema planteado por (7), (8), (9) y (11), escribimos en lugar de (9)

$$u\ (0)=u^{(1)}(0)=0, u^{(2)}(0)=\theta, u^{(3)}(0)=-\frac{\lambda^4 s^4 \hat{q}}{n+1} \quad (12)$$

donde θ es una constante que falta por determinar. Introducimos la solución fundamental

$$E\ (\xi)=\frac{1}{\lambda^3}h(\xi)[senh(\lambda\xi)-\lambda\xi] \quad (13)$$

del operador $L=\frac{d^4}{d\xi^4}-\lambda\frac{d^2}{d\xi^2}$ (es decir $LE(\xi)=\delta(\xi)$ la delta de Dirac), donde $h\ (\xi)$ es la función de Heavisíde (igual a 0 para $\xi<0$ e igual a 1 para $\xi>0$). Escribiendo

$$\mathrm{v}\ (\xi)=h(\xi)u(\xi),$$

obtenemos de (7) y (12) la ecuación diferencial (en sentido distribucional)

$$\mathrm{v}^{(4)}(\xi)-\lambda^2\mathrm{v}^{(2)}(\xi)=h(\xi)g(\xi)-\frac{\lambda^4 s^4 \hat{q}}{n+1}\delta(\xi)+\theta\delta^{(1)}(\xi),$$

con solución

$$\mathrm{v}\ (\xi)-E(\xi)*\left[h(\xi)g(\xi)-\frac{\lambda^4 s^4 \hat{q}}{n+1}\delta(\xi)+\theta\delta^{(1)}(\xi)\right]=$$

$$=h\ (\xi)\int_0^\xi E(\xi-t)g\ (t)dt-\frac{\lambda^4 s^4 \hat{q}}{n+1}E\ (\xi)+\theta E^{(1)}(\xi),$$

donde * es el producto de convolución. De aquí se obtiene finalmente, con (13),

$$u\ (\xi)=\frac{1}{\lambda^3}\int_0^\xi\left\{senh[\lambda\ (\xi-t)]-\lambda\ (\xi-t)\right\}g\ (t)dt$$

$$-\frac{\lambda\, s^4 \hat{q}}{n+1}[senh(\lambda\xi)-\lambda\xi]+\frac{\theta}{\lambda^2}[\cosh(\lambda\xi)-1] \quad (14)$$

De (14) obtenemos

$$u^{(2)}(\xi)=\frac{1}{\lambda}\int_0^\xi senh[\lambda\ (\xi-t)]g\ (t)dt$$

$$-\frac{\lambda^3 s^4 \hat{q}}{n+1}senh(\lambda\xi)+\theta\cosh(\lambda\xi),$$

de donde, aplicando la condición $u^{(2)}(1)=0$ en (9), obtenemos una expresión para θ la cual por sustitución en (14) lleva a

$$u\ (\xi)=\lambda s^4\hat{q}\left[\int_0^\xi\left\{senh[\lambda\ (\xi-t)]-\lambda\ (\xi-t)\right\}g^*(t)dt\right.$$

$$\left.-\frac{1}{n+1}[senh(\lambda\xi)-\lambda\xi]+\frac{Cosh(\lambda\xi)-1}{Cosh\lambda}\left(\frac{Senh\lambda}{n+1}-I\right)\right] \quad (15)$$

donde $I=\int_0^1 senh[\lambda(1-t)]g^*(t)dt$ (16)

$$g^*(t)=t^n+\frac{\lambda^2(v^2-1)}{v^2(n+1)(n+2)}\left[-t^{n+2}+(n+2)t-(n+1)\right] \quad (17)$$

El cómputo de la función

$$\phi(\xi)=\int_0^\xi\left\{senh[\lambda(\xi-t)]-\lambda(\xi-t)\right\}g^*(t)dt \quad (18)$$

que aparece en (15), requiere de la evaluación de integrales de la forma

$$I_m(\xi)=\int_0^\xi senh(\lambda(\xi-t))t^m dt; m=0,1,2,... \quad (19)$$

y $$L_m(\xi)=\int_0^\xi(t-\xi)t^m dt; m=0,1,2,... \quad (20)$$

Es fácil ver que $$L_m(\xi)=-\frac{\xi^{m+2}}{(m+1)(m+2)} \quad (21)$$

Para $I_m(\xi)$ encontramos la fórmula de reducción

$$I_m(\xi)=-\frac{\xi^m}{\lambda}+\frac{m(m-1)}{\lambda^2}I_{m-2}(\xi); m=2,3,... \quad (22)$$

con

$$I_0(\xi)=\frac{1}{\lambda}[\cosh(\lambda\xi)-1],\ I_1(\xi)=-\frac{\xi}{\lambda}+\frac{1}{\lambda^2}senh(\lambda\xi) \quad (23)$$

Por las potencias de λ en los denominadores, estas fórmulas no sirven para cálcular y gráficar $u(\xi)$ y sus derivads para valores pequeños de λ, y este problema se agrava mientras más grande m. Sim embargo, tenemos las relaciones

$$\frac{\lambda^{m+1}}{m!}\mathrm{I}_m(\xi)=senh(\lambda\xi)-\lambda\xi-\frac{\lambda^3\xi^3}{3!}-\ldots-\frac{\lambda^m\xi^m}{m!}$$

para m impar (24),

$$\frac{\lambda^{m+1}}{m!}\mathrm{I}_m(\xi)=\cosh(\lambda\xi)-1-\frac{\lambda^2\xi^2}{2!}-\frac{\lambda^4\xi^4}{4!}\ldots-\frac{\lambda^m\xi^m}{m!}$$

para m par (25),

de donde se obtiene

$$I_m(\xi)=\lambda m!\,\xi^{m+2}.\sum_{k=0}^{\infty}\frac{\lambda^{2k}\xi^{2k}}{(m+2k+2)!};0\le\xi\le 1(m=0,1,2,3,\ldots)\quad(26)$$

De (15)-(20) tenemos, introduciendo $\psi(\xi)$ definida por

$$\psi(\xi)=I_n(\xi)+\lambda L_n(\xi)+\frac{\lambda^2(\mathrm{v}^2-1)}{\mathrm{v}^2(n+1)(n+2)}\left[-I_{n+2}(\xi)-\lambda L_{n+2}(\xi)\right.$$

$$\left.+(n+2)\{I_1(\xi)+\lambda L_1(\xi)\}-(n+1)\{I_0(\xi)+\lambda L_0(\xi)\}\right]\quad(27)$$

$$u\ (\xi)=\lambda\, s^4\hat{q}\psi(\xi)+\lambda\, s^4\hat{q}\left[-\frac{1}{n+1}\{senh(\lambda\xi)-\lambda\xi\}\right.$$

$$\left.+\frac{\cosh(\lambda\xi)-1}{\cos n\lambda}\left(\frac{senh\lambda}{n+1}-I\right)\right];0\le\xi\le 1\quad(28)$$

donde $L_m(\xi)$ está dada por (21), y

$$I=I_n(1)+\frac{\lambda^2(v^2-1)}{v^2(n+1)(n+2)}\left[-I_{n+2}(1)+(n+2)I_1(1)-(n+1)I_0(1)\right]\quad(29)$$

Implementamos (24)-(29) en un programa con Mathematica para calcular y graficar $u(\xi)$ y sus primeras tres derivadas. Los experimentos numéricos realizados confirman que Mathematica evalua correctamente la serie infinita en (26) (los resultados son idénticos a los que se obtienen de (22),(23) ó (24),(25)) para un amplio rango de variación de m y λ, aunque (como es de esperar) empiezan problemas con la precisión cerca de $\xi=1$ para valores grandes de λ. Para $\lambda\ge 1$ efectuamos los calculos usando (24),(25) en lugar de (26). Algunos resultados gráficos se muestran al final de este trabajo. El programa también permite la salida de valores puntuales de $u(\xi)$ y sus primeras tres derivadas. Suprimiendo la asignación de valores numéricos a $\lambda, H, \hat{q}$ y v el programa permite la salida de $u(\xi)$ y estas derivadas en forma analítica para valores seleccionados de n..

Es de interés graficar $u^{(k)}(\xi)(k=0,1,2,3)$ como funciones $u^{(k)}(\xi,\lambda)$ de λ para valores seleccionados de $\xi\in[0;1]$. Consideremos ahora el caso límite $\lambda\to 0$ (lo que según (6) implica que $S\to\infty$ de tal manera que λs queda constantemente igual a H). Sustituyendo λ=0 en (7),(8),(11) obtenenemos la ecuación diferencial.

$$u^{(4)}(\xi)=H^4\hat{q}\xi^n;0\le\xi\le 1\quad(30)$$

con $u(0)=u^{(1)}(0)=0,u^{(2)}(1)=0,u^{(3)}(0)=-\frac{H^4\hat{q}}{n+1}$ (31)

como condiciones de borde, según (9). De (30),(31) se obtiene la solución (usando (21))

$$u_0(\xi)=\frac{H^4\hat{q}}{(n+1)(n+2)}\left[-(n+1)L_0(\xi)+(n+2)L_1(\xi)-L_{n+2}(\xi)\right]\quad(32)$$

Usando desarrollos de Taylor de las funciones hiperbólicas involucradas, podemos verificar que $u^{(k)}(\xi,\lambda)\to u_0{}^{(k)}(\xi)$ en $0\le\xi\le 1$ si $\lambda\to 0$, para todo k. Este resultado se obtiene sin la necesidad de explicar $\lambda\to\infty$ en (6) via $k\to\infty$ o $Cv^2\to\infty$. Observemos que $u_0(\xi)$ no depende de v.

Para las gráficas de $u(\xi,\lambda)$ en funcion de λ, para valores seleccionados de ξ, nuestro programa produce gráficas decrecientes ($u(\xi,\lambda)$ asumiendo su valor máximo $u_0(\xi)$ en $\lambda=0$). Para $\xi=1$ encontramos que $u(1,\lambda)$ tiene para $\lambda\to\infty$ una asíntota horizontal a la altura de

$$u(1,\infty)=\frac{H^4\hat{q}(v^2-1)}{v^2(n+1)(n+2)}\left[-L_{n+2}(1)+(n+2)L_1(1)-(n+1)L_0(1)\right]\quad(33)$$

De (32), (33) obtenemos la razón

$$\frac{u(1,\infty)}{u_0(1)}=\frac{v^2-1}{v^2}\quad(34)$$

la cual es independiente de n. Por razones de espacio dejaremos para una publicación futura el estudio mate-

mático de las gráficas de $u(\xi,\lambda)$ para valores $\xi \neq 1$ y el estudio de las gráficas de las $u^{(k)}(\xi,\lambda)$. Sin embargo, se presentan algunos resultados gráficos al final de este trabajo, para los casos $n=0$ (carga uniforme) y $n=1$ (carga triangular) solamente, pero es igualmente sencillo obtenerlas para cualquier valor de n.

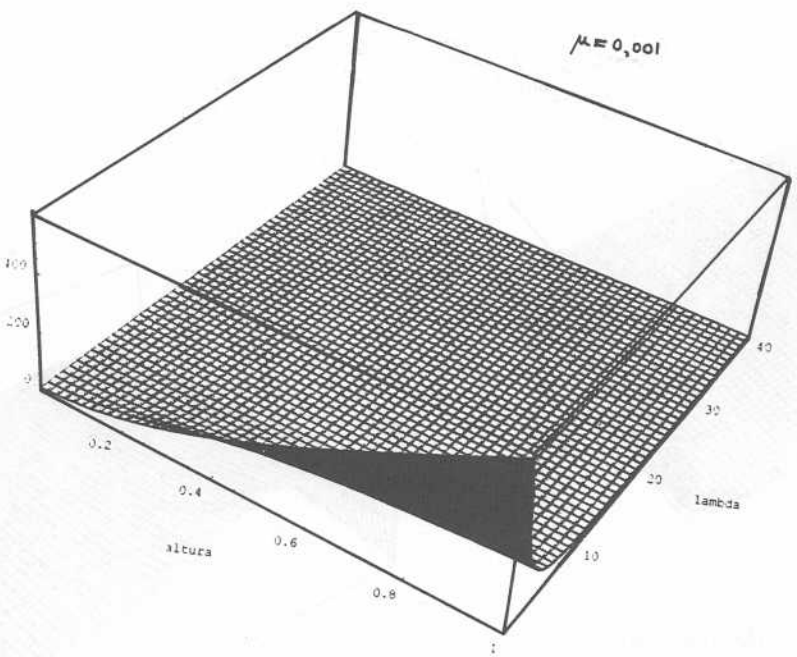
También programamos las salidas de las gráficas de $u^k(\xi,\lambda)(k=0,1,2,3)$ como funciones simultáneas de ξ y λ. Ejemplos de las superficies correspondientes se muestran al final del trabajo. Partiendo de (27)-(29), y las relaciones

$$I_m^{(1)}(\xi) = mI_{m-1}(\xi), L_m^{(1)}(\xi) = mI_{m-1}(\xi); m \geq 1 \quad (35)$$

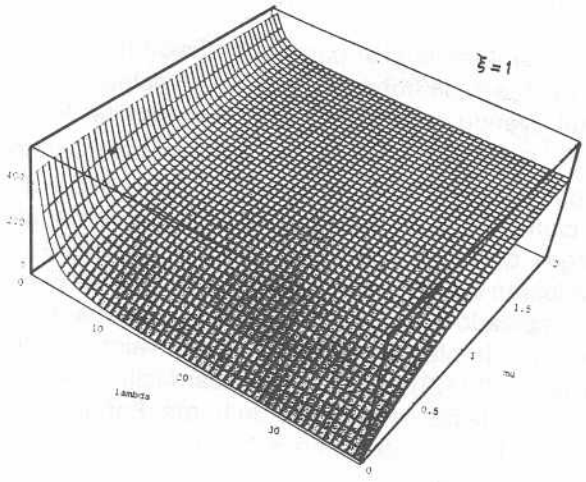
la programación de las derivadas es sencilla (aunque los casos $n=0,1,2$ deben tratarse por separado).

También podemos representar superficies en función de ξ,ν o λ,ν como variables independientes.

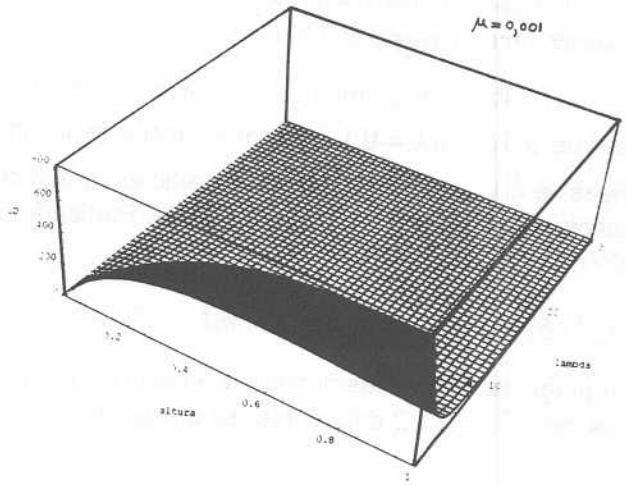
La fórmula (15) para la solución del problema de valores en la frontera (7),(9) es completamente general, siendo válida para cualquier término forzante $g(\xi)$. Este hecho permite abordar matemáticamente (o por lo menos numéricamente) un sin número de situaciones más generales, para una gran variedad de cargas q(x) diferentes, incluso con situaciones que involucran a cargas y/o momentos puntuales. El método empleado arriba (reducción del problema de valores en la frontera a un problema de valores iniciales iniciales (7),(12)) permite acomodar fácilmente modificaciones de las condiciones de borde. Esperamos, en trabajos futuros, atender a estas generalizaciones del presente trabajo.



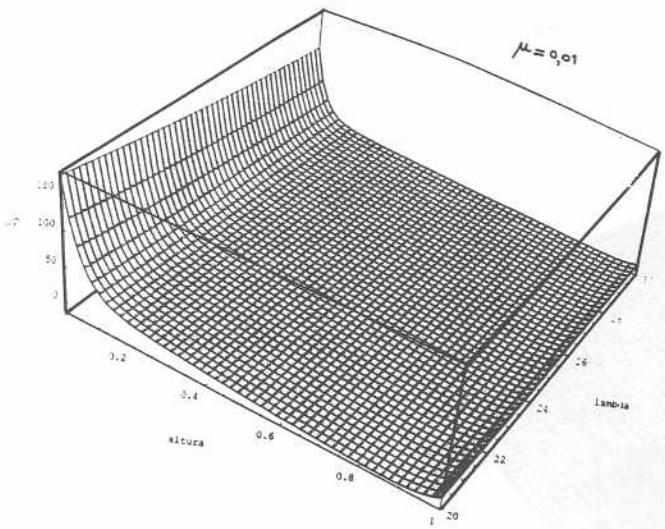
Gráfica 1: μ(Deflexión)



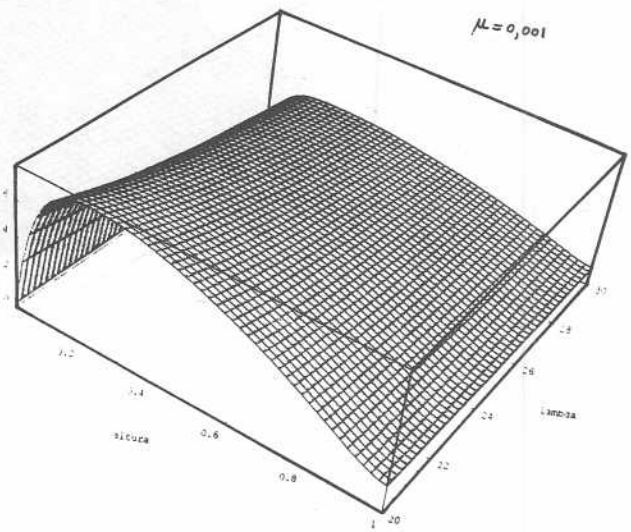
Gráfica 2: Flechas en el tope



Gráfica 3: μ'(Pendiente)



Gráfica 4: Kμ''(Momentos)



Gráfica 5: Kμ'''(Cortantes)

Bibliografía

[1] Murashev V.I.; Sigalov E.V.; Baykov J. "Design of Reinforced Concrete Structures" Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, 1971

[2] Paparoni Mario "Predimensioning of Tall Reinforced Concrete Buildings" Presented to A.C.I. Convention, Puerto Rico, December 1980.- Later published in a Spanish Version in the I.M.M.E. Bullettin N° 72-73 pp 101-164 U.C.V. – Caracas Venezuela. 1983 (Jan-Dec)

[3] Casadei, Rosanna "Predimensionamiento de Edificios Altos Apantallados" UCLA, Barquisimeto-Noviembre 1983.

[4] Cantelmi, Bruno; Gil Alonso; Goncalves, Donaldo. "Estudio de combinaciones Tipicables para Edificios Mixtos y Complejos" (Combinaciones de Pórticos y Pantallas) – U.C.V. – Octubre 1986.

[5] Mercado M., Zoraima; Sierra M., Emilio; Rojas R. Angel R. "Análisis de las Ecuaciones del Método del Medio Continuo Equivalente para el Dimensionamiento de Edificios, haciendo uno de calculadora de bolsillo programables en BASIC" U.C.V. – Junio 1987.

[6] Kameo, Aharón; Sanz, Carlos, "Problemas de Deriva Sísmica en Edificios. Estudio Paramétrico de las Variables Sistémicas que inciden sobre la Deriva de un Pórtico" UNIMET- Septiembre 1988.

[7] Akel, Gamal; Barreiro B., Foraco, Andrés. "Análisis de una Población de Estructuras Semi-Prismáticas por los Métodos del Continuo Equivalente y Discretos" U.C.V. – Septiembre 1988.

[8] Fuentes C. Eyslen; Pereira, Wilfren. "Estudio de las Soluciones del Método del Medio Continuo para Estructuras de Bajo Acoplamiento" U.C.V. – 1988 (Tratamiento Matemático del Problema).

[9] Bonato P.; Leonardo.; Petrocinio A., Yajaira C. "Compendio de Medios Gráficos de Variables Configuracionales para el Predimensionado de Estructuras Aporticadas." UNIMET – Septiembre 1989.

[10] Gonzalez R., Claudio A.; Gutiérrez C.; Oscar J.; Saputelli M. Fabrizio. "El haz y la Celda en un Pórtico, Investigación Experimental para su Validez". UNIMET – Abril 1990.

[11] Melandri Majónica, Mónica "Verificación Matricial de Variables Configuracionales en Estructuras Aporticadas" UNIMET – Septiembre 1991.

[12] Paparoni Mario "Predimensionamiento de Edificios Altos de Concreto Armado" (Libro) Ediciones SIDETUR – Caracas - Venezuela – Febrero 1991

[13] Casadei Rosanna "Variables determinantes en la obtención de la capacidad sismoresistente de una estructura aporticada de concreto armado", Universidad Centro Occidental "Lisandro Alvarado". Decanato de Ingeniería Civil.

Estudio del equilibrio líquido–vapor de una solución acuosa no ideal. Sistema metanol–agua.

María Isabel López y Abraham Serruya
Departamento de Química, Escuela de Ingeniería Industrial,
Universidad Católica Andrés Bello.

Resumen

Se estudió el comportamiento de soluciones acuosas de metanol en una columna de fraccionamiento de seis platos, encontrándose que el metanol es más volátil que el agua a cualquier composición. Los valores experimentales presentan temperaturas menores que las predichas por la ley de Raoult a la presión de trabajo, 687 mmHg, considerando comportamiento ideal del vapor. Se presenta, entonces, una desviación positiva de dicha ley. Esto indica que, para la fase de líquido, la mezcla es más volátil que la disolución ideal, es así que las atracciones moleculares en la solución son más débiles que las de los compuestos puros.

1. Introducción

El desarrollo de modelos matemáticos que describen el comportamiento termodinámico de soluciones acuosas, aplicado al equilibrio líquido-gas en disoluciones binarias [1-4] se fundamenta en una distribución local en el líquido de la composición como consecuencia del tamaño y las interacciones moleculares (efectos polares entre los componentes de la solución que pueden generar asociaciones, disociaciones y/o solvatación de los componentes de la misma). En la casi totalidad de los casos las soluciones se desvían de la idealidad, no obedecen a la ley de Raoult, de tal forma que los coeficientes de actividad son diferentes de la unidad. Los modelos pretenden establecer correlaciones que predigan la composición real de la solución y el comportamiento de las mismas.

En esta primera etapa de nuestro estudio trabajaremos soluciones acuosas de metanol evaluando el equilibrio líquido-gas en una columna de fraccionamiento considerando que la fase de vapor se comporta idealmente y caracterizando la fase líquida bajo condiciones isobáricas.

2. Experimental

2.1. Aspectos generales

Los experimentos se realizaron en una columna de fraccionamiento Scott modelo 9079 (Scott Engineering Sciences), construida en el laboratorio. La columna presenta seis platos, cada uno consta de una sección tubular de vidrio Pyrex de 7,6 cm de diámetro interno y 15,2 cm de alto, unida en sus extremos a sendos anillos de acero inoxidable presentando tres conectores: uno permite la carga de la alimentación y/ o la corriente de reflujo del destilado, otro para la toma de muestras y en el tercero se ubicó un juego de termopares para determinar la temperatura de cada plato. La base de cada anillo fue un disco perforado de acero inoxidable que permite tanto el ascenso de la fase gaseosa como el escurrimiento de la fase condensada de tal forma de establecer el equilibrio líquido-gas en los platos. La columna mide entonces 1,2 m de altura y está acoplada en la parte inferior al calderín y en la superior al condensador.

El calderín es un recipiente de acero inoxidable de 22 litros de capacidad cuyas paredes se encuentran aisladas térmicamente por material cerámico, todo el conjunto se encuentra rodeado por una carcasa cilíndrica de aluminio. Una resistencia eléctrica con un sistema de seguridad permite controlar la temperatura de calentamiento de la solución a destilar. Presenta un conector para inyectar la carga a través de una válvula de acople de toma rápida. El condensador es un tubo cilíndrico de vidrio Pyrex en cuyos extremos se encuentran dos conectores de acero, un eje concéntrico guía un tubo aluminizado presentando un área de superficie de contacto de 1394 cm^2, en cuyo interior circula agua como refrigerante, en un sistema abierto, a contracorriente con respecto al vapor que proviene de la columna. Un recipiente colector del destilado se encuentra conectado a la parte inferior del condensador, es tubo de vidrio Pyrex de 1 litro de capacidad, presenta válvulas que permiten el retorno del destilado al tanque de alimentación, drenaje del destilado y conexión a la bomba de reflujo. Un tablero con las conexiones eléctricas, medidores e interruptores permite controlar la temperatura del calderín, precalentamiento de la alimentación y corriente de reflujo, y activar las distintas bombas del equipo. En la Figura 1 aparece un esquema del equipo anteriormente descrito.

Un sistema de termopares del tipo NiCr-Ni se encuentran distribuidos en los componentes del equipo el calderín, los platos, el condensador, línea de destilado y reflujo. La temperatura se determinó a partir de la diferencia de potencial que reproduce el termopar registrada por un milivoltímetro. Mediante una curva de calibración temperatura-potencial se obtuvo la variable de interés.

2.2. Procedimiento

Se realizó la destilación por carga de 20 l de solución acuosa 15%pxp en CH3OH, la solución fue transferida del tanque de alimentación al calderín por medio de una bomba. Se calentó la solución aplicando una corriente de 6 A a la resistencia en el calderín controlándola continuamente mediante un reóstato. Se activó el flujo de refrigerante por el condensador, incrementándose la velocidad a medida que transcurre el calentamiento de la solución para evitar sobrecalentamiento en la zona del condensador más cercana a la columna de fraccionamiento. Se conectó el milivoltímetro al circuito de termopares y mediante un selector se eligió la zona de interés ha determinar la temperatura. Una vez que el proceso de destilación se ha estabilizado y se tiene el recipiente colector del destilado lleno en sus $^3/_4$ partes, se determinó la temperatura de cada plato midiendo el potencial del termopar. Simultáneamente se tomó una muestra de la fase gaseosa en los platos por medio de una inyectadora, empleando el conector de toma de muestra del anillo de cada plato en la columna. Se determinó entonces la concentración del vapor condensado midiendo el índice de refracción, n, de la solución en un refractómetro Abbe, así se tiene la temperatura del vapor en el plato correspondiente y la composición de la fase gaseosa en el mismo plato. A partir de estos valores se determinó el diagrama de fases líquido-vapor para el sistema metanol agua. Los experimentos se realizaron a la presión atmosférica de 687,0 ± 0,3 mmHg.

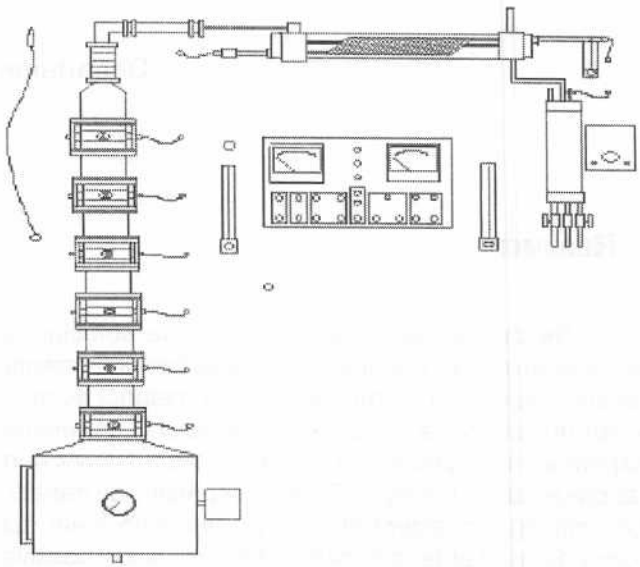


Figura 1: Representación esquemática del sistema de destilación, Scott 4079, que presenta 6 platos teóricos. Se muestran el calderín, la columna de fraccionamiento, el condensador, el recipiente colector del destilado y el panel de control [5].

3. Resultados y Discusión

3.1.- Determinación del diagrama de fase líquido-vapor T-x a P_{atm} 687 mmHg

La presión total del vapor en equilibrio con la disolución de metanol, considerando comportamiento ideal, a presión fija, $P = P_{atm}$, puede expresarse como:

$$P = P_{CH_3OH} + P_{H_2O} \quad (1)$$

aplicando la ley de Raoult y tomando en cuenta la temperatura de ebullición de la solución la ecuación anterior se transforma en:

$$P_{atm} = x_{CH_3OH,l} P^*_{CH_3OH}(T) + (1 - x_{CH_3OH,l}) P^*_{H_2O}(T) \quad (2)$$

donde P_{atm} es la presión a la cual se forma el vapor, $P^*_{CH_3OH}(T)$ y $P^*_{H_2O}(T)$ son las presiones de vapor de metanol y agua puros en función de la temperatura y $x_{CH_3OH,l}$ es la fracción molar del soluto en la disolución líquida. Se puede, entonces, determinar gráficamente la dependencia entre la fracción molar de metanol en el líquido a cualquier temperatura, T, a partir de la ec. (2) como:

$$x_{CH_3OH,l} = \frac{P_{atm} - P^*_{H_2O}(T)}{P^*_{CH_3OH}(T) - P^*_{H_2O}(T)} \qquad (3)$$

donde, $P^*_{CH_3OH}(T)$ y $P^*_{H_2O}(T)$ se pueden obtener aplicando la ecuación de Clapeyron. Para representar la dependencia del vapor, la ley de Raoult se puede escribir:

$$x_{CH_3OH,v}P = x_{CH_3OH,l}P^*_{CH_3OH} \qquad (4)$$

donde la presión total del vapor, P, puede aproximarse a P_{atm} y sustituyendo la ec.(3) se obtiene:

$$x_{CH_3OH,v} = \frac{P^*_{CH_3OH}(T)}{P_{atm}} \frac{P_{atm} - P^*_{H_2O}(T)}{P^*_{CH_3OH}(T) - P^*_{H_2O}(T)} \qquad (5)$$

Cuando la presión P se ha fijado, la temperatura varía con la composición en equilibrio, de acuerdo con lo establecido por la regla de las fases de Gibbs, según la cual el equilibrio estudiado presenta un grado de libertad. A una presión dada el intervalo de temperaturas está limitado por las temperaturas de saturación del metanol y del agua, las cuales corresponden a las presiones de vapor que ejercen los componentes puros iguales a P_{atm}. Con el fin de construir el diagrama T-x, el procedimiento más simple es seleccionar las temperaturas entre el punto de ebullición del metanol y del agua puros a la presión $P = P_{atm}$, Tabla 1, calcular las presiones de saturación correspondientes mediante Clapeyron y evaluar la composición aplicando las ec. (3) y (5).

En la Figura 2(a) se muestra el diagrama de fases líquido-vapor T-x para la disolución a la presión de 687 mmHg. La curva infe-rior, o, línea del líqui-do, representa la variación del punto de ebullición de la solución en función de la composición, también conocida como líquido saturado, aquí aparece la primera burbuja de vapor. La composición de dicho vapor en equilibrio con la disolución líquida se encuentra extrapolando a T constante hasta alcanzar la curva superior, o, línea del vapor, en ésta, la última fracción de líquido se evapora definiéndose los estados de vapor saturado. La región de dos fases se ubica entre las curvas. Las coordenadas por debajo de la línea de equilibrio del líquido favorecen dicha fase, región de líquido subenfriado, mientras que en los puntos por encima de la línea del vapor la disolución se ha evaporado totalmente, región de vapor sobrecalentado.

Tabla 1: Valores calculados para la determinación de las líneas de equilibrio del líquido y el vapor que definen el diagrama de fases para el sistema metanol agua a 687 mmHg.

T/°C	$P^*_{CH_3OH}$(T)/mmHg[a]	$P^*_{H_2O}$(T)/mmHg[b]	x_{CH_3OH}[c]	$x_{CH_3OH,v}$[d]
62,1	687,0	172,6	1,00	1,00
65	767,2	196,1	0,86	0,96
70	921,1	242,1	0,66	0,89
75	1100,1	297,1	0,49	0,78
80	1307,2	362,4	0,34	0,65
85	1545,9	439,7	0,22	0,50
90	1819,8	530,6	0,12	0,32
95	2132,7	637,1	0,03	0,10
97,1	2276,0	686,8	0,00	0,00

[a] Ec. Clapeyron (d lnP/dT)=(ΔH/RT^2) tomando como referencia 62,1 °C y 8430 cal/mol, temperatura de ebullición y el calor de vaporización para el metanol. [b] Ec. Clapeyron (d lnP/dT)=(ΔH/RT^2) tomando como referencia 97,1 °C y 9717 cal/mol para el agua. [c] Ec. (3). [d] Ec. (5)

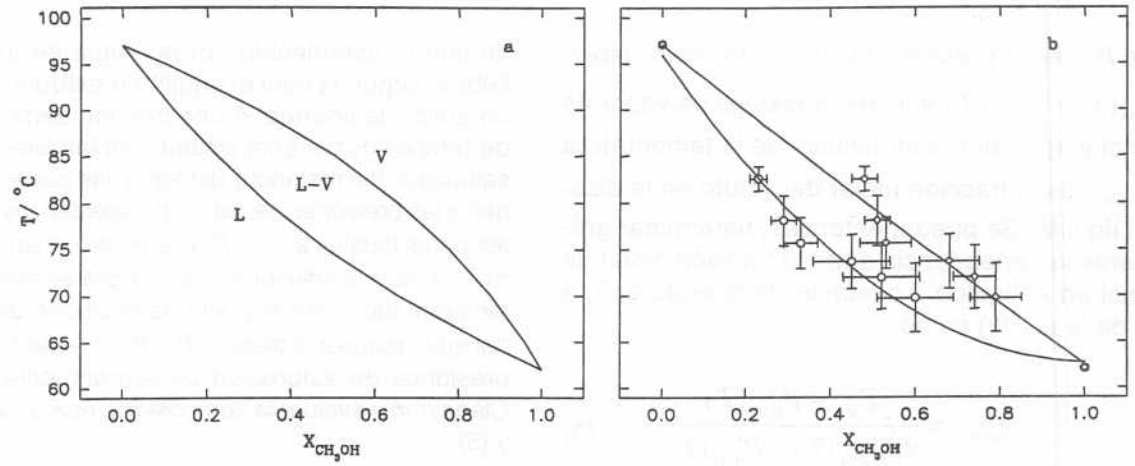


Figura 2: (a) Diagrama de fase líquido-vapor T-x_{CH3OH} obtenido a la presión de 687 mmHg, según desarrollo de la sección 3.1. L define la fase líquida y la línea del punto de ebullición de la solución; V corresponde a la fase gaseosa y define la línea de equilibrio del vapor saturado, y L-V es la región de equilibrio de las dos fases. (b) Coordenadas experimentales que definen las líneas de líquido (o) y del vapor (◊) obtenidas según la sección 3.2. Las barras de error corresponden al promedio de cinco experimentos.

3.2.- Determinación experimental de las coordenadas del vapor y del líquido saturado para el diagrama de fase líquido-vapor T-x a P_{atm} 687 mmHg

Una vez que la columna de fraccionamiento se ha estabilizado, secciones 2.1 y 2.2, se determinó la temperatura del plato, T, midiendo el potencial del termopar, y la composición de la fase gaseosa, $x_{CH_3OH,v}$, a partir del índice de refracción. En la Tabla 2 aparecen los valores obtenidos a la presión atmosférica, los resultados corresponden al promedio de cinco experimentos independientes bajo condiciones similares.

En fase gaseosa, el intervalo de presiones de vapor de cada componente en la mezcla, Tabla 2, arroja valores mucho menores que las presiones críticas para dichos componentes. Por lo tanto, la presión reducida tiende a cero [6,7] de tal forma que las interacciones moleculares en el vapor se consideran despreciables a cualquier temperatura reducida, $Z \rightarrow 1$, así el vapor se comporta idealmente.

A partir de los valores de la Tabla 2 se aprecia que a medida que ascendemos por la columna la temperatura disminuye y el vapor progresivamente se enriquece en el componente más volátil, metanol. Si la columna presenta una alta eficiencia de separación de los componentes, en los platos más elevados la temperatura alcanzará valores cercanos a la temperatura de saturación del metanol y por lo tanto la composición de la fase gaseosa es muy elevada en el componente más volátil a la presión que se generó el vapor. Sin embargo, en los platos inferiores la composición es más rica en agua, componente menos volátil, y las temperaturas tienden a la de saturación del solvente. Es así como la composición define la temperatura, distribuyéndose a lo largo de la columna separando los componentes de la disolución gradualmente, en cada plato.

Tabla 2: Valores experimentales de T y obtenidos de la columna de fraccionamiento Scott, se muestra la presión de vapor de metanol y la composición de la disolución líquida en cada plato a la presión fija de 687 mmHg.

Plato	T/°C	$x_{CH_3OH,v}$ [a]	$P^*_{CH_3OH}(T)$/mmHg [b]	x_{CH_3OH} [c]
1	82,5±1,3	0,48±0,03	1421,5±63,6	0,23±0,02
2	78,5±2,4	0,51±0,03	1226,1±114,7	0,29±0,03
3	75,6±2,4	0,53±0,05	1126,2±106,9	0,33±0,04
4	73,6±2,6	0,68±0,07	1051,8±108,1	0,45±0,09
5	71,9±3,1	0,74±0,05	991,2±121,9	0,52±0,09
6	69,7±3,3	0,79±0,06	916,7±123,9	0,60±0,09

[a] Valores experimentales. [b] Ec. Clapeyron (d lnP/dT)=($\Delta H/RT^2$) tomando como referencia 62,1 °C y 8430 cal/mol, temperatura de ebullición y el calor de vaporización para el metanol. [c] Ec. (4).

En la Figura 2(b) se comparan los valores experimentales que definen las líneas de equilibrio del líquido y el vapor con las respectivas del diagrama esperado, Figura 2(a), bajo las condiciones de trabajo, sección 3.1. Los valores experimentales se encuentran o definen temperaturas más bajas tanto para la línea de saturación del líquido como la del vapor, una desviación negativa con respecto al diagrama esperado. Bajas temperaturas se asocian con presiones de vapor elevadas por lo que se deduce que la disolución destila a presiones más altas que las predichas por el comportamiento ideal a una temperatura dada y el sistema presenta entonces una desviación positiva con respecto a Raoult.

Dicha desviación se debe a que la disminución del potencial químico que sufre cada componente al formarse la solución es menor que el valor esperado si fuese ideal ($G_{exceso} > 0$) ya que dicha disminución no sólo va a depender de la cantidad de alcohol disuelta. La contribución del calor de disolución, -7,3 KJ/mol [8], debería incrementar el descenso del potencial químico; sin embargo, la formación de clusters metanol-agua [9], cuya composición depende de la concentración del soluto, genera ordenamiento de la fase líquida, de tal forma que la entropía de la solución debe disminuir con respecto al valor ideal. Este efecto sería el responsable de la desviación observada.

Es importante destacar que, pese a la ausencia de idealidad, para cualquier composición el vapor es más rico en metanol que el líquido en equilibrio y no se presenta la formación de un azeótropo, lo cual permite el fraccionamiento en la columna para cualquier intervalo de composiciones. Este comportamiento es similar al reportado en un rango de presiones menores o iguales a 1,0 atm [10].

4. Conclusiones

El diagrama líquido-vapor, obtenido experimentalmente, para el sistema metanol agua presentó desviación positiva con respecto a la ley Raoult. Encontrándose, que para la fase líquida, la mezcla es más volátil que la disolución con comportamiento ideal. Las interacciones moleculares particulares entre el metanol y el agua, que favorecen la formación de clusters moleculares, parecen ser la causa de esta desviación. Un punto interesante es que no se observa la formación de azeótropo. Bajo las condiciones de trabajo se consideró comportamiento ideal del vapor de tal forma que la ec. (1) tiene validez y se puede posteriormente evaluar la composición del líquido a partir de la ec.(4).

Agradecimiento

Agradecemos a la profesora Antonieta Melone por su colaboración en la discusión del presente trabajo.

Referencias

1. G.M. Wilson, J.Am. Chem. Soc., 86 (1964) 127.
2. H. Renon y J.M. Prausnitz, AIChE J., 14 (1968) 135.
3. D.S. Abrams y J. Prausnitz, AIChE J., 21 (1975) 116.
4. J.E. Sinor y J.H. Weber, J. Chem. Eng. Data, 5 (1960) 243.
5. Tomado con autorización: A. Melone, Manual de Laboratorio de Físico-Química, UCAB, Caracas, 1998.
6. L.C. Nelson y E.F. Obert, Generalized Compressibility Charts, Chem. Eng., 61 (1954) 3.
7. R. Perry: Manual del Ingeniero Químico, Sexta Edición, McGraw Hill, Impreso en Colombia, 1998. Pág. 3-141 (Tomo I).
8 I. Levine: FISICOQUIMICA, Cuarta Edición, McGraw Hill, España, 1996, Pág. 255
9. Y.C. Guillaume y C. Guinchard,, Anal. Chem., 70 (1998) 608.
10. R. Perry: Manual del Ingeniero Químico, Sexta Edición, McGraw Hill, Impreso en Colombia, 1998. Pág. 3-93 (Tomo I), 13-13 (Tomo IV).

Estudios sobre los esfuerzos de adherencia desarrollados entre el acero y el concreto con cabillas de diametro 3/8", 1/2", 5/8",3/4" Y 1".

Alexander O. Cedeño M.
Johnny González N.

Resumen

El concreto en masa presenta una buena resistencia a la compresión, como ocurre en algunas rocas naturales, pero ofrece escasa resistencia a la tracción por lo que resulta inadecuado para elementos estructurales que vayan a trabajar a tracción y flexión. Pero si se refuerza el concreto en masa disponiendo de barras de aceros en las zonas de tracción, el elemento resultante llamado concreto armado está en condiciones de poder absorber los distintos estados de solicitaciones que se presenten en la construcción.

Los iniciadores del concreto armado como material de construcción fueron los Franceses Monier y Coignet dando para la fecha de 1861 reglas para la fabricación de vigas, bóvedas, etc. Desde entonces a lo largo de casi mas de un siglo y medio la técnica de concreto armado ha experimentado un amplio desarrollo pudiendo decirse que en la actualidad ha llegado a ser de empleo preferente en numerosas aplicaciones, siendo estas más amplias que las de cualquier otro material de construcción.

El empleo del concreto armado resulta económico y casi siempre competitivo con el acero en perfiles, ofreciendo sobre estos la ventaja de su mayor monolitísmo y continuidad.

La durabilidad y resistencia al fuego del concreto son superiores a las que presenta la madera y el acero, siempre que los recubrimientos y la calidad de este sean acordes con las condiciones del medio que rodea las estructura. Sin embargo comparando con las estructura metálicas tiene el inconveniente de conducir a mayores dimensiones y pesos, así como a una menor rapidez de construcción, salvo en el caso de construcciones prefabricadas o industrializadas.

Por lo tanto uno de los fenómenos básicos sobre el que descansa el funcionamiento del concreto armado como material estructural es la adherencia entre el concreto y el acero. Si no existiera adherencia las barras de aceros o cabillas serian incapaces de tomar el menor esfuerzo de tracción ya que el acero deslizaría sin encontrar resistencia en toda su longitud y no acompañaría al concreto en sus deformaciones con lo que al fisurarse este sobrevendría bruscamente a la rotura. Por lo contrario gracias a la misma es capaz la armadura de trabajar inicialmente a la vez que el concreto. Después cuando este se fisura lo hace regularmente distribuido a lo largo de la pieza en virtud de la adherencia, permitiendo que el acero tome los esfuerzos de tracción, manteniendo la unión entre los dos (2) materiales en las zonas con fisuras.

La adherencia cumple dos objetivos, asegurar el anclaje, que esta dado por la longitud de desarrollo de la cabilla y transmitir los esfuerzos tangenciales periféricos que aparecen en la armadura principal como consecuencia de las variaciones de su tensión longitudinal. Además dicho fenómeno de adherencia está originado por dos tipos de causas, una de naturaleza físico - química y otra de naturaleza mecánica donde interviene la longitud de desarrollo.

La primera provoca la adhesión de acero y concreto a través de fuerzas capilares y moleculares desarrolladas en la interface, donde el acero absorbe pasta cementante ayudado por el efecto de retracción.

La segunda en la cual se concentra nuestro estudio, está constituido por la resistencia al deslizamiento debido a la penetración de la pasta de cemento en las irregularidades de la superficie de las barras de acero. Esta causa de origen mecánico que puede denominarse rozamiento, depende en gran parte de la longitud de desarrollo que tenga la barra sembrada dentro del concreto, así como el efecto de acuñamiento entre el concreto y los resaltos o estrías de las cabillas.

Como la longitud de desarrollo de una armadura es función de sus características geométricas de adherencia, de la resistencia del concreto, de la posición de la barra con respecto al concreto, del esfuerzo en la armadura y de la forma del dispositivo de anclaje por ello su cálculo es complicado y aún cuando el fallo del anclaje es un estado límite que debería dar origen en rigor al cálculo semiprobabilístico correspondiente en la práctica se sustituye por el empleo de longitudes de desarrollo dadas por fórmulas sencillas que tienden hacia el lado de la seguridad, pero incidiendo en forma contundente en el costo económico que la misma acarrea.

Cuando se proyecta una obra civil, uno de los aspectos en los que se tiene cuidado al momento de diseñar es la adherencia y en especial la longitud de anclaje. La razón fundamental en la determinación de las longitudes de desarrollo se debe a que las vigas sometidas a grandes solicitaciones tienden a agrietarse si los recubrimientos son delgados; produciéndose por consiguiente grietas en el plano de las barras. La longitud de desarrollo consiste por lo tanto, en la prolongación de la cabilla una cierta distancia mas allá de las secciones de esfuerzos máximos en el acero, para así asegurar la unión acero-concreto; sin embargo el prolongar demasiado las cabillas pudiera significar un gasto innecesario.

Desde hace varias décadas se ha venido estudiando la adherencia acero-concreto siendo Baus (1965), quien realizó múltiples ensayos para aceros con distintos esfuerzos de cedencia y con diferentes longitudes de anclaje, definiendo de esta manera las expresiones que miden las longitudes prácticas de desarrollo en función de la resistencia del concreto y de las longitudes de anclajes experimentales. Más tarde en nuestro país Ramos (1967) repite la experiencia pero sólo para cabillas de límite elástico 2400 Kg/cm^2, definiendo de esta forma una expresión que calculara la longitud práctica de anclaje para aceros con estas características. No fue sino hasta 1971 cuando las Normas ACI introducen en forma explícita la longitud de desarrollo satisfaciendo en un todo los requerimientos de adherencia por flexión y por anclaje.

En este Trabajo Especial de grado, el estudio se realizó en cabillas de acero especial por composición química A-42, con un limite elástico convencional de 4200 Kg/cm^2, de diámetros 3/8", 1/2", 5/8", 3/4" y 1", y las /longitudes practicas de desarrollo fueron de 5ϕ, 10ϕ y 15ϕ.

En total se ejecutaron 45 ensayos de extracción (Pull-Out) y 27 ensayos a compresión. A partir de los resultados se presenta una fórmula par la determinación de las longitudes de desarrollo la cual viene en función de los esfuerzos de adherencia correspondiente a una determinada longitud de desarrollo experimental y de la resistencia del concreto.

Finalmente, se hace una comparación de los resultados obtenidos en el presente trabajo, con las normas COVENIN-MINDUR, y con los resultados obtenidos por Baus en su trabajo titulado "Algunas consideraciones acerca de la adherencia acero-concreto ".

Descripción del ensayo de extracción Pull-Out

Consiste en someter a la cabilla embutida en el cilindro de concreto a una fuerza de compresión sobre el cilindro, ambas iguales pero de sentido contrario.

Por medio de este ensayo se busca medir los esfuerzos de adherencia que se desarrollan entre el concreto y el acero. Para determinar estos esfuerzos basta con dividir la fuerza de tracción requerida para producir un deslizamiento del extremo de la cabilla entre el área real de la sección transversal de la misma. Es importante señalar que el ensayo arroja valores de esfuerzos de adherencia superiores a los que se obtendrían en un modelo real, como por ejemplo vigas sometidas a flexión, causados por la fricción existente entre la cara inferior de la probeta y el cabezal de la máquina de ensayo, produciéndose esfuerzos de compresión que favorecen a la adherencia.

Es recomendable colocar en el modelo un refuerzo en espiral, para evitar una falla del concreto por tracción indirecta, que impediría conocer los esfuerzos máximos de adherencia que es capaz de desarrollar la cabilla.

Resultados de los ensayos

Una vez finalizado los ensayos, se procedió a elaborar los gráficos de esfuerzos – deslizamiento. En cada uno de los gráficos se presentan los resultados

de las tres probetas ensayadas para un diámetro y una longitud de desarrollo dada. Finalmente, en las gráficas III-1 al III-5 aparecen la curva promedio para cada diámetro y longitud de desarrollo.

En las tablas III-1 al III-5 se presentan los resultados del cálculo de los esfuerzos de adherencia correspondientes a un esfuerzo en el acero capaz de producir un deslizamiento de 0.1 mm en el extremo libre de la barra, mediante la expresión:

$$U(0.1) = \phi * \sigma(0.1) / (4 * la)$$

Donde:

ϕ = diámetro de la barra utilizada.

$\sigma(0.1)$ = Esfuerzo en el acero capaz de producir un deslizamiento 0.1mm en el extremo libre de la barra.

la = Longitud de adherencia.

Es de hacer notar, que un deslizamiento de 0.1 mm garantiza que no se produzca agrietamiento externo del cilindro, además se presentan resultados muy próximos a los que se obtendrían de realizar ensayos de flexión o "Beam-Test", así lo señala Ramos (1967), siendo por ende, un esfuerzo que garantiza una buena longitud de anclaje.

Dado que para una longitud de anclaje experimental de 15ϕ, todas las cabillas sobrepasaron el límite elástico para un deslizamiento 0.1 mm., el valor del esfuerzo del acero a considerar es el esfuerzo de cedencia.

Con el fin de homogeneizar los resultados para un mismo concreto, los esfuerzos de adherencia U(0.1) fueron corregidos por un factor el cual viene dado por la relación $\bar{\sigma}'b / \sigma'b$

Donde:

$\sigma'b$ = Valor medio de la resistente a compresión del concreto utilizado.

$\bar{\sigma}'b$ = Resistencia a compresión del concreto correspondiente a los vaciados de cada diámetro y cada longitud de anclaje. Dando como resultado los valores de esfuerzos de adherencia corregidos:

$$U'(0.1) = (U(0.1) * \bar{\sigma}'b)/ \sigma'b$$

Para cada diámetro y longitud de adherencia estudiado, se calculó el promedio de los tres ensayos que se denominó ($\bar{U}'(0.1)$). Un cálculo similar se realizó para los esfuerzos de adherencia máximos ($U_{máx}$). También se calcularon los coeficientes de variación correspondiente a cada grupo de los tres ensayos manteniendo constantes los diámetros y las longitudes de adherencia.

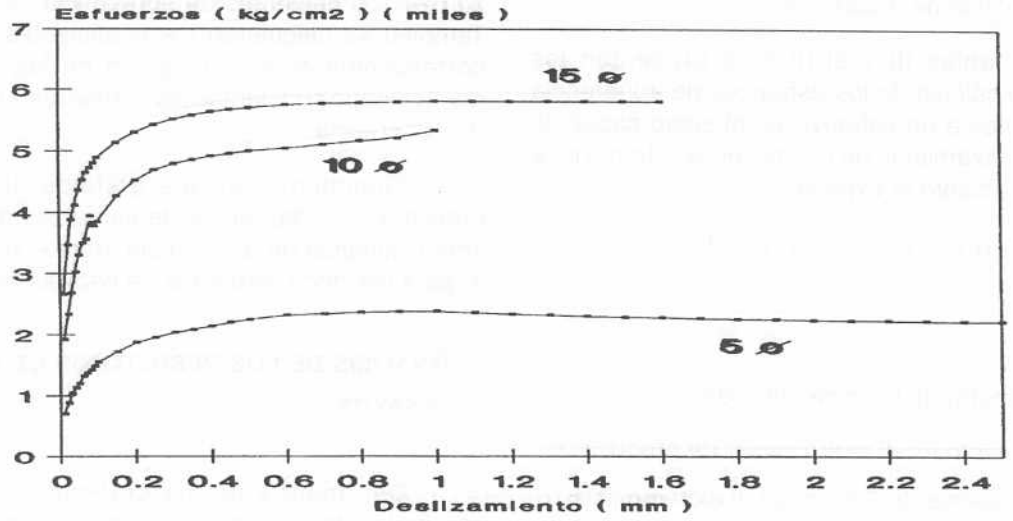
Finalmente, en los gráficos III-6 y III-7 se presentan los diagramas de esfuerzos de adherencia versus longitud de adherencia entre el diámetro (ladh/ϕ) para los cinco diámetros de cabillas estudiados.

Análisis de los resultados de los ensayos

Del análisis de los gráficos III-6 y III-7, los resultados de los ensayos indicaron lo siguiente:

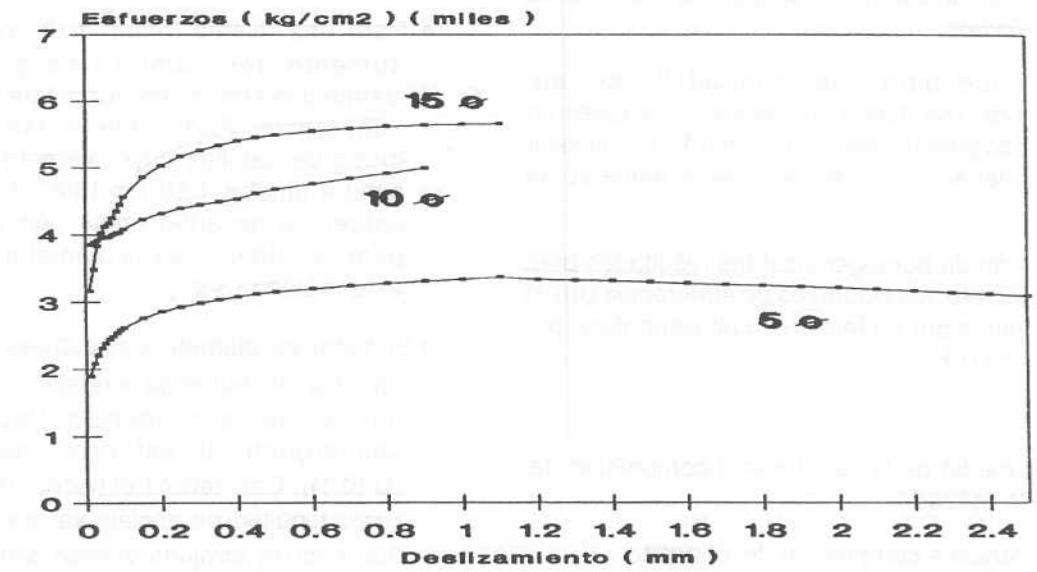
- A medida que se aumenta la longitud de anclaje experimental, disminuye la dispersión de resultados entre los diferentes diámetros de cabillas.
- Para todos los diámetros de cabillas estudiados, se verifica que un aumento de la relación (ladh/ϕ) conlleva a una disminución en los esfuerzos de adherencia ($\bar{U}'(0.1)$), al igual que los ($\bar{U}$máx).
- Para una misma longitud de adherencia, el aumento del diámetro no garantiza una disminución de los esfuerzos de los esfuerzos adherencia. Pudo observarse que para el grupo de cabillas cuyo diámetro es menor o igual a igual a 1.59 cm (5/8", 1/2", 3/8"), sus esfuerzos de adherencia son mayores que para las cabillas cuyos diámetros sobrepasan esta medida (3/4" y 1").
- En todos los diámetros de cabillas estudiados se observa que aumenta la relación (ladh/ϕ), existe una evidente tendencia hacia un valor convergente de esfuerzos de adherencia ($\bar{U}'(0.1)$). Esto ratifica el hecho de escoger 15ϕ como longitud de anclaje ya que el ensayo de 20ϕ hubiera arrojado valores similares. Debido a un factor de seguridad tomado en este Trabajo, decidimos elegir como longitud de desarrollo el valor de 20ϕ, ya que los valores resultante de esta, son muy parecidos a los arrojados por la de 15ϕ.

Gráfico III-1
Esfuerzo-Deslizamiento



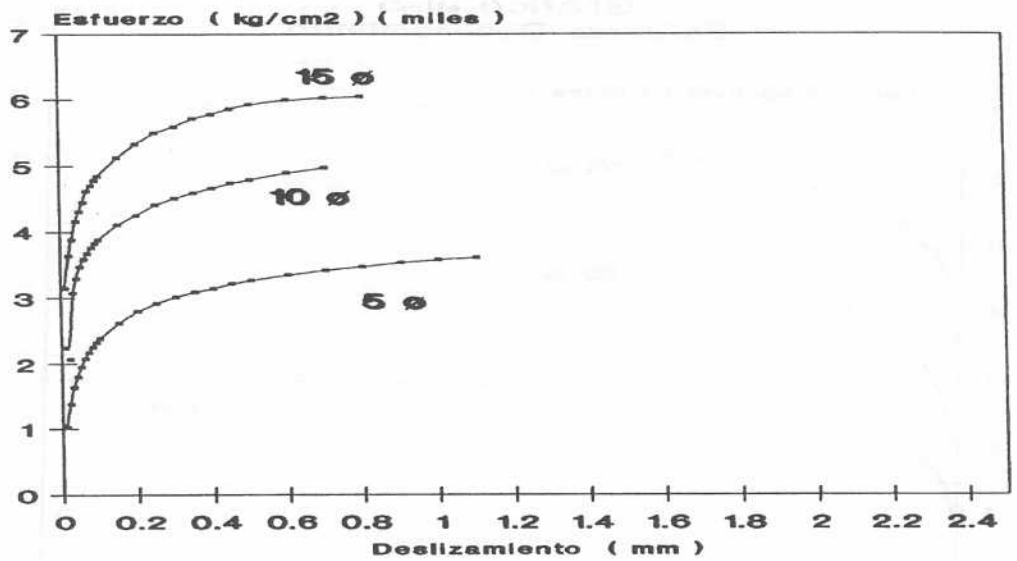
Cabillas de Diámetro 3/8"

Gráfico III-2
Esfuerzo-Deslizamiento



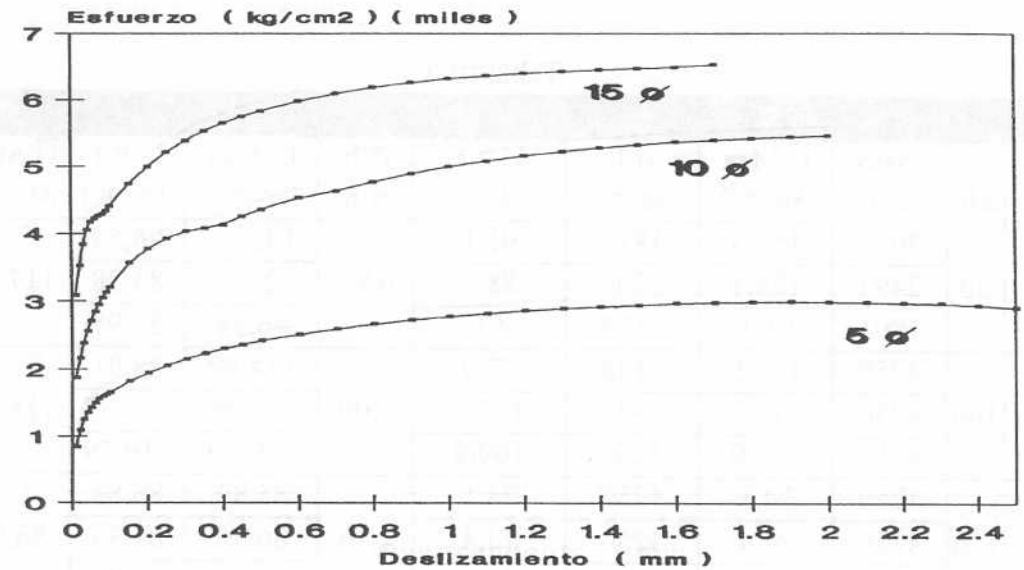
Cabillas de Diámetro 1/2"

Gráfico III-3
Esfuerzo-Deslizamiento



Cabillas de Diámetro 5/8"

Gráfico III-4
Esfuerzo-Deslizamiento



Cabillas de Diámetro 3/4"

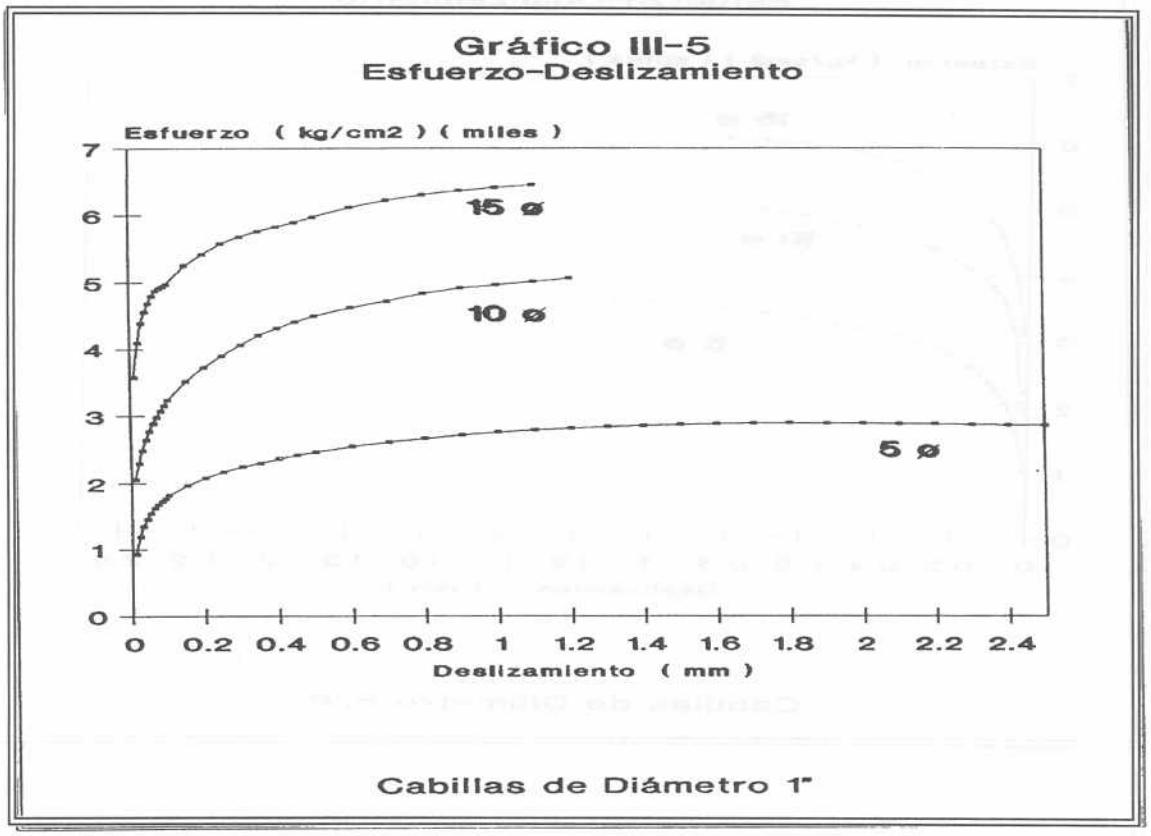


Tabla III-1

Diametro "	L adh	Max (kg/cm^2)	U Max (kg/cm^2)	0,1 (kg/cm^2)	U 0,1 (kg/cm^2)	$\bar{\sigma}'b/\sigma'b$	U´Max (kg/cm^2)	U´0,1 (kg/cm^2)	$\bar{U}'$Max (kg/cm^2)	U´0,1 (kg/cm^2)
3/8"	50	3017	151,3	1816	91,1	0,95	143,73	86,54	117,61	76,12
		2493	129,1	1706	88,3		122,55	83,88		
		1701	91,1	1138	61		86,54	57,95		
3/8"	100	4250	105,5	3138	77,9	1,09	114,99	84,91	118,59	105,69
		4250	111,1	3946	103,1		120,99	112,37		
		4250	109,9	4250	109,9		119,79	119,79		
3/8"	150	4250	74,1	4250	74,1	1,16	85,89	85,84	86,99	86,99
		4250	74,4	4250	74,4		86,36	86,36		
		4250	76,6	4250	76,6		88,85	88,85		

Tabla III-2

Diametro "	L adh	Max (kg/cm^2)	U Max (kg/cm^2)	0,1 (kg/cm^2)	U 0,1 (kg/cm^2)	$\bar{\sigma}$ ′b/ σ′b	U′Max (kg/cm^2)	U′0,1 (kg/cm^2)	$\bar{U}$′Max (kg/cm^2)	U′0,1 (kg/cm^2)
1/2"	50	3034	167,2	1884	103,8	0,95	158,84	98,61	176,77	137,21
		3534	194,8	2643	145,7		185,06	138,42		
		3547	196,2	3322	183,3		18604	174,61		
1/2"	100	4700	129,1	3966	108,9	1,09	140,72	118,7	139,34	120,62
		4700	127,2	4202	113,7		138,65	123,93		
		4700	127,2	4041	109,4		138,65	119,24		
1/2"	150	4700	85,1	4573	82,8	1,16	98,72	96,05	99,8	96,66
		4700	87,3	4623	85,9		101,27	99,64		
		4700	85,7	4455	81,3		99,41	94,3		

Tabla III-3

Diametro "	L adh	Max (kg/cm^2)	U Max (kg/cm^2)	0,1 (kg/cm^2)	U 0,1 (kg/cm^2)	$\bar{\sigma}$′ b/ σ′ b	U′Max (kg/cm^2)	U′0,1 (kg/cm^2)	$\bar{U}$′Max (kg/cm^2)	U′0,1 (kg/cm^2)
5/8"	50	3680	189	2223	114,2	0,95	179,55	109,53	178,19	116,4
		3503	180	2401	123,3		170,91	117,14		
		3785	193,8	2517	128,9		184,11	122,5		
5/8"	100	4350	113,1	4181	108,7	1,09	123,28	118,48	125,13	111,58
		4350	116,5	3811	102,1		126,99	111,3		
		4350	114,8	3648	96,3		125,13	104,97		
5/8"	150	4350	77,4	4350	77,4	1,16	89,78	89,78	88,82	88,82
		4350	75,8	4350	75,8		87,93	87,93		
		4350	76,5	4350	76,5		88,74	88,74		

Tabla III-4

Diametro "	L adh	Max (kg/cm^2)	U Max (kg/cm^2)	0,1 (kg/cm^2)	U 0,1 (kg/cm^2)	$\bar{\sigma}$′b/ σ′b	U′Max (kg/cm^2)	U′0,1 (kg/cm^2)	$\bar{U}$′Max (kg/cm^2)	U′0,1 (kg/cm^2)
3/4"	50	3024	158,7	1636	85,9	0,95	150,77	81,61	148,77	82,37
		3003	155,7	1710	88,6		147,92	84,17		
		2960	155,4	1630	85,6		147,63	81,32		
3/4"	100	4300	107,5	3024	75,6	1,09	117,18	82,4	116,52	86,98
		4300	107,2	3513	87,6		116,85	95,48		
		4300	106,7	3073	76,2		115,54	83,06		
3/4"	150	4300	69,2	4300	69,2	1,16	80,28	80,27	82,13	82,13
		4300	71,9	4300	71,9		83,4	83,4		
		4300	71,3	4300	71,3		82,71	82,71		

Tabla III-5

Diametro "	L adh	Max (kg/cm^2)	U Max (kg/cm^2)	0,1 (kg/cm^2)	U 0,1 (kg/cm^2)	σ´ b/ σ´ b	U´Max (kg/cm^2)	U´0,1 (kg/cm^2)	Ū´Max (kg/cm^2)	U´0,1 (kg/cm^2)
1"	50	2700	135	1900	95	0,95	128,5	90,25	134,58	85,5
		2800	140	1800	90		133	85,5		
		3000	150	1700	85		142,5	80,75		
1"	100	4350	108,75	3700	92,5	1,16	126,5	107,3	126,15	91,83
		4350	108,75	2900	72,5		126,5	84,1		
		4350	108,75	2900	72,5		126,5	84,1		
1"	150	4350	72,5	4350	72,5	1,09	79,03	79,03	79,03	79,03
		4350	72,5	4350	72,5		79,03	79,03		
		4350	72,5	4350	72,5		79,03	79,03		

Gráfico III-7
Esfuerzo de Adherencia-Ladh/O

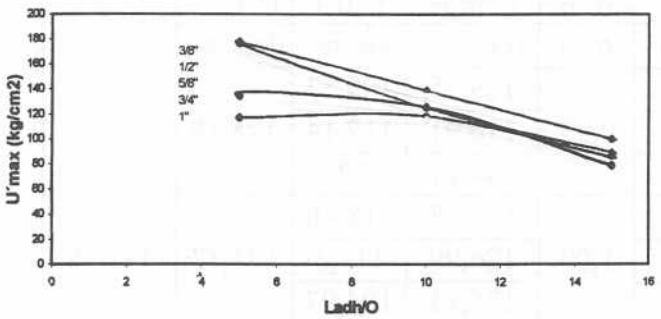
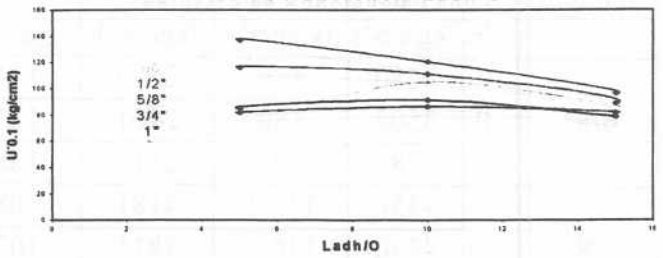


Gráfico III-6
Esfuerzo de Adherencia-Ladh/O



Determinación de las longitudes practicas de desarrollo

Dado la importancia de la longitud de desarrollo, se han llevado a cabo múltiples investigaciones sobre este tópico.

La determinación de las longitudes prácticas de desarrollo que se presenta, se fundamenta en el trabajo desarrollado por Baus (1965), donde las variables empleadas fueron: resistencia del concreto, diámetro de la cabilla y aceros de diferentes calidades.

Partiendo del equilibrio existente entre los esfuerzos desarrollados por el acero y los esfuerzos de adherencia entre este y el concreto (fig. 4.1), se tiene:

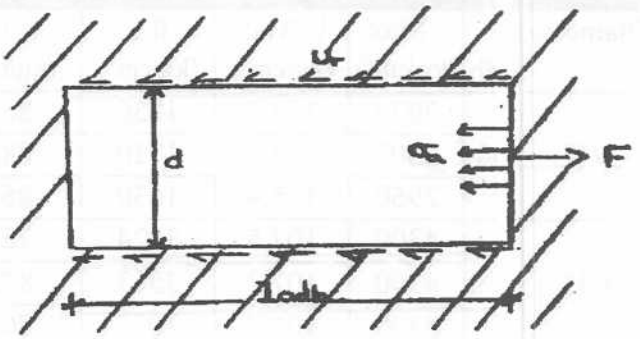


Fig. 4.1

$$F = \sigma a * \left(\pi * d^2\right)\frac{1}{4}$$

$$F = Ur * \pi * d * ladh$$

$$ladh = \left(\frac{d}{4}\right) * \left(\frac{\sigma a}{Ur}\right)$$

$$\sigma a = \frac{\sigma y}{\delta a}$$

donde: $\delta a = 1.15$

$$Ur = Ur / 1.5$$

Sustituyendo:

Resultando esta ecuación ser la n° (1)

$$ladh = \left(\frac{1.5}{4}\right) * d * \left(\frac{\sigma a}{Ur}\right)$$

Donde:

σy = límite elástico característico del acero.

$\bar{U}r$ = valor del cálculo de la tensión límite de adherencia.

Ur = tensión límite de adherencia correspondiente a la longitud práctica de anclaje experimental, la cual depende de la resistencia del concreto.

Baus comprobó que la variación de los esfuerzos de adherencia en función de la resistencia del concreto, se ajusta con suficiente aproximación a la ecuación de una recta, independientemente de la calidad del acero. (fig. 4.2).

$$Ur = a*(\sigma'b - 250) + U(r,250) \qquad (2)$$

Donde: a = 0.2

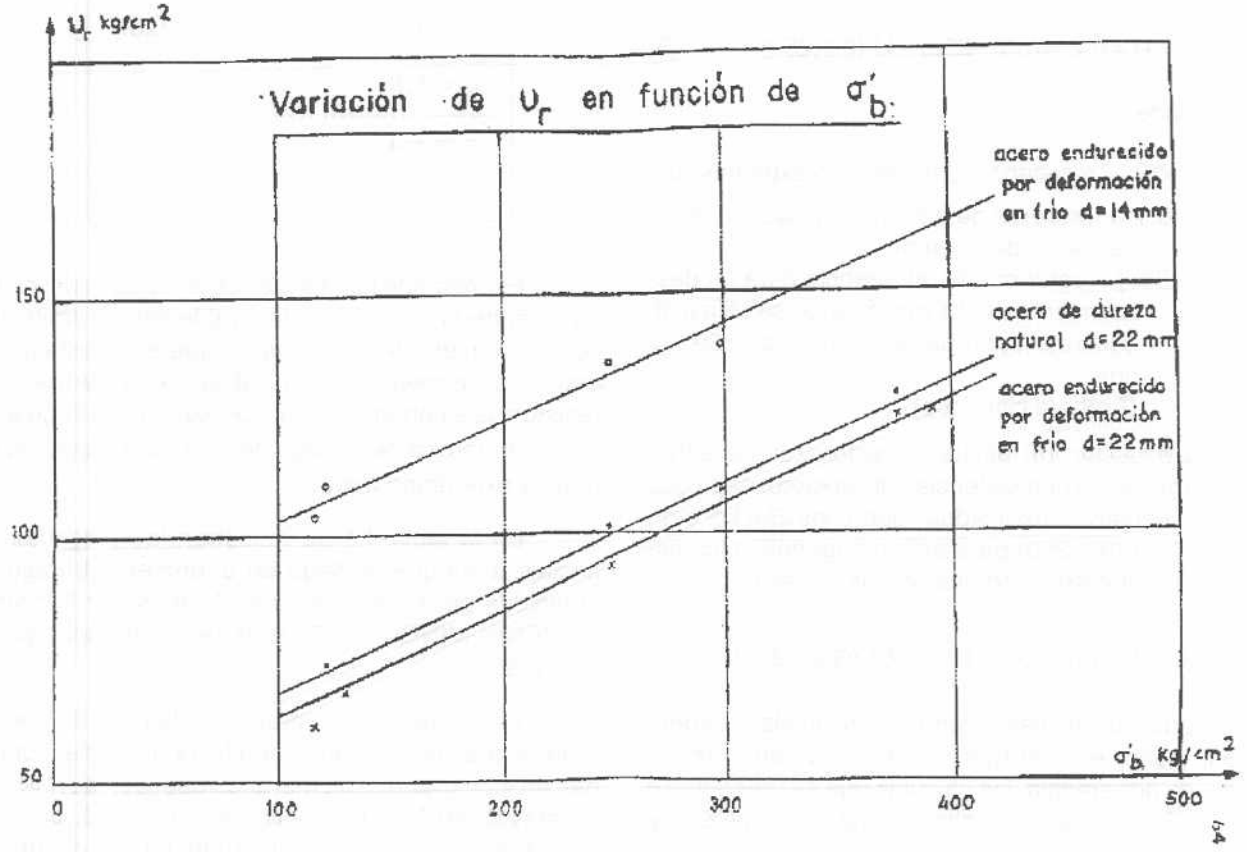


Figura 4.2

Además la adherencia está influenciada por la longitud de anclaje experimental, por lo cual se introduce una constante que viene dada por:

$$K = U(r,250) / U(r,10\phi;250)$$

Despejando U(r,250) resulta:

$$U(r,250) = K * U(r,10\phi;250)$$

Con la finalidad de simplificar las ecuaciones, se expresa:

$$Ur = U(r, 10\phi;250) / C$$

Donde:

$$C = U(r,10\phi;250) / \{0.2 * (\sigma'b - 250) + K * U(r,10\phi;250)\}$$

Sustituyendo en (1)

$$Ladh = 0.375 * d * C * \sigma a / U(r,10\phi;250)$$

A continuación se particularizan las expresiones obtenidas por Baus para las características del acero estudiado en el presente trabajo. Para un deslizamiento de 0.1 mm y una resistencia en el concreto de 250 kg/cm², se tiene:

$$\bar{U}'(0.1) = 0.2 * ((\sigma'b - 250) + U'(0.1;250) \qquad (3)$$

Donde:

$\sigma'b$ = resistencia del concreto experimental.

$\bar{U}'(0.1)$ = esfuerzo de adherencia para un deslizamiento de 0.1 mm.

$U'(0.1;250)$ = esfuerzo de adherencia para un deslizamiento de 0.1 mm cuando se utiliza un concreto con una resistencia de 250 kg/ cm².
(Probeta cilíndrica).

La ecuación (3) ajusta los esfuerzos de adherencia para cualquier resistencia del concreto, dado que esta en los ensayos realizados superó los 250 kg/ cm², se despeja U´(0.1;250) para así homogeneizar los esfuerzos de adherencia en una misma resistencia:

$$U'(0.1;250) = \bar{U}'(0.1) - 0.2 * (\sigma'b - 250)$$

Dado que a mayor longitud de anclaje experimental, menor es la dispersión en los valores de esfuerzos de adherencia, los cálculos que se presentan a continuación corresponde a una longitud de anclaje de 15ϕ.

$$K = \bar{U}'(0.1,250;15\phi) / U'(0.1,250;10\phi)$$

Despejando:

$$\bar{U}'(0.1,250;15\phi) = K * U'(0.1,250;10\phi)$$

Por lo tanto:

$$\bar{U}'(0.1,15\phi) = 0.2 * (\sigma'b - 250) + K * U'(0.1,250;10\phi)$$

$$U'(0.1,250;10\phi) = \{\bar{U}'(0.1,15\phi) - 0.2 * (\sigma'b - 250)\} / K$$

La expresión U´(0.1,15ϕ) puede ponerse de la siguiente manera:

$$\bar{U}'(0.1,15\phi) = U'(0.1,250;10\phi) / C$$

$$C = U'(0.1,250;10\phi) / \bar{U}'(0.1,15\phi)$$

Finalmente:

$$ladh = 0.375 * d * C * \sigma a / U'(0.1,250;10\phi)$$

Seguidamente se muestran las longitudes prácticas de desarrollo obtenidas a partir de la expresión anterior, evaluándose los resultados experimentales.

CABILLAS	Ladh
ϕ = 3/8 "	19ϕ
ϕ = 1/2 "	20ϕ
ϕ = 5/8 "	19ϕ
ϕ = 3/4 "	19ϕ
ϕ = 1"	19ϕ

Expresando los resultados en función del esfuerzo de adherencia más desfavorable con un límite elástico en el acero de 4405 kg/cm² que es el esfuerzo de cedencia promedio de las cabillas ensayadas y una resistencia a compresión de 250 kg/cm², se llegó a una longitud práctica de anclaje de 20ϕ para todos los diámetros experimentados.

En la tabla 4.1 se muestran las longitudes de anclaje a las que se llegó en el presente trabajo, las obtenidas por Baus, las especificadas por la normas COVENIN-MINDUR 1753 y las recomendadas por las ACI-1999.

De los valores mostrados en la tabla 4.1 se desprende que las longitudes prácticas de anclaje obtenidas en este trabajo son menores que las dadas por las normas COVENIN 1753 y por las ACI-1999, es de notar que en el ensayo aplicado (Pull-Out), se desarrollan esfuerzos de adherencia mayores, lo que conlleva a una disminución en la longitud práctica de desarrollo.

El cálculo de la longitud de anclaje en obra según las normas COVENIN-MINDUR 1753, capítulo 12, especifica que esta viene dada por:

$$ldb = 0.06 * Ab * fy / \sqrt{(f'c)} \geq 0'.006 * db * fy$$

donde $0.06 * Ab * fy / \sqrt{(f'c)}$, se deduce del equilibrio que existe entre la carga aplicada a la cabilla y los esfuerzos de adherencia generados a lo largo de la misma (Fig. 4.3).

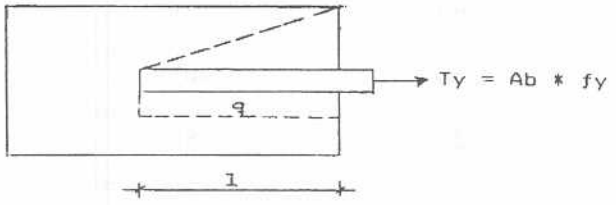


Fig 4.3

$$q * l = Ab * fy$$

donde: $q = \delta * \sqrt{(f'c)}$

de alli que $l = Ab * fy / (\delta * \sqrt{(f'c)}$

luego $q = U * perímetro$

entonces $\delta * \sqrt{(f'c)} = U * perímetro$

$\delta = U * perímetro / \sqrt{(f'c)}$

Evaluando en la ecuación anterior para una longitud de anclaje experimental de 15ϕ, se obtiene un valor de $1/\delta$, coeficiente tal que para las normas es igual a 0.06 y para cada una de las cabillas ensayadas en el presente trabajo resultan:

CABILLAS	$1/\delta$
$\phi = 3/8$ "	0.07
$\phi = 1/2$ "	0.05
$\phi = 5/8$"	0.04
$\phi = 3/4$ "	0.04
$\phi = 1$"	0.03

Por otro lado como ya se mencionó, las normas especifican que la longitud de adherencia igual a $0.06 * Ab * fy / \sqrt{(f'c)}$ debe ser mayor o igual a $0.006 * db * fy$, expresión esta que resulta de evaluar $ld = db * fy / (4 * U)$, definiendo $\Omega = 1 / (4 * U)$ como la constante que para las normas COVENIN representa 0.006; sin embargo evaluando los esfuerzos de adherencia experimentales, llegó a los siguientes resultados:

CABILLAS	Ω
$\phi = 3/8$ "	0.003
$\phi = 1/2$"	0.003
$\phi = 5/8$ "	0.003
$\phi = 3/4$ "	0.003
$\phi = 1$"	0.003

Es de resaltar, que cuando se calculan las longitudes de adherencia según las normas COVENIN, la expresión que domina este cálculo es $0.006 * db * fy$ para los diámetros de ϕ3/8", ϕ1/2", ϕ5/8" y ϕ3/4", por otro lado para ϕ1" la expresión que domina es $0.06 * Ab * fy / \sqrt{(f'c)}$. Como se puede observar de las tablas anteriores, el valor de las constantes ($1/\delta$ y Ω) resultaron la mitad de su homóloga en la ecuación dada por las normas COVENIN, es decir, para las cabillas desde ϕ3/8" hasta ϕ 3/4" resultó 0.003 contra 0.006 de las normas y en la cabilla de ϕ1" se obtuvo 0.03 contra 0.06 igualmente de las normas. Por lo que se concluye que las normas aplican un factor de seguridad igual a 2.

Las fórmulas de longitud de desarrollo especificadas en las ACI-1999 para cabillas entre sí no menos de 2db, con recubrimiento libre no menor a db y con estribos que atraviesan la zona de desarrollo, son:

Cabillas entre 3/8" y 3/4":

$$\mathbf{ld = 0.1508 * fy * \alpha * \beta * \lambda * db / \sqrt{f'c}}$$

Cabillas de 1":

$$\mathbf{ld = 0.1885 * fy * \alpha * \beta * \lambda * db / \sqrt{f'c}}$$

donde;

fy = Limite elástico promedio del acero.

α = Factor de ubicación de la armadura. Si la cabilla es de lecho superior vale 1.3, en caso contrario vale 1.

β = Factor de recubrimiento epóxico de la cabilla. Si no tiene recubrimiento epóxico el valor es 1. Si tiene recubrimiento epóxico y el recubrimiento libre de la armadura es menor o igual a 3db y la distancia entre cabillas es menor a 6db, el valor es 1.5, sino se cumple estos dos últimos parámetros es 1.2. El producto de αβ nunca será mayor de 1.7.

λ = Si el agregado es liviano se usa 1.3, si el agregado es normal vale 1.

f´c = Resistencia promedio del concreto.(kg/cm^2)

DIAMETRO	BAUS	TESIS	COVENIN 1753	ACI 1999
3/8"	20ϕ	20ϕ	26ϕ	40ϕ
1/2"	20ϕ	20ϕ	26ϕ	40ϕ
5/8"	20ϕ	20ϕ	26ϕ	40ϕ
3/4"	20ϕ	20ϕ	26ϕ	40ϕ
1"	20ϕ	20ϕ	32ϕ	50ϕ

TABLA 4.1

Conclusiones y recomendaciones

En primer lugar se comprobó durante la ejecución de los ensayo que pará una longitud de anclaje experimental de 15ϕ, todas las cabillas alcanzaron su esfuerzo de cedencia mucho antes del valor fijado (0,1 mm) dado por las normas COVENIN 1667-80.

Esto nos lleva a concluir que las normas COVENIN-MINDUR 1753-87 y las ACI 1999 establecen longitudes de adherencia superiores a las obtenidas experimentalmente en este trabajo especial, representando esto una pérdida de acero.

Queda corroborado lo dicho por Baus (1965) en su trabajo sobre adherencia que para probetas con una longitud de anclaje de 20ϕ no hubo deslizamiento de las cabillas, alcanzando estas la rotura, lo que obliga a fijar como esfuerzo máximo en el acero al esfuerzo de cedencia.

Por otro lado para una longitud de anclaje experimental de 5ϕ se observó una dispersión muy grande de los resultados, además esta longitud de adherencia es tan pequeña que no permite el desarrollo de la adherencia acero-concreto, por lo que se recomienda no se use esta para ensayos a futuro.

A medida que aumenta la longitud de adherencia experimental disminuye la dispersión entre los esfuerzos de adherencia, mostrando una tendencia hacia un valor convergente en dichos esfuerzos, permitiendo a su vez calcular una longitud de anclaje general para las cabillas ensayadas con el esfuerzo dado y la longitud de adherencia al cual se alcanzó el mismo.

Comparando los esfuerzos de adherencia obtenidos en este trabajo especial con el de Baus, se observa que estos son mayores en el primero, lo que indica que la efectividad de la adherencia disminuye cuando el esfuerzo cedente en el acero aumenta, demostrándose además que la longitud de adherencia no está influenciada por el esfuerzo de cedencia en el acero ya que en ambos trabajos resultó la misma.

Bibliografía

ACI. "Reglamento de las construcciones de concreto reforzado", Traducido al español del Instituto Mexicano del cemento y del concreto, 318-77

ACI. "Diseño de estructuras de concreto conforme al reglamento", 318-83

ASTM. "Significance of test and properties of concrete and concrete-Making materials" 1978

Baus, R. "Propuesta para la determinación de las longitudes prácticas de anclaje a partir de las tensiones límites de adherencia deducidas del Beam-Test", Hormigón y Acero, N°77, 1965

Biaggini A., Borges C., Pérez D. Y Guiñan E. "Investigación acerca de la adherencia acero-concreto". U.C.V. ; 1966.

CCCA. "Especificaciones mínimas para las estrías en barras de acero para uso de concreto armado", AC 103, 1969.

COVENIN. "Método de ensayo para determinar el peso especifico y la absorción del agregado grueso", 269-78.

COVENIN. "Método de ensayo para determinar el peso especifico y la absorción del agregado fino", 268-78.

COVENIN. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto", 338-79.

Cuevas O., Casillas J., Robles F. Y Díaz R. "Aspectos fundamentales del concreto reforzado", Editorial LIMUSA, México,1983.

C.V.G. Siderúrgica del Orinoco, C.A. "Manual de proyectos de estructuras de acero" V.III, SIDOR; 1982.

Edward G. Nawy. "Fundamentos del concreto reforzado", Editorial PRENTICE HALL, 1998.

Bartolon Landa. "Interpretación de las normas de concreto armado" SIDOR 2000.

Ferguson, P. and Thompson J. "Development length for large high strength reinforcing bars in bond", JOURNAL AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, V. 62, n° 1, 1965.

García V. "Estudio de problemas de adherencia", U.C.V., 1968.

Grases J., Porrero J. Y Ramos C. "Manual del concreto fresco" SIDETUR, 1987.

Mathey R., and Watstein D. "Investigation of bond in beam and Pull-Out specimens with High-Yield strength deformed bars" JOURNAL AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1961.

Park R., y Paulay T. "Estructuras de concreto reforzado" Editorial LIMUSA, México, 1983.

Rámos C. "Algunas consideraciones acerca de la adherencia acero-concreto". Caracas, 1967.

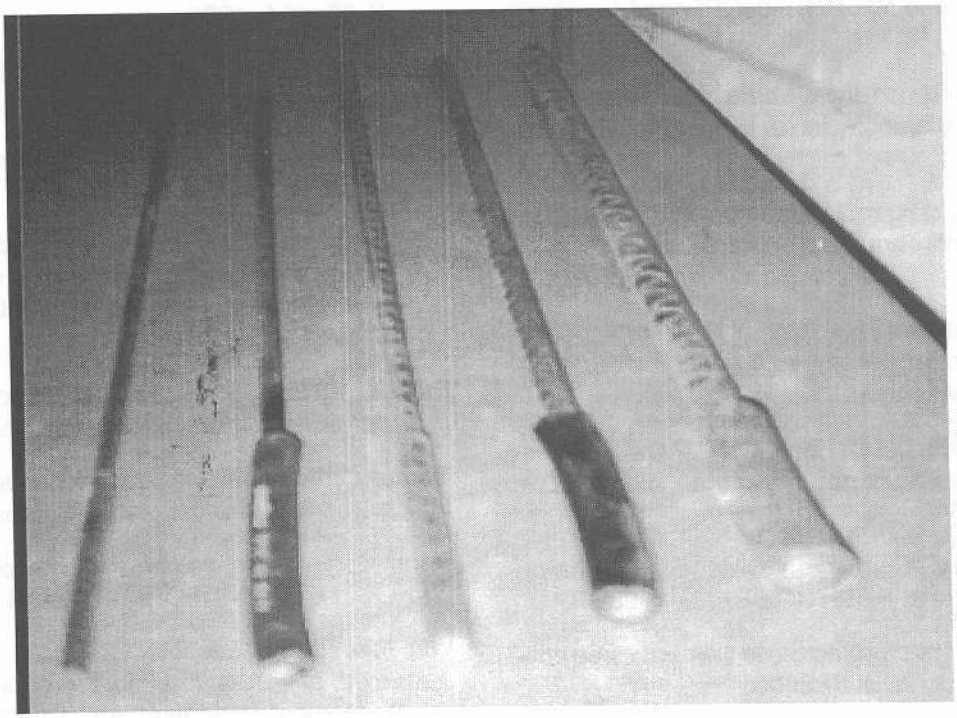
Rehm G. "Recherches sur L´adherence Acier-Beton", BULLETIN D´INFORMATION, N°48; 1965.

Watstein D. And Seese N. "effect of type of bar on width of cracks in reinforced concrete subjected to tension", JOURNAL AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. V.41; 1945.

FOTOS REFERENCIALES



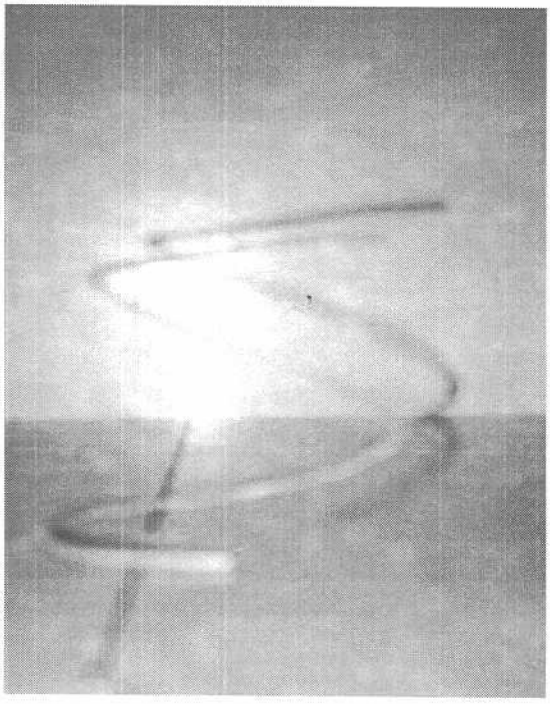
Formaletas para vaciar la mezcla de Concreto



Cabillas de acero recubiertas con manguera plástica, para evitar adherencia



Serie de Cilindros vaciados. Tienen en su interior las cabillas y el refuerzo transversal



Refuerzo helicoidal transversal.

Aplicación de las Tecnologías CAD/CAE en el Ámbito de la Ingeniería Concurrente: Caso de un Equipo Médico

Orly Jácome Velásquez
Maximiliano Giunta

I. Introducción

En el pasado, el Desarrollo de Productos lo constituían largos y trabajosos procesos ejecutados en etapas secuenciales: extensos planos, maquetas y prototipos, ensayos y pruebas de ingeniería, eran varias de las tantas actividades en las que se incurrían. Sin embargo, la necesidad de mejorar los procesos de diseño generó un nuevo enfoque el cual profesa la integración de los recursos (humanos y técnicos), el continuo y sostenido intercambio de información, la concurrencia de actividades, así como el diseño orientado a responder a las expectativas de los clientes; dicho enfoque se denomina Ingeniería Concurrente (IC).

Los avances en las bases de datos y la tecnología de red, trabajo en grupo, multimedia, interfaces gráficas y una caída estrepitosa en los costos de la computación, apuntan hacia la posibilidad de crear un verdadero ambiente de cooperación que trasciende las barreras de la distancia, tiempo, y heterogeneidad de los equipos de computación, lo que ha permitido que la IC ocupe un espacio en el desarrollo moderno de productos.

Las tecnologías de Diseño e Ingeniería Asistidos por Computadora (CAD/CAE) son en la actualidad herramientas habituales en el desarrollo de productos por sus ventajas en automatización e integración de sistemas, flexibilidad en cuanto a actualizaciones y especificaciones, y por el potencial para disminuir los tiempos de desarrollo. Es así como en el presente trabajo se aplicarán las herramientas CAD/CAE en un modelo conceptual bajo el enfoque de IC, con el objetivo de establecer comparaciones contra el enfoque tradicional de desarrollo de productos conocido como Ingeniería Secuencial (IS).

I.1. Propuesta Conceptual

Para evaluar las tecnologías CAD/CAE se utilizará el diseño conceptual de una silla para discapacitados, desarrollado por una persona que ha ideado un modelo innovador en su búsqueda de una mejor calidad de vida (Figura 1). Este modelo no ha sido sometido a prueba alguna o análisis de ingeniería, las piezas no están estandarizadas o especificadas y no existe metodología documentada, por lo que puede decirse que el prototipo está fabricado de manera artesanal, empleando máquinas y herramientas de propósito general.

El diseño conceptual o prototipo difiere de las sillas de ruedas tradicionales por las siguientes características (v. Figura 1):

- Diseñada con el propósito de que sea portátil, el modelo se pliega sobre sí mismo a lo largo de los dos ejes mostrados: X e Y (las sillas tradicionales pliegan solo a lo largo del eje X).
- La silla se desplazaría por un mecanismo de oruga controlado por un motor eléctrico , evitándole al usuario la tracción manual para su movilización.
- Está estructurada por múltiples piezas articuladas entre sí, para permitir el plegado de la mis-

ma y a fin de poder reemplazar fácilmente las piezas en caso de falla o desgaste.

- Está manufacturada con materiales sencillos y fáciles de conseguir en el mercado, como láminas y tubos de aluminio de diferentes tamaños, madera, plástico, así como tornillos y arandelas de diversos diámetros.

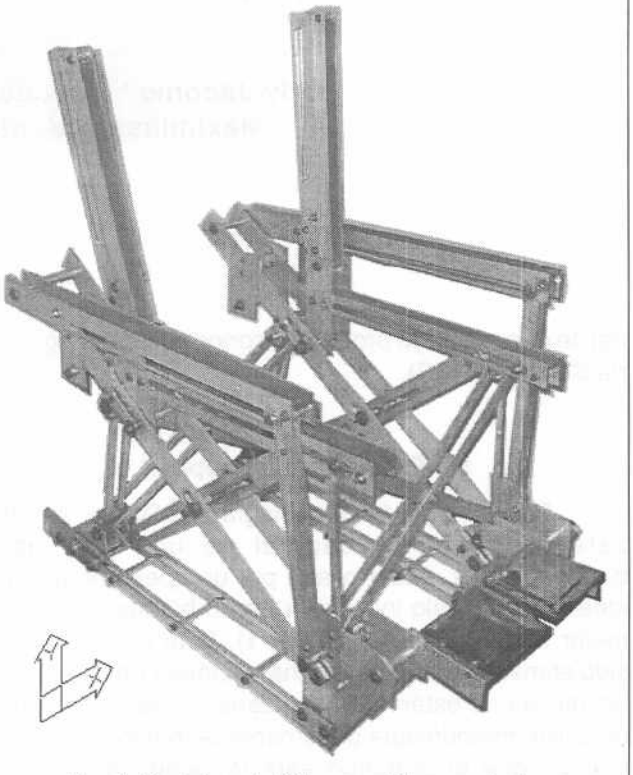


Fig. 1: Prototipo de Silla para Discapacitados

I.2. Objetivos

El objetivo fundamental del presente trabajo es el de aplicar las tecnologías asociadas a las áreas de Diseño e Ingeniería Asistidos por Computadora en el ámbito del enfoque de la Ingeniería Concurrente para el Desarrollo de Productos. Para lograrlo se han definido los siguientes objetivos específicos:

- Describir las características y potencialidades del Software.
- Identificar los requerimientos de Hardware para soportar el software necesario.
- Identificar las capacidades del Recurso Humano requerido para la operación de esta tecnología.
- Desarrollo Paramétrico del Modelo.
- Desarrollo del Análisis Cinemático del Modelo.
- Desarrollo del Análisis de Elemento Finito del Modelo.
- Desarrollo del Texturizado y Foto-Realismo del Modelo.
- Desarrollo de la Animación del Modelo.
- Establecer comparaciones entre el desarrollo de productos mediante el enfoque de la Ingeniería Concurrente y el enfoque Secuencial tradicional.
- Establecer y comparar índices de desempeño entre el Diseño Concurrente y el Diseño Secuencial.
- Identificar los componentes de costo a lo largo del ciclo de vida de aplicación de esta tecnología.

I.3. Limitaciones del Estudio

El presente trabajo se realizó basándose en las siguientes premisas:

- El enfoque de IC incluye la interacción concurrente de todos los ámbitos de la empresa, incluyendo las áreas de finanzas, mercadeo, administración, etc. En el presente trabajo no se considerarán dichas áreas, enfocándose específicamente a la interacción concurrente de las diversas etapas de la ingeniería envueltas en el desarrollo de productos.
- El desarrollo del modelo se realizará a partir de una propuesta conceptual ya disponible, no considerándose la posible optimización como diseño mecánico de la misma.
- El software a utilizar está predeterminado a las posibilidades del proveedor del mismo, que los entregará a manera de préstamo. Por lo tanto, la aplicación de las tecnologías CAD/CAE utilizadas en el desarrollo de productos se limitará a las herramientas: Mechanical Desktop (MD), Working Model Motion (WMM), Working Model FEA (WMFEA) y 3Dstudio (3DS).
- El Hardware estará limitado a los recursos de la UCAB.

II. Caracteristicas del software y hardware

Las Características y Potencialidades de cada uno de los programas asociados al diseño de productos son los siguientes:

II.1. Modelado Paramétrico de Sólidos (MD)

El Modelado de Sólidos juega un papel fundamental dentro de las herramientas utilizadas en el desarrollo moderno de productos. La creación de modelos sólidos beneficia el diseño en su totalidad al permitirle a todos los miembros involucrados, visualizar y manipular piezas complejas en tres dimensiones mientras todavía es un diseño en computadora.

Modelado Paramétrico significa que las variables dimensionales del objeto (como ancho, largo, diámetro, etc.) están relacionadas unas con otras, de forma tal que cuando una de ellas es modificada la razón de su relación es automáticamente actualizada. El diseño paramétrico es una forma de administración de restricciones que define la relación entre dimensiones, entidades geométricas, y otras variables, en un esfuerzo por simplificar la construcción y edición de modelos.

II.2. Análisis Cinemático (WMM)

El Análisis Cinemático –llamado también prototipado virtual– es la tecnología que le da "vida" a los diseños, colocando en movimiento las partes y ensambles de forma tal que los ingenieros y diseñadores puedan observar como se comportará el modelo una vez construido.

Después de desarrollar un modelo sólido, deben realizarse análisis de ingeniería que incluya: interferencia entre objetos, colisiones, análisis inerciales, movimientos, etc. de manera que el equipo de trabajo verifique la viabilidad y características operativas del diseño, y establezca las especificaciones del producto necesarias para su manufactura.

II.3. Análisis de Elementos Finitos (WMFEA)

El Análisis de Elementos Finitos es una técnica de análisis en Ingeniería utilizada para simular el comportamiento de estructuras complejas, con la finalidad de evaluar su confiabilidad y desempeño bajo ciertas condiciones mecánicas específicas.

La premisa básica del Análisis de Elementos Finitos es la división de un problema complejo en subconjuntos más pequeños y manejables, a los cuales se les puede encontrar solución, para luego asumir que el comportamiento de la complejidad del todo puede ser aproximado a la suma del comportamiento de sus partes, ensamblando los resultados individuales de los elementos separados en una solución única para el problema.

Los programas de Elemento Finito constan de diversos módulos de análisis, dentro de los que se pueden mencionar: Esfuerzo, Vibración, Pandeo y Transferencia de Calor.

II.4. Foto-Realismo y Animación (3DS)

Los programas de foto-realismo y animación permiten mostrar como serán las características visuales (formas, colores, interacción con su entorno, etc.) de un producto, mientras todavía es un modelo de computadora. Poseen módulos con capacidades completas de animación para la creación y control de objetos, materiales, luces, y cámaras.

II.5. Características del Hardware

Las características del equipo de Computación utilizado en el aprendizaje y aplicación de las herramientas CAD/CAE para la realización del presente trabajo son las siguientes:

- Procesador Pentium 200 MMX con Bus de 66 MHz.
- 128 Megabytes de Memoria (SDRAM).
- Disco Duro 2.5 GigaBytes (EIDE).
- Memoria de Vídeo de 2 Mbytes (VRAM).
- CD ROM Drive 32X.
- 1.44MB Diskette Drive (standart).
- Tarjeta de Sonido.
- Tarjeta de Red Ethernet 10/100.

III. Desarrollo secuencial del modelo

A fin de establecer diferencias en la planificación, interacción entre etapas, y tiempos de Desarrollo entre Ingeniería Concurrente y Secuencial, se desarrollará el modelo de silla para discapacitados según los principios fundamentales de ambas filosofías de diseño.

Dado que la Ingeniería Secuencial está basada en la premisa de que una nueva fase no puede comenzar antes de que la fase anterior sea completada y aprobada, el desarrollo del modelo se planificó según el Esquema 1.



Esquema 1: Desarrollo Secuencial del Modelo

Cada etapa representa la evolución del modelo en cada uno de los programas descritos con anterioridad, éstas pueden ser interpretadas como personas, equipos de trabajo o departamentos de una organización. Las flechas rectas y curvas indican el avance en la aplicación de los programas y las iteraciones de los ciclos de diseño, respectivamente.

Cada una de las etapas envueltas en el Desarrollo Secuencial de la propuesta conceptual (silla para discapacitados) son descritas a continuación.

III.1. Modelado de Sólidos

Para convertir el diseño conceptual de la silla en un modelo paramétrico sólido en Mechanical Desktop, es necesario hacer un breve análisis de las características geométricas de las piezas que lo componen y de las relaciones que éstas mantendrán con las demás piezas en el ensamble final, a fin de planificar su creación en el orden más eficiente posible.

En primer lugar se enumeraron las piezas para controlar adecuadamente la información a lo largo de todo el desarrollo. Aprovechando la similitud entre las partes se creó una pieza paramétrica, y al variar los valores de sus parámetros (ancho, largo y espesor) se obtuvieron las diversas pieza del modelo (Figura 2).

Los diferentes pernos, tornillos y arandelas del prototipo se sustituyeron por pasadores paramétricos, que igualmente cumplen la función de unión entre las piezas y contribuyen a simplificar el modelo para los análisis posteriores.

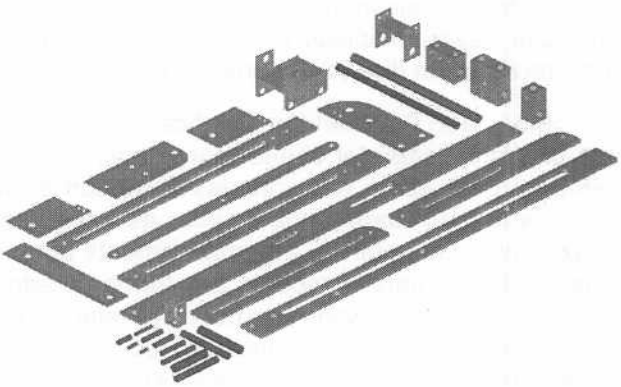


Fig. 2: Piezas que integran el Modelo en MD.

Completadas las piezas se procede a ensamblar el modelo, pero debido a la gran cantidad de partes resulta complejo realizar un solo ensamble, por ello se agrupan en subensambles o ensambles internos (Figura 3-a), y aprovechando la simetría del prototipo se duplican para a su vez combinarlos en un solo ensamble final denominado Ensamble Maestro (Figura 3-b).

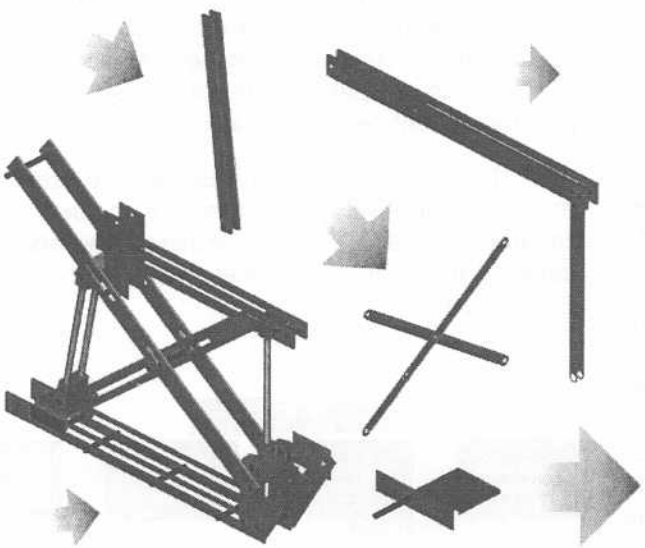


Fig. 3-a: Ensambles Internos

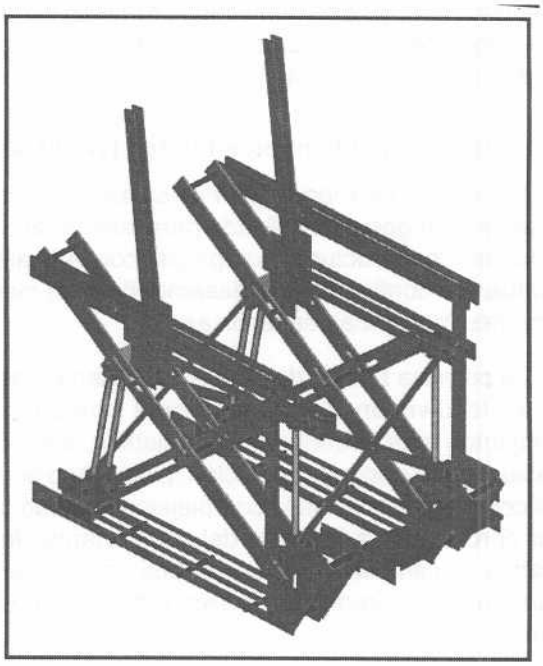


Fig. 3-b: Ensamble Maestro

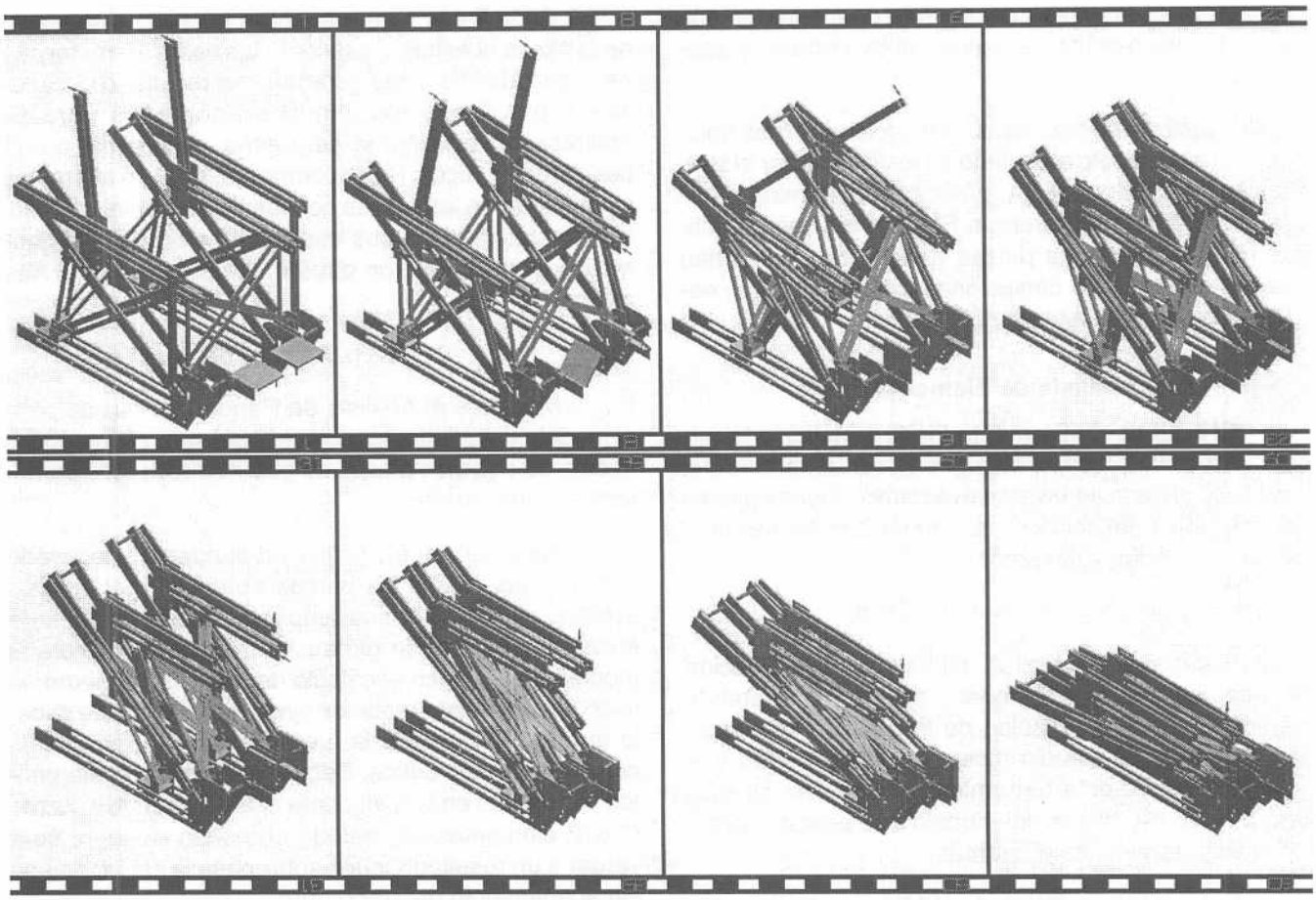


Fig. 4: El modelo «cobra» vida a través de la Simulación Dinámica de Working Model Motion

III.2. Análisis Cinemático

El Ensamble Maestro es importado de Mechanical Desktop a Working Model Motion. La aplicación de WMM persigue dos objetivos fundamentales: el Análisis Cinemático y el Análisis Estático. A través de la Simulación Cinemática se visualiza el plegado de la silla, mientras que con el Análisis Estático se determinan las fuerzas desarrolladas en las uniones de las piezas sujetas a la acción de un sistema de carga que simula los efectos del peso de una persona sentada.

Para el Análisis Cinemático se definen las propiedades físicas y las restricciones que restringen los grados de libertad entre las piezas; luego se realiza la Simulación Cinemática o cálculo de movimientos, en función de parámetros preestablecidos (gravedad, cargas externas aplicadas, límites espaciales, límites de movimiento, etc).

El sistema de carga aplicado al modelo para la simulación del plegado, corresponde a la fuerza promedio generada por una persona en posición sentada para una flexión máxima del codo de 180°, del percentil 5% de población adulta.

A partir de la simulación se aprecia que el modelo no pliega, observándose que al modificar la longitud de las ranuras de ciertas piezas se lograría el plegado, razón por la cual fueron modificadas en MD. Posteriormente, se actualizaron los cambios en WMM y de nuevo se realizaron los cálculos de movimiento, obteniéndose la simulación del plegado tal como se observa en la Figura 4.

Finalmente, puede apreciarse que los cambios adoptados en el modelo ocurren gracias a la transferencia de información entre los programas MD-WMM, lo que representa el primer ciclo de diseño del desarrollo secuencial (v. Esquema 1).

Para el Análisis Estático, y dado que el modelo desarrollado es un equipo para uso de la población en general, se emplea el peso estándar de hombres pertenecientes al percentil 95%, específicamente se aplica una carga equivalente de 98 Kgf; dichas cargas se

distribuyen en las áreas del modelo donde la persona ejerce apoyo: asiento, respaldar, apoya brazos y apoya pies.

El cálculo de las fuerzas o reacciones en las uniones sobre el modelo articulado es justificado por el software Working Model FEA, pues éste determina a través del Análisis de Elemento Finito si las características mecánicas de las piezas (geometría y material) pueden soportar las condiciones de trabajo (p.ej. esfuerzos) a las que estarán sometidas.

III.3. Análisis de Elemento Finito

El Análisis de Elemento Finito constituye la tercera etapa del proceso secuencial del desarrollo del modelo. Con este análisis se evaluarán algunas piezas del modelo según condiciones mecánicas específicas: esfuerzo, pandeo y vibración.

III.3.a. Análisis de Esfuerzo

Escapa de los límites del estudio la evaluación de todas las piezas del modelo, pues no se pretende mejorar el diseño mecánico de la silla, sin embargo, son objetivos del estudio mostrar la aplicabilidad y la potencialidad de ésta herramienta. Por tanto, se evaluarán cinco (5) piezas del modelo que poseen características geométricas diferentes.

Del análisis estático de WMM se obtienen las fuerzas aplicadas a cada una de las piezas cuando el modelo se sujeta a la acción del sistema de carga estática, necesarias para el análisis de esfuerzo de las piezas seleccionadas.

Con esta información y según la geometría de las piezas, el programa genera la malla y establece ecuaciones de forma matricial para las cargas aplicadas y para la geometría de cada elemento. De los cálculos (si converge el método numérico) se obtiene la matriz de desplazamiento o desempeño individual de cada elemento de la malla, representado visualmente sobre la pieza por medio de un "mapeado" de colores, mostrando la distribución de los esfuerzos según las condiciones dadas.

Los resultados son evaluados por el programa en función del margen de error, la calidad de la malla y el factor de seguridad, y de no aprobar el diagnóstico, se muestran una serie de recomendaciones o sugerencias a seguir: chequear las cargas aplicadas, verificar las restricciones, modificar la geometría de la pieza (lo que implica el cálculo de una nueva malla), probar otro material, o combinar estas alternativas para adecuar el diseño de forma que soporte las condiciones de trabajo a la que es sometido.

En la Tabla 1 se presentan las piezas seleccionadas para el estudio, así como las cargas y restricciones aplicadas, la malla generada, el resultado del análisis y por último los cambios adoptados para su optimización al variar la geometría, el material o ambas características. Particularmente, para no alterar las conexiones de las piezas con las demás en el modelo, sólo se modificaron sus espesores en cuanto a geometría, y se ensayaron otros materiales, como el Aluminio 6061-T6.

III.3.b. Análisis de Pandeo

Mediante el Análisis de Pandeo se busca, para el modelo estudiado, establecer cual será el comportamiento de aquellas piezas de geometría esbelta sometidas a compresión.

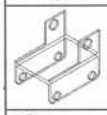
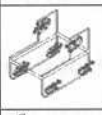
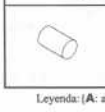
Para realizar el análisis de pandeo es necesario aplicar a las piezas las cargas obtenidas del análisis estático en WMM, y sus respectivas restricciones de ensamble. Luego, se genera la malla y se somete el modelo matemático al cálculo de análisis de elemento finito, con el objeto de determinar los factores de escala que multiplicados a la fuerza aplicada producen la carga de pandeo crítica. Debido al número de elementos generados en la malla para el análisis de las piezas (7.612 elementos) el método numérico no logra converger a un resultado, pues sobrepasa la capacidad de almacenamiento del disco duro.

III.3.c. Análisis de Vibración

El objetivo del Análisis de Vibración es determinar cuales son las frecuencias naturales a la cual el modelo vibrará y si éstas se acercarán a su frecuencia de operación, aumentando significativamente las cargas dinámicas en el modelo, e incrementando su probabilidad de falla.

El análisis de vibración no requiere de cargas aplicadas sobre el modelo, pues los resultados se basan en la geometría y en las restricciones de ensamble de la estructura analizada.

Para lograr la frecuencia natural del modelo se establece que el análisis de vibración debe realizarse sobre el ensamble Maestro, y no en piezas individuales como en el análisis estático lineal. Al someter el ensamble al análisis de elemento finito no se converge a una solución, pues el tamaño de las matrices generadas por el número de elementos de la malla (más de 32.000 elementos), sobrepasaba la capacidad disponible de disco duro.

Pieza	Cargas	Restricciones	Malla	Resultados	N° Ciclos/Variaciones					
					A	L	E	M	C	O
					3.0	6.0	3.0	Al	✓	✖
					8.2	10.0	7.1	Al	✖	✖
					8.2	10.0	7.1	Alт6	✓	✖
					5.0	90.0	0.7	Al	✖	✖
					5.0	90.0	**2.0**	Al	✖	✖
					5.0	90.0	0.7	Alт6	✖	✖
					5.0	90.0	**2.0**	Alт6	✓	✓
					5.0	90.0	**1.97**	Alт6	✓	-
					2.5	54.0	0.3	Al	✖	✖
					2.5	54.0	**1.0**	Al	✖	✖
					2.5	54.0	0.3	Alт6	✖	✖
					2.5	54.0	**1.0**	Alт6	✓	✓
					2.5	54.0	**0.42**	Alт6	✓	-
					1.0	1.6	-	Al	✖	✖
					1.0	1.6	-	Al	✓	✖

Leyenda: (**A**: ancho(cm); **L**: largo(cm); **E**: espesor(cm); **M**: material; **C**: converge;**O**: optimizar; **Al**: aluminio;**Alт6**: Aluminio 6061T6; ✖ :no; ✓ :si)

Tabla 1: Análisis Estático Lineal (Esfuerzo) para Piezas Seleccionadas del Modelo

Finalmente, el análisis de vibración del modelo tampoco logra concluir, ya que la capacidad del recurso disponible no soporta la complejidad de los cálculos realizados.

Con los resultados de los cálculos de esfuerzos por elemento finito (no se incluyen los análisis de pandeo y vibración, pues no se obtuvo resultado alguno) se optimizan las piezas –modificando su geometría y/o material– y se adaptan automáticamente en el ensamble maestro de MD, y de nuevo se realiza la simulación cinemática para comprobar que el plegado sea correcto. Ésta interacción entre WMFEA, WMM y MD, es el segundo ciclo de desarrollo del proceso secuencial, para luego dar paso a la cuarta etapa del proceso utilizando el programa 3Dstudio.

III.4. Foto-Realismo y Animación

Para el desarrollo Foto-Realístico del modelo se exporta la geometría desde MD y una vez en 3DStudio se crean los factores necesarios para definir la escena en la que se visualiza el modelo:

- Crear y colocar luces y cámaras, acordes con el modelo.
- Desestimar las caras cuyas normales no sean visibles.
- Definir materiales: color, textura y brillo.
- Importar objetos que sirvan de entorno o fondo al modelo.
- Controlar la resolución y la precisión de la presentación.

Dado que el foto-realismo es un proceso artístico, es necesario realizar numerosos ensayos (render) hasta lograr un consenso entre los materiales, luces, perspectivas y movimientos aplicados. Alcanzado esto, se realiza el cálculo foto-realístico de las imágenes o animaciones del modelo. La Figura 5 muestra el resultado de la visión foto-realística del modelo de silla para discapacitados.

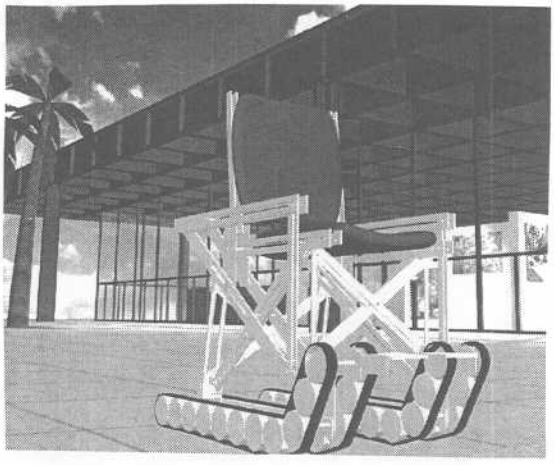
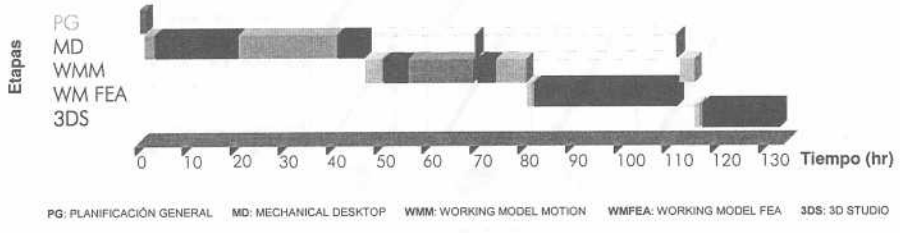


Fig. 5: Imagen Foto-Realista del Modelo de Silla para Discapacitado

III.5. Tiempo de Desarrollo Secuencial del Modelo.

Para establecer los tiempos de ejecución de las actividades pertenecientes a cada una de las etapas descritas, se midieron los tiempos de duración de las tareas en que se dividen estas actividades.

A fin-de lograr una mayor compresión de la secuencialidad de las etapas, se presenta el Diagrama de Tiempo de Desarrollo Secuencial del Modelo en función de los tiempos de ejecución de cada una de las actividades, según el orden cronológico en que fueron realizadas (Esquema 2).

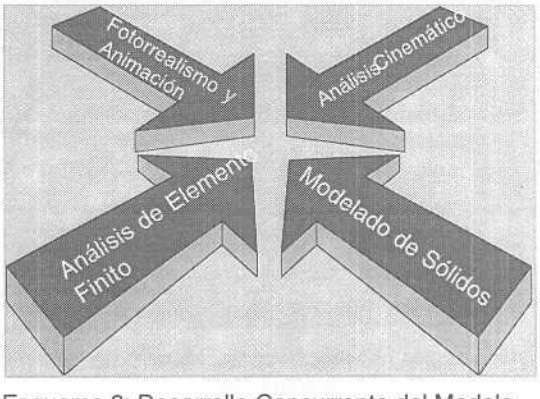


Esquema 2: Diagrama de Tiempo de Desarrollo Secuencial del Modelo

IV. Desarrollo concurrente del modelo

La creación concurrente del modelo, presta especial atención a uno de los axiomas que rigen a dicha filosofía: "No esperar que la base de datos esté completa para obtener la data y/o información necesaria para hacer y soportar las decisiones". Lo que implica un intercambio constante de la información disponible, y así poder adoptar continuamente las mejoras necesarias para el desarrollo óptimo del modelo. Evidentemente, la interconexión o vinculación de las herramientas es fundamental para lograr este propósito, además de una eficiente distribución de la información y de las actividades que deben llevarse a cabo en cada etapa.

Dicho enfoque pretende la concurrencia de las etapas, como se muestra en el Esquema 3, y éstas pueden ser interpretadas como personas, equipos de trabajo o departamentos de una organización.



Esquema 3: Desarrollo Concurrente del Modelo

Para emprender el Desarrollo Concurrente del modelo es necesario una exhaustiva planificación de las actividades, es decir, considerar el orden en que se aplicarán las herramientas para que las etapas se solapen en el tiempo, organizar la información disponible o generada y establecer estrategias de trabajo para reducir la longitud del desarrollo.

IV.1. Prototipo - Modelado de Sólidos

Para que el Desarrollo Concurrente sea consistente con el Desarrollo Secuencial las piezas conservan la misma identificación, facilitando la comparación de las actividades para ambos desarrollos.

La creación básica de las piezas que integran el modelo es el primer paso a seguir con la herramienta de Modelado de Sólidos de MD. A partir de una pieza paramétrica se derivan el resto de las piezas, aplicando sólo sus características geométricas (ancho y largo) y los puntos de conexión entre ellas, es decir, obviando provisionalmente sus características particulares, tales como filetes, ranuras y cortes. En la Figura 6 se muestra una pieza del modelo, creada con sus características más básicas.

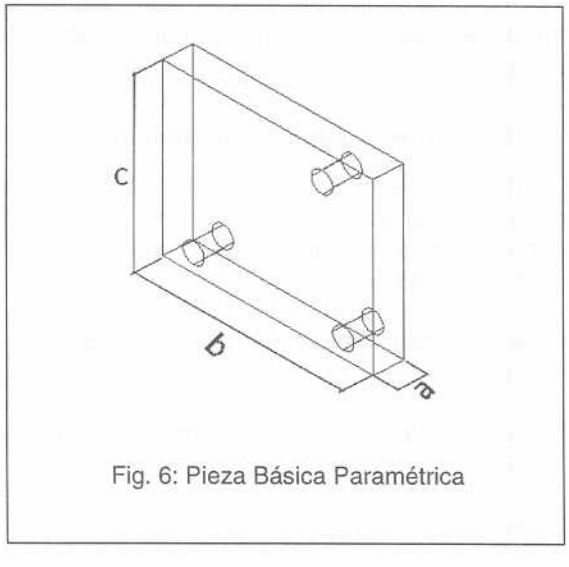


Fig. 6: Pieza Básica Paramétrica

Luego, se ensamblan las piezas parciales siguiendo el mismo procedimiento descrito en el proceso secuencial, un ensamble Maestro a partir de ensambles internos o subensambles, con la salvedad de que este primer ensamble -denominado Ensamble Preliminar- no es el ensamble definitivo del modelo (v. Figura 7).

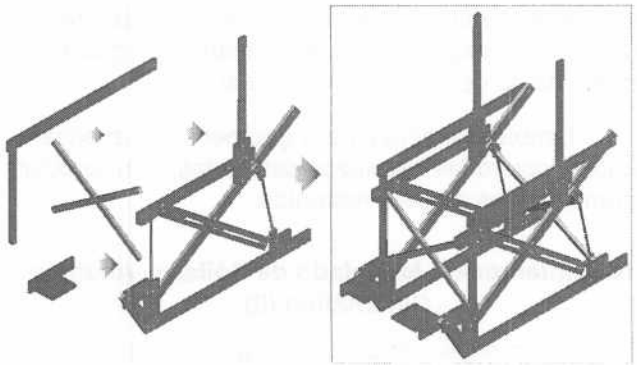


Fig. 7: Ensambles Internos y Ensamble Preliminar

Simultáneamente a la realización de las siguientes etapas (interacciones), las características particulares de cada pieza hasta el momento omitidas en MD son incorporadas a las piezas básicas, y éstas se actualizan en el ensamble. De manera que el modelo es actualizado constantemente, mientras se desempeñan las actividades de otras etapas (v. Figura 8).

IV.2. Interacción Modelado de Sólidos–Análisis Estático (I)

El propósito de realizar un ensamble preliminar -lo cual no debe confundirse con un desarrollo impreciso- es el de exportar el modelo inmediatamente a WMM para el Análisis Estático, a fin de obtener las cargas imprescindibles para el Análisis de Elementos Finitos en WMFEA.

Para el análisis estático del ensamble preliminar, se aplica y distribuye el mismo sistema de carga utilizado en el proceso secuencial, por las razones explicadas en ese aparte. Es obvio que los resultados (reacciones generadas en las uniones de las piezas) no son definitivos, pues el ensamble se modifica a medida que se completan las piezas en MD; sin embargo, son lo suficientemente aproximados para continuar con el desarrollo del modelo, tal como lo estipula el axioma que rige a dicha filosofía.

IV.3. Interacción Análisis Estático–Análisis de Elemento Finito (I).

Las piezas previamente completadas en MD y sus respectivas reacciones, se analizan mecánicamente en WMFEA siguiendo el procedimiento descrito en el Desarrollo Secuencial y aplicando el mismo sistema de cargas. En este análisis no se optimizan las piezas puesto que las cargas asignadas son aproximadas, sin embargo se dilucidan detalles que son necesarios adelantar para el Desarrollo Concurrente, como: colocar las restricciones de movimiento, definir el factor de seguridad y el margen de error permisible, designar el material a ensayar, así como estimar las posibles modificaciones de las piezas para su optimización.

IV.4. Interacción Modelado de Sólidos–Análisis Cinemático (I).

Paralelamente al Análisis de Elemento Finito, el ensamble preliminar es exportado a WMM para el Análisis Cinemático. Con la simulación se verifica el plegado, pues el modelo preliminar es ensamblado respetando la distancia de unión entre las piezas, y se le aplica las cargas empleado el mismo criterio utilizado en el desarrollo secuencial.

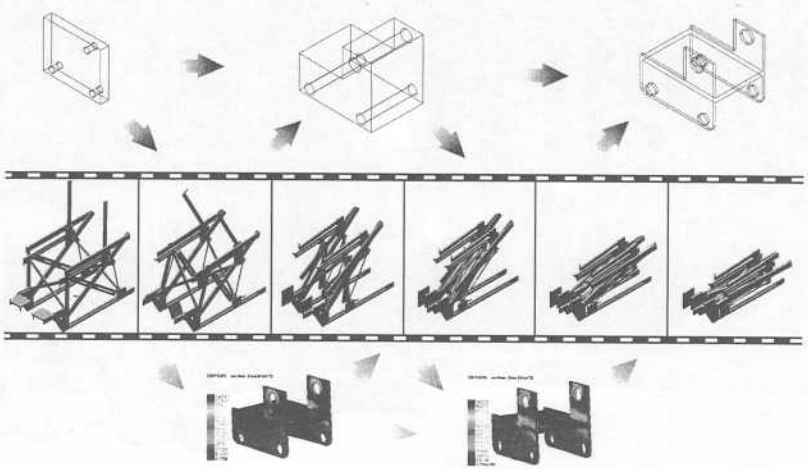


Fig. 8: Interacción entre Etapas para el Desarrollo Concurrente del Modelo

IV.5. Interacción Modelado de Sólidos–Foto-Realismo (I).

Al mismo tiempo que el modelo preliminar se exporta de MD a WMM, se hace lo mismo a 3DS para el foto-realismo (parcial).

Aunque el modelo preliminar se utiliza para realizar cálculos aproximados, no es adecuado para el foto-realismo debido a lo inconcluso de la geometría, sin embargo, se pueden preparar varios factores que han de tenerse en cuenta cuando se vaya a modelar: crear luces y cámaras, definir materiales, e importar una escena que sirva de fondo al modelo. En la Figura 9-a se muestra el foto-realismo preliminar del modelo con todos los factores que permanecerán en la escena final, una vez completadas todas las piezas.

IV.6. Interacción Modelado de Sólidos–Análisis Estático (II).

Si bien al modelo preliminar se le han practicado todos los análisis, todavía el desarrollo no ha concluido, pues el enfoque concurrente busca el continuo mejoramiento de las actividades para obtener un modelo con igual o mayor precisión y calidad que el modelo secuencial. Por tanto, todas las piezas completadas y modificadas en MD se exportan nuevamente a WMM para un análisis estático definitivo, del cual se obtienen las reacciones definitivas para el análisis mecánico de las piezas en WMFEA.

IV.7. Interacción Análisis Estático–Análisis de Elemento Finito (II).

En esta interacción se adoptaron las cargas definitivas y se realizaron los cálculos con las condiciones de análisis establecidas con anterioridad (restricciones, material, etc). Los resultados se evaluaron para optimizar las piezas, y al igual que en el proceso secuencial, se consideraron los diagnósticos presentados por el programa y se modificaron las piezas en función de su geometría y/o material.

También se actualizó la geometría en el ensamble junto con todas las piezas detalladas, para concluir y completar los análisis restantes.

IV.8. Interacción Modelado de Sólidos–Análisis Cinemático (II).

Como reflejo de la sostenida supervisión de las actividades, se exporta el modelo actualizado de MD a WMM para el plegado definitivo, además se verifican las adaptaciones realizadas. Aprobado el análisis Cinemático se presenta el plegado "concurrente" definitivo.

IV.9. Interacción Modelado de Sólidos–Foto-realismo (II).

El modelo "concurrente" definitivo o ensamble maestro se exporta de nuevo a 3DS, a fin de lograr el aspecto definitivo del modelo. Todas las modificaciones hecha en las piezas se adaptan automáticamente sin afectar los factores predeterminados. La Figura 9-b muestra el foto-realismo definitivo, creado en el Desarrollo Concurrente.

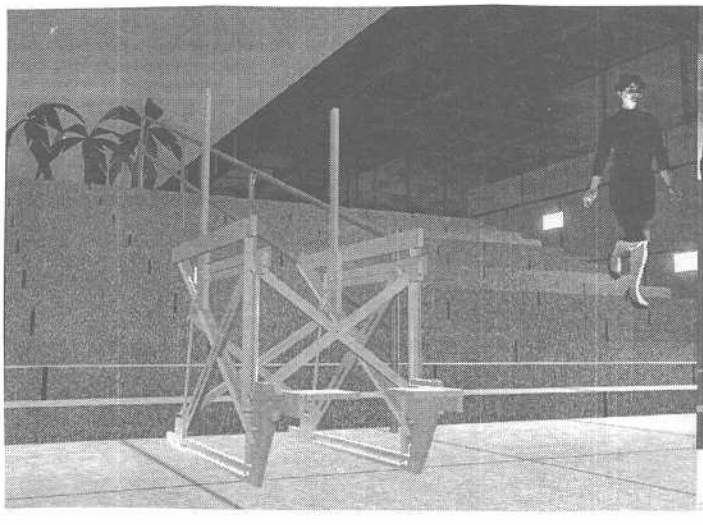


Fig. 9-a: Foto-Realismo Preliminar

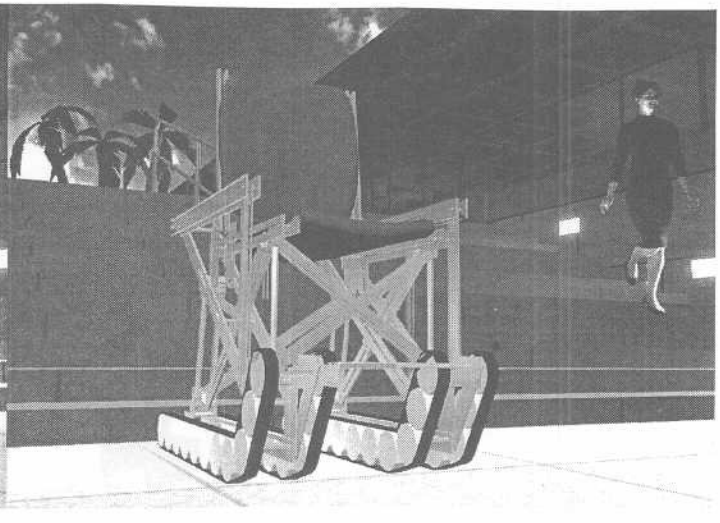
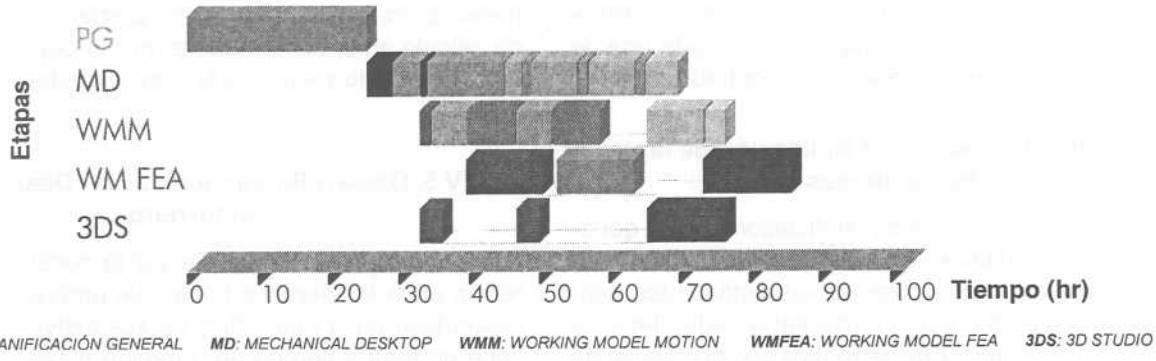


Fig. 9-b: Foto-Realismo Definitivo



PG: PLANIFICACIÓN GENERAL *MD: MECHANICAL DESKTOP* *WMM: WORKING MODEL MOTION* *WMFEA: WORKING MODEL FEA* *3DS: 3D STUDIO*

Esquema 4: Diagrama de Tiempo de Desarrollo Concurrente del Modelo

IV.10. Tiempo de Desarrollo Concurrente del Modelo

Es obvio, que durante la realización del Desarrollo Secuencial se obtuvo un aprendizaje en la aplicación de las herramientas para el caso específico de la silla para discapacitados, aprendizaje que luego se vería reflejado en el desempeño del Desarrollo Concurrente.

Para evitar aventajar un desarrollo respecto al otro, se ajustaron los tiempos medidos en el Desarrollo Concurrente basándose en el aprendizaje adquirido. El aprendizaje se estableció mediante la comparación de los tiempos medidos para actividades similares en ambos desarrollos.

Al igual que en el Desarrollo Secuencial, los tiempos de ejecución de las actividades para el Desarrollo Concurrente se establecieron midiendo los tiempos de sus tareas, pero ajustándolos con el factor de aprendizaje calculado. Con el objetivo de visualizar las interacciones descritas para cada etapa y el solapamiento de las actividades, se presenta el Diagrama en función de los tiempos ajustados para el Desarrollo Concurrente del modelo (v. Esquema 4)

V. Indices de Desempeño

Aún cuando se utilizan las mismas herramientas y los mismos recursos, son notables las diferencias que existen entre el Desarrollo Secuencial (DS) y el Desarrollo Concurrente (DC) del modelo de silla para discapacitados. Sin embargo, es necesario establecer índices de desempeño que cuantifiquen tales diferencias entre ambos enfoques en la aplicación de las herramientas CAD/CAE.

El indicador que mejor establece la diferencia entre el DS y el DC del modelo es el tiempo, expresado en función de cada herramienta aplicada, de la planificación general de las actividades, y del desarrollo total del modelo. La tabla 2 resume estos valores y los porcentajes o pesos de participación de cada herramienta en los procesos de DS y DC, descritos con anterioridad en este artículo.

Para la tabla mostrada, los tiempos totales de desarrollo de ambas filosofías son sumados de forma lineal, es decir, adicionando la participación de cada una de las etapas sin tomar en cuenta el solapamiento de las actividades en el caso Concurrente, por ello este

	Secuencial		Concurrente		DS vs. DC
Etapa	**Totales (Horas)**	**Peso**	**Totales (Horas)**	**Peso**	**Variación**
Planificación General	8,7	7%	25,4	16%	65,8%
Modelado de Sólidos	43,9	34%	43,8	27%	-0,2%
Análisis Cinemático	31,7	24%	35,5	23%	10,7%
Análisis de Elemento Finito	29,7	23%	34,6	22%	14,2%
Fotor-Realismo	16,1	12%	17,6	11%	8,5%
Total	**130**	**100%**	**154**	**100%**	17,1%

Tabla 2: Tiempos Medidos por Etapa para el desarrollo Secuencial y Concurrente del Modelo

último es un 17,1% mayor al DS. Esta diferencia entre los tiempos de DS y DC se explican con cada una de las etapas involucradas, descritas a continuación.

V.1. Planificación en la Aplicación de las Herramientas

En el DS ocurren dos planificaciones: una general, que sólo involucra el orden de aplicación de las herramientas sin profundizar en las actividades asociadas a cada etapa, y una particular a cada etapa de desarrollo del modelo, que se realiza con el objetivo de planificar la aplicación óptima de las actividades para cada herramienta de forma individual (MD, WMM, WMFEA, 3DS).

En el DC la planificación es mucho más amplia pues se consideran desde un comienzo todas las actividades, así como la información necesaria para llevarlas a cabo durante todo el proceso. Inicialmente se establece cual es la información mínima que necesita una etapa para comenzar lo más tempranamente posible. Luego se dividen las etapas en actividades que proporcionen esta mínima información. Finalmente se establece la prelación de las actividades y su orden de ejecución en cada etapa para ejecutarlas simultáneamente con las actividades de otras etapas.

Esto causa que el tiempo de planificación para el DC del modelo estudiado sea un 65,8% mayor que en el DS.

V.2. Modelado de Sólidos (Mechanical Desktop)

Los tiempos destinados para el modelado de sólidos en ambos desarrollos son semejantes (variación del 0.2%) a pesar de que la secuencia de las tareas realizadas en cada uno de ellos no haya sido la misma.

V.3. Análisis Cinemático y de Elemento Finito

Los tiempos incurridos en el análisis cinemático y de elemento finito en el DC fueron superiores a los observados en el DS en un 10.7% y 14.2% respectivamente. Esto radica en que los análisis del DS se realizaron en un sólo paso con la geometría completamente definida, mientras que para el DC el número de análisis se incrementó dado que se llegó al mismo resultado paulatinamente, a medida que se refinaba el modelo partiendo de una geometría preliminar.

V.4. Foto-realismo

El foto-realismo del DC también se realizó paulatinamente, comenzando con información geométrica parcial del modelo que se actualizaba a medida que avanzaba el desarrollo. Esto ocasiona un mayor número de imágenes foto-reales, aumentando el tiempo de cálculo en la computadora, por lo que el tiempo de DC del modelo es un 8,5% mayor al observado en el DS.

V.5. Desarrollo Secuencial vs. Desarrollo Concurrente

El esquema 5 permite ver la considerable diferencia entre los tiempos totales de ambos desarrollos, basándose en la ruta crítica de sus actividades. El DC tiene un menor tiempo de duración a pesar de que la suma total de sus actividades son mayores (en un 17.1%) a los de sus contrarias, las actividades secuenciales. Al dividir las actividades en el DC se generó un aumento en la cantidad de tareas a realizar; no obstante, al realizarlas en paralelo con tareas de otras etapas se logra un ahorro de tiempo del 34.5% respecto al DS.

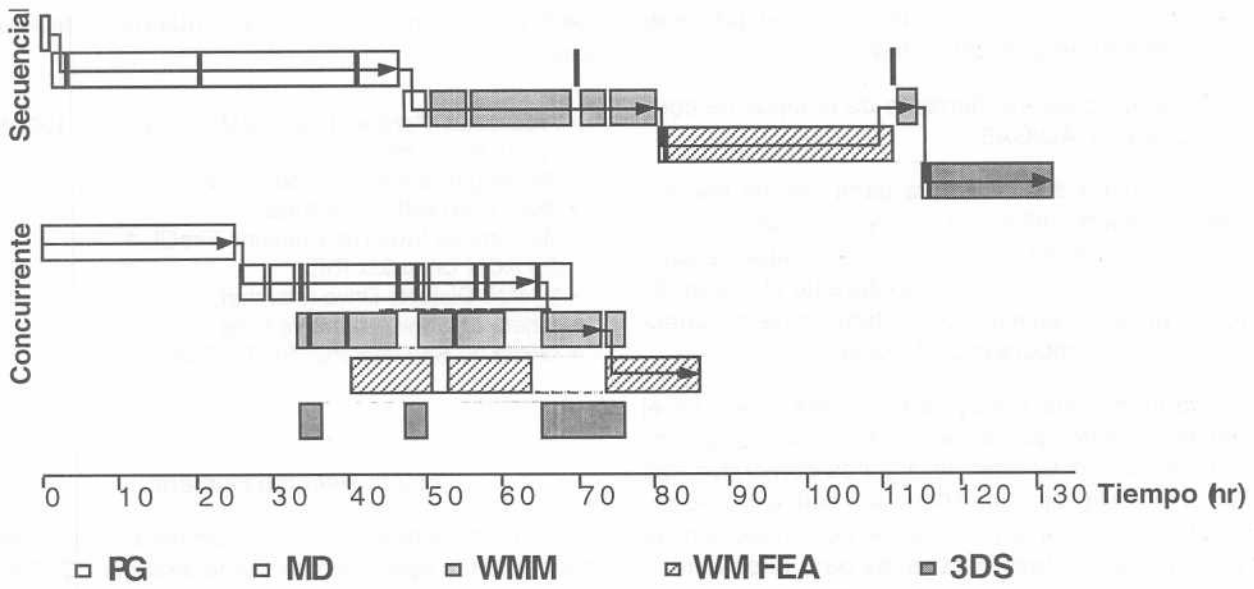
Con el objeto de medir el grado de concurrencia entre las etapas del desarrollo realizado, se define el Porcentaje de Concurrencia como el tiempo de simultaneidad de actividades en etapas distintas entre el tiempo total de desarrollo para todas las herramientas aplicadas. Para el DS el Porcentaje de Concurrencia se aproxima a cero (0,2%), mientras que en el DC el porcentaje de simultaneidad entre actividades es del 68,3%.

VI. Costo del ciclo de vida en la aplicación de las tecnologías CAD/CAE

El estudio de las herramientas CAD/CAE no podría estar completo sin una estimación de los costos que acarrea su aplicación. A continuación se determina el perfil de los Costos del Ciclo de Vida (Life Cycle Cost, LCC) de un sistema CAD/CAE, basándose en el estudio de los recursos necesarios para su implantación.

VI.1. Definición del Modelo

Todas las organizaciones tienen sus propias necesidades tecnológicas en función de su tamaño, tipo de producto, mercado objetivo, nivel de competencia, y muchas otras variables tanto internas como externas a sí mismas. La satisfacción de necesidades tecnológicas tan diversas, ocasionará, de la misma forma, una gran variedad de sistemas (Hardware, Software y Recurso Humano) específicamente diseñados para cada caso particular.



Esquema 5: Diagrama de Ruta Crítica para los Desarrollos del Modelo

Con el objeto de considerar esta variabilidad y ampliar lo más posible el estudio de los costos del ciclo de vida de un sistema CAD/CAE, se define como objeto de estudio un sistema con las siguientes características generales:

- Un escenario de Diseño Concurrente de Productos con un requerimiento tecnológico similar al observado en el desarrollo de la silla para discapacitados.
- 15 Estaciones de Trabajo (Workstations) basadas en tecnologías Windows-Intel, y configuradas para el diseño de productos: Modelado de Sólidos, Análisis Cinemático, Análisis de Elemento Finito y Foto-Realismo.
- Un equipo de diseño conformado por 15 integrantes (tamaño promedio de un equipo de diseño concurrente).
- Un servidor de red que permitirá lograr la Concurrencia del equipo de diseño.

Esta definición tan amplia permitirá, dependiendo de las necesidades específicas de cada organización, configurar el sistema deseado al modificar, agregar, o eliminar características específicas, como puestos de trabajo, nivel tecnológico, herramientas de diseño, etc.

Para el sistema planteado se han asumido las siguientes condiciones:

- Las estaciones de trabajo se actualizarán anualmente para mantener el nivel tecnológico de diseño establecido, considerándose que a los cuatro años ya no es posible actualizarlas debido a la brecha tecnológica alcanzada.
- Los programas se actualizarán bianualmente, ya que este es el promedio de lanzamiento de nuevas mejoras para herramientas (software) de diseño.

VI.2. Definición de los Recursos del Sistema

Los recursos esenciales sobre los que se basan los sistemas CAD/CAE son los programas (software), los equipos de computación (hardware) y el recurso humano que aplicará estas herramientas (operadores). Los programas CAD/CAE se describieron en apartes anteriores del presente artículo, quedando por definir el equipo y el recurso humano apropiado para la aplicación de estas tecnologías.

VI.2.a. El Hardware

Para determinar la configuración idónea de las estaciones de trabajo requeridas en la aplicación de las herramientas CAD/CAE (bajo un ambiente de diseño con complejidad similar al observado en el desarrollo de la silla para discapacitados), se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Requerimientos mínimos establecidos por cada uno de los programas CAD/CAE.

- Rendimiento del equipo utilizado en el desarrollo de la silla para discapacitados.

- Relación costo-rendimiento de equipos de computación CAD/CAE.

La Tabla 3 describe para cada uno de los programas de diseño utilizados, los requerimientos mínimos de hardware establecidos por la compañía fabricante y el rendimiento observado durante el desarrollo de la silla para discapacitados, en función de las características de la computadora utilizada.

Dado que las principales observaciones en el rendimiento del equipo utilizado son los extensos tiempos de cálculo, la lentitud de algunos comandos, las limitaciones en la capacidad del disco duro e insuficiencias en el monitor, se determina que no cumple con las características mínimas necesarias para el desarrollo de modelos con la complejidad indicada.

Para establecer las características de los componentes del equipo, se parte de un estudio comparativo (benchmarking) de rendimiento entre diversas configuraciones de computadoras para aplicaciones CAD en $3D^2$, y de los precios de referencia de diversos proveedores. Concluyéndose que el equipo adecuado para utilizar las herramientas CAD/CAE bajo el escenario de diseño establecido y con la mejor relación costo/rendimiento es el catalogado como "Configuración 3D de Rango Intermedio", con las siguientes Características:

- Procesador Pentium III 600 MMX con Bus de 100 MHz y 512 Kb en memoria Cache L2.
- 256 Megabytes de Memoria RAM.
- Disco Duro 9GB Ultra-Wide.
- Memoria de Vídeo de Diamond FireGL-1.
- CD ROM Drive 52x IDE.
- 1.44MB Diskette Drive (standart).
- Tarjeta de Sonido Creative Labs.
- Tarjeta de Red Intel PCI 10/100 Express Pro.

VI.2.b. Recurso Humano

Para establecer el perfil del recurso humano requerido en la aplicación de las tecnologías CAD/CAE, es necesario determinar qué competencias técnicas (conocimientos y habilidades) se deben poseer para el máximo aprovechamiento de estas herramientas. En el presente trabajo los conocimientos y habilidades se establecieron gracias al aprendizaje adquirido durante el desarrollo del modelo, basándose en las características de los programas utilizados (v. Esquema 6).

La mayoría de estos conocimientos y habilidades son normalmente adquiridos en las escuelas de Ingeniería, exceptuando a aquellos relacionados con

Tabla 3: Requerimientos Mínimos y Rendimientos del Hardware para los programas CAD/CAE utilizados

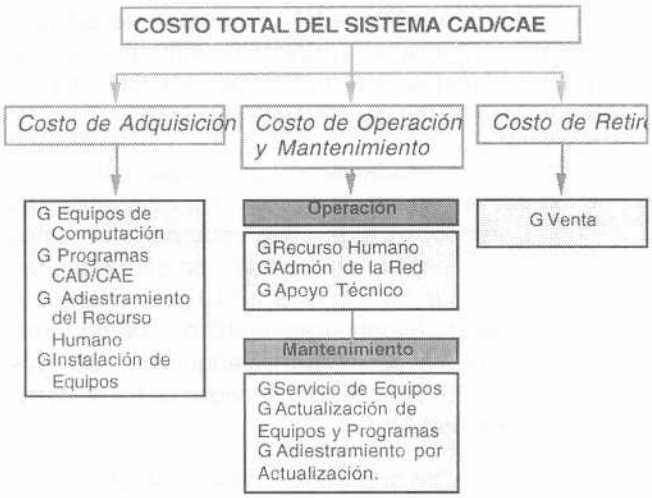
Requerimientos Mínimos / Rendimiento	Característica *–En la Computadora Utilizada–*				
Programa	**Procesador** *-Pentium 200-*	**Memoria RAM** *-128 MB-*	**Disco Duro** *-3.0 GB-*	**Memoria de Vídeo** *-2 MB-*	**Monitor** *- 1024x768 15"-*
Mechanical Desktop	Pentium / I: tiempos de espera innecesarios.	64 MB / S.	62 MB / S.	ND / I: lentitud de los comandos zoom, congelamiento de la pantalla.	ND / I: uso en exceso de comandos zoom. Esfuerzo constante de la vista.
WM Motion	Pentium / I: tiempo de cálculo extenso.	64 MB / I: tiempo de cálculo extenso.	62 MB / S.	ND / I: lentitud de los comandos zoom, congelamiento de la pantalla.	ND / I: uso en exceso de comandos zoom. Esfuerzo constante de la vista.
WMFEA	Pentium / I: tiempo de cálculo extenso.	ND / I: tiempo de cálculo extenso.	ND / I: limitaciones de cálculo por la capacidad del DD.	ND / S.	ND / S: uso en exceso de comandos zoom. Esfuerzo constante de la vista.
3D Studio	486 / I: tiempo de cálculo extenso.	8 MB / S.	ND / S.	ND / S.	ND / I: uso en exceso de comandos zoom. Esfuerzo constante de la vista.

Leyenda: S:Suficiente I:Insuficiente ND:Información No Disponible

propiedades visuales de los objetos, luces, cámaras y animación, que se adquieren a través de estudios de fotografía y filmación. Debido a que el trabajo fotorealístico es realizado no con objetivos profesionales (broadcasting), sino con el objeto de mostrar las características visuales del producto una vez terminado, se determina que el recurso humano apropiado para la aplicación de estas herramientas deberá estar formado fundamentalmente en áreas asociadas a ingeniería.

VI.3. Estructura Ramificada de Costos

El ciclo de vida para el sistema planteado comprende todas las fases, desde la adquisición de los equipos y programas, hasta su venta o retiro de servicio. La estructura ramificada de los elementos de costo para el modelo estudiado se muestra en el Esquema 7.



Esquema 7: Estructura Ramificada del Costo del Ciclo de Vida

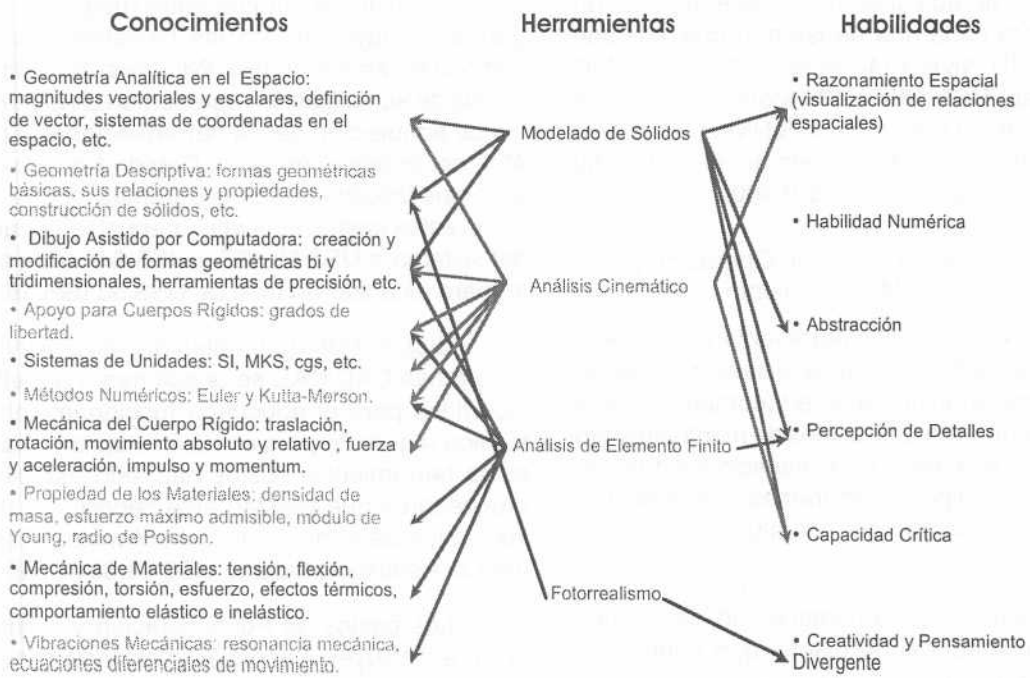
Para el análisis del sistema no fueron incluidos algunos elementos de costo, pues se considera que se extienden más allá de los objetivos planteados en el presente trabajo, como pueden ser: Infraestructura (mobiliario e instalaciones generales), Equipos de apoyo (impresoras, UPS), Consumibles (papel, cartuchos de impresión) y otros (consumo de energía).

VI.4. Estimación de los Componentes de Costo

Para determinar los componentes de costo del sistema planteado se utilizarán diversas fuentes: proveedores de servicios y herramientas CAD/CAE, datos técnicos de los programas utilizados, revistas especializadas y un estudio comparativo del LCC de una red de computadoras Windows-Intel para aplicaciones de oficina . El cálculo se realiza en dólares americanos debido a que el precio de la mayoría de los componentes de costo se manejan en esta moneda.

VI.4.a. Costos de Adquisición

Los costos de adquisición son aquellos relativos a la obtención del sistema como producto disponible



Esquema 6: Perfil del Recurso Humano Requerido en la Aplicación de las Tecnologías CAD/CAE

para ser utilizado y apoyado. Los costos de adquisición están compuestos por los siguientes elementos: Adquisición e Instalación de Equipos y Programas, y Entrenamiento Inicial del Recurso Humano.

Los costos de adquisición de equipos están conformados por la compra de quince (15) computadoras PC y un (1) servidor. La garantía estándar para estos equipos es de tres (3) años. La estación de trabajo tiene un costo de mercado de US$ 2.749 para la configuración establecida (Configuración 3D de Rango Intermedio), por lo que el costo total de adquisición de PC's es de US$ 41.235. El costo del servidor se ha determinado en US$ 4.650.

Los costos de adquisición para cada uno de los programas descritos, son los siguientes: Mechanical Desktop US$ 4.995, WM Motion y WMFEA US$ 6.000 c/u (US$ 9.995 al adquirirse simultáneamente), y 3DStudio US$ 3.495; así, al adquirir 15 licencias de cada uno de estos programas el monto total asciende A US$277.275.

Los costos de Instalación de Equipos y Programas se establecen en US$25 para cada PC y US$ 100 para el servidor. Los programas CAD/CAE no tienen costo de instalación, pues se incluye en el precio de adquisición. El costo de instalación de los sistemas operativos de las computadoras y el servidor, también se incluye en el precio de adquisición de los equipos. Los costos de instalación ascienden a un total de US$475.

Los costos de adiestramiento del equipo de diseño en sitio para cada una de las herramientas son los siguientes: MD Nivel I (40 horas) US$ 1850, MD Nivel II (40 horas) US$ 1850, WM Motion (24 h) US$ 1925, WMFEA (24 h) US$ 1925, 3DS Nivel I (40 horas) US$ 1850. Basándose en estos valores, el costo total de entrenamiento alcanza los US$ 9.400.

VI.4.b. Costos de Operación y Mantenimiento

Los costos de operación representan para el sistema estudiado aquellos asociados al salario del recurso humano, administración de la red (computadoras y servidor), y apoyo técnico. Los costos de mantenimiento del sistema están reflejados en el servicio y actualización periódica de equipos y programas, y el adiestramiento del recurso humano por actualización del software.

Los costos del recurso humano son los salarios devengados por el equipo de diseño que operan las herramientas CAD/CAE. El sueldo mensual de un ingeniero con cero (0) años de experiencia ha sido establecido por el Colegio de Ingenieros de Venezuela (para la fecha de realización del estudio) en Bs. 600.000. Sumando todos los beneficios de ley, el sueldo alcanza anualmente los Bs. 10.744.000, que transformados a Dólares Americanos (a la tasa de cambio promedio de 680 Bs./$) se obtienen US$ 15.800. La nómina anual para 15 ingenieros asciende a US$ 237.000.

Los costos de re-entrenamiento para los 15 operadores en los programas mencionados son: MD (20 horas) US$ 1.850, WM Motion (12 h) US$ 960, WMFEA (12 h) US$ 960 y 3Dstudio (20 horas) US$ 925. Los costos totales de adiestramiento por actualización alcanzan los US$ 4.695.

Los costos anuales de actualización de los equipos se establecen en un 25,2% y 19,6% de los costos de adquisición para las computadoras y el servidor, respectivamente. Debido a esto, los costos de actualización del hardware ascienden para el segundo, tercer y cuarto año a US$ 692,75 para cada PC y en US$ 911,4 para el servidor. Alcanzando anualmente un total de US$ 11.302,62.

El mantenimiento de los equipos se aplica al final del periodo de garantía estándar (3 años), y se basa en el costo de contratar la reparación en sitio de las computadoras para el día siguiente (next-day) y la reparación en sitio del servidor para el mismo día (same-day). El Mantenimiento anual de los equipos se establecen en US$468 para el servidor, y en US$176 para cada computadora. Totalizando los US$3.108 para el cuarto año de vida del sistema.

El costo de actualización (upgrade) de los programas incluye tanto a las herramientas CAD/CAE como al sistema operativo Windows. Se estima que los costos de actualización representan un 20% de los costos de adquisición de las herramientas CAD/CAE y un 45% del sistema operativo. Debido a que la frecuencia de actualización de los programas ocurre cada dos años, estos costos equivalen para el tercer año de vida del sistema a US$ 55.455 y US$ 641, respectivamente; para alcanzar un total de US$ 56.096,25.

Los costos de mantenimiento y servicio de los programas CAD/CAE se relacionan a aquellos costos incurridos para el adecuado funcionamiento y apoyo técnico requerido para el máximo aprovechamiento de estas herramientas. Estos han sido establecidos por proveedores que prestan este servicio en un 15% de los costos de adquisición del software; y representan para el sistema estudiado US$ 41.591 al año.

Los costos de Administración y Mantenimiento de la red incluyen a aquellos asociados con configurar, monitorear y mantener sus componentes para el adecuado funcionamiento del sistema. Los costos anuales incurridos en la administración y mantenimiento de una

red conformada por 15 computadoras y un servidor, se establecen en US$ 1.300.

VI.4.c. Costos de Retiro de Servicio

Los costos de Retiro del Sistema están representados por la venta del hardware en el mercado secundario de computadoras. El valor de salvamento de los equipos se ha estimado en un 25%; debido a esto, el valor de retirada de servicio significa un ingreso para el sistema planteado de US$ 549,8 por computadora y US$ 930 por el servidor, para alcanzar un total de US$ 9177.

VI.5. Perfil del Ciclo de Costo de Vida

Una vez establecidos los componentes de costo, se procede a determinar el costo del ciclo de vida del sistema analizado. La Tabla 4 resume los costos totales por componente para cada año de vida del sistema y para los 4 años de vida del sistema, observándose que los costos de Adquisición (US$333.305) representan un 21,6% respecto al costo total del ciclo de vida (US$1.541.230), mientras que los costos de Operación y Mantenimiento (US$1.217.372) constituyen desde el primer hasta el cuarto año de vida del sistema un 79,0% de los costos totales. Por concepto de Retirada de Servicio (valor de salvamento US$ 9.177) se recupera apenas un 0,6% de los costos totales incurridos durante la vida del sistema.

Como puede observarse en el Gráfico 1, el costo para el primer año de vida del sistema es considerablemente superior al resto de los periodos estudiados, debido a la adquisición de programas y equipos. Para el segundo y cuarto año los costos incurridos son esencialmente costos de Operación y Mantenimiento, de forma que los costos durante esos periodos son similares. El tercer año contiene además de los costos de Operación y Mantenimiento, aquellos relativos a la actualización de equipos, programas y adiestramiento del recurso humano, haciéndolo ligeramente superior a los periodos contiguos.

El costo de aplicación de las herramientas CAD/CAE por puesto de trabajo, y bajo un ambiente de red, se establece en US$ 102.749 para los cuatro años de vida del sistema. Por lo que el costo anual promedio por puesto de trabajo se estima en US$ 25.687.

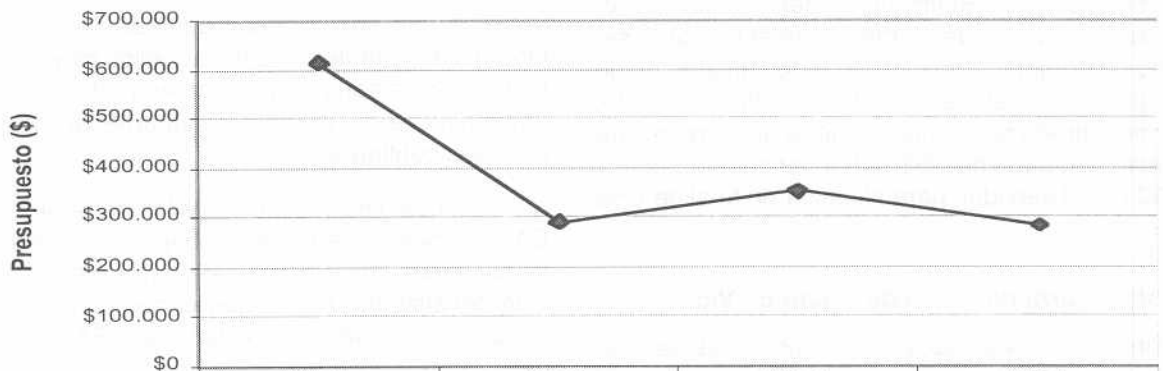
Los componentes de costo para el sistema estudiado, expresados como porcentaje del total para los cuatro años de vida del sistema, se detallan en el Gráfico 2.

Se observa que los componentes con mayor peso en la aplicación de estas herramientas están representados por: recurso humano (61,15%), adquisición de programas CAD/CAE (17,88%) y servicio de programas (10,73%); el resto de los componentes de costo no llegan a superar el 11% de los costos totales. Es necesario hacer notar el poco peso que representa la adquisición de equipos de computación (2,96%) en comparación con el resto de los componentes de costos mencionados anteriormente.

Tabla 4: Costo de ciclo de Vida del Sistema CAD/CAE

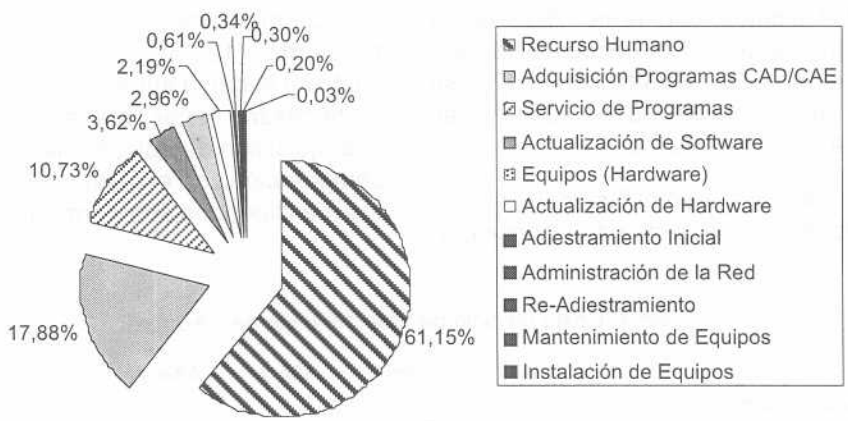
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Total por Componente
Costos de Adquisición					**$333.035**
Equipos (Hardware)	$45.885				$45.885
Programas CAD/CAE	$277.275				$277.275
Adiestramiento Inicial de Operadores	$9.400				$9.400
Instalación	$475				$475
Costos de Operación y Mantenimiento					**$1.217.372**
Sueldo de Operadores	$237.000	$237.000	$237.000	$237.000	$948.000
Actualización de Software			$56.096		$56.096
Actualización de Hardware		$11.303	$11.303	$11.303	$33.908
Re-Adiestramiento de Operadores			$4.695		$4.695
Administración de la Red	$1.300	$1.300	$1.300	$1.300	$5.200
Servicio	$41.591	$41.591	$41.591	$41.591	$166.365
Mantenimiento del Equipo	Garantía	Garantía	Garantía	$3.108	$3.108
Costos de Retirada					**-$9.177**
Valor de Salvamento				-9177	-$9.177
Total Año	$612.926	$291.194	$351.985	$285.125	**$1.541.230**

I. Gráfico 1: Perfil de Costo del Ciclo de Vida del Sistema CAD/CAE



	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Presupuesto	$612.685	$290.900	$351.641	$284.733

Tabla 4: Costo de ciclo de Vida del Sistema CAD/CAE



VII. Conclusiones

Las tecnologías de Diseño e Ingeniería Asistidos por Computadora permiten el modelado, análisis, y visualización de modelos que, al ser virtuales, aceleran el diseño y redundan en una mayor precisión en el desarrollo y especificación de los productos. Sin embargo, por sí solas no garantizan el éxito en el desarrollo de productos, ya que el aprovechamiento de los recursos involucrados –tiempo, hardware, software y equipo humano– está determinado por la filosofía de diseño bajo la cual se utilizan estas herramientas.

La filosofía de Ingeniería Concurrente reduce significativamente los tiempos de diseño de productos en comparación con la filosofía tradicional o Ingeniería Secuencial. Esta reducción del tiempo se logra mediante la planificación exhaustiva y el solapamiento de las actividades de diseño, así como de un constante intercambio de información entre los actores involucrados en el proceso.

El Desarrollo Concurrente de productos requiere tanto de un equipo tecnológico como de un equipo humano calificado para la aplicación de las herramientas CAD/CAE. Los recursos tecnológicos deben seleccionarse en función de la relación costo/rendimien-

to y del producto a desarrollar. El recurso humano debe poseer conocimientos y habilidades integrales para el desarrollo de productos.

Los costos incurridos en la aplicación de las herramientas CAD/CAE bajo la filosofía de Ingeniería Concurrente, representan una alta inversión que se justifica para organizaciones de tamaño mediano o grande. Estos costos están representados en su mayoría por aquellos asociados al recurso humano y a los programas de diseño CAD/CAE.

VIII. Referencias

BARANDICA ROMO, José Luis. "Ergonomía". Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España.

GARCÍA GARCÍA, Isidoro. "Costos Logísticos". Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España.

HIBBELER, Rousell. "Mecánica para Ingenieros - Estática". Editorial Continental, S.A. DE C.V. Segunda edición, 1989. México, D.F.

KLAUSS-JORGEN, Bathe. "Finit Element Procedures". Editorial Prentice-Hall. 1996.

MATUTE, Mariela y PAZ, Patricia. "Planes de Acción para la implantación y difusión de la Filosofía de Ingeniería Concurrente en la UCAB". UCAB, 1998.

MUSTAFA PULAT, B. "Fundamentals of Industrial Ergonomics". Waveland Press, Inc. Second Edition, 1999. Prospect Heights, Illinois.

TIRUPATHI, Chandruptal y ASCHOR, Belengundu. "Introduction to Finit Element in Engineering". Editorial Prentice-Hall. 2° Edition, 1997.

VAN VLACK, Lawrence. "Materiales para Ingeniería". Editorial Continental, S.A. Segunda edición, 1981. México, D.F.

WARREN J., Luzadder y DUFF, Jon M.: "Fundamentos de Dibujo en Ingeniería". Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. Edición décimo primera, México, 1996.

URL's

- www.autodesk.com
- www.mechanicalsolutions.com
- www.soce.org

IX. Agradecimientos

Deseamos expresar nuestro más profundo agradecimiento a los Sres. Miguel Rivas ✞ y Juan Martínez de la Vega, quienes fueron promotores de este proyecto.

Igualmente agradecemos al Grupo Abstract C.A por habernos cedido el uso de las Herramientas CAD/CAE.

Finalmente agradecemos a la Universidad Católica Andrés Bello, y en especial a la Facultad de Ingeniería, por habernos brindado su apoyo para la realización del presente trabajo.

X. Notas

1 Tanto el motor eléctrico como el mecanismo de oruga no están incluidos en el prototipo; sin embargo el diseño está realizado con el objetivo de adaptar estas características.

2 Intel Workstations Power, CADalyst Magazine, 1999.

3 Desktop Clients - A Cost of Ownership Study, Zona Research Inc., 1996.

Influencia de la resistencia del concreto en el costo de los proyectos de edificaciones multifamiliares

Alejandro O'daly
Domingo A. Radina

Sinopsis

Tradicionalmente los diseños de edificaciones de concreto armado se han realizado con una resistencia de concreto a compresión de 250 kgr./cm². Hasta el momento, no se han encontrado documentos técnicos que expliquen, desde el punto de vista económico, la justificación de la selección de dicho valor de resistencia. Es sabido que los concretos de alta resistencia (f'c > 300 kgr./cm²) requieren de un control de calidad mucho más riguroso que los concretos comúnmente empleados y tiene un costo unitario mayor. A pesar de la ventaja que tienen los concretos de bajas resistencias (250 kgr./cm² o menos) en términos de control de calidad y en costo unitario, una pregunta importante es la siguiente:

¿Valdrá la pena pagar más por un concreto de alta resistencia que requiere de procesos de control de calidad más rigurosos y un costo unitario mayor?

La combinaciòn del ahorro debido a la reducción del tamaño de la sección sumado a las menores cantidades de acero transversal pueden resultar en ahorros significativos al momento de calcular el costo total de una estructura.

Metología del trabajo

Debido a que el costo de la estructura en un proyecto de edificación para uso multifamiliar representa entre un 30 y 45 % del costo total, dependiendo del tipo de acabado de la edificación y del proyecto arquitectónico y estructural (Fuente Constructora Cohen, C.A.), se ha planteado la necesidad de evaluar la posibilidad de reducir estos costos de construcción. Una forma de poder lograrlo, es a través del estudio de la influencia que tiene la selección de la resistencia del concreto, en los costos de la estructura.

El trabajo se dividió en dos partes, cada una realizada con una metodología distinta debido a las diferencias encontradas en su formulación. En la primera parte se estudiaron vigas mediante diversos análisis adimensionales y dimensionales. En la segunda parte, el estudio fue realizado en columnas, tomando en cuenta la inexistencia de una ecuación general que permitiera analizar el caso adimensional.

Objetivo General:

El objetivo general del estudio realizado fue determinar la influencia de la variación de la resistencia del concreto en el costo de las estructuras de concreto armado utilizadas en la construcción de edificaciones con fines multifamiliares.

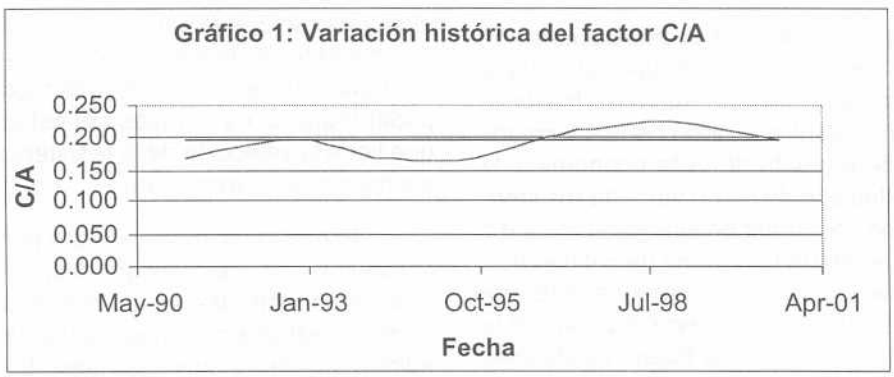
Alcances y Limitaciones

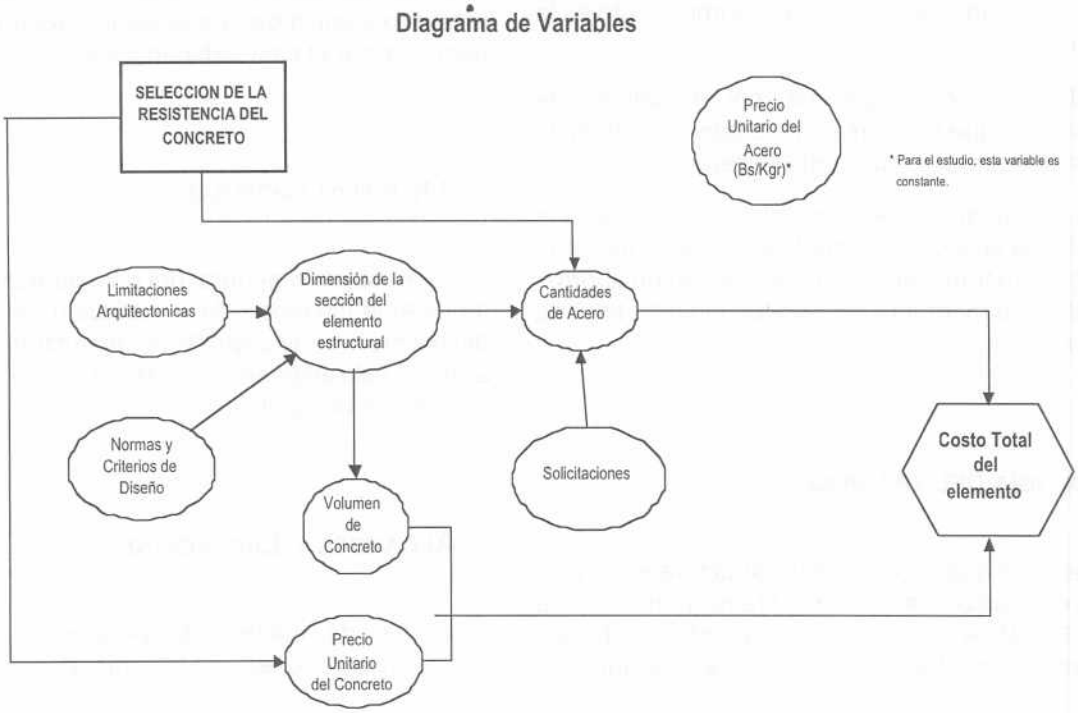
A fin de establecer los parametros de validez del estudio realizado, es conveniente tener claro todos los

factores que intervienen en los calculos y asi establecer el punto de partida para una futura investigacion. Para realizar esta investigación fueron estudiadas exclusivamente, dentro de los elementos de concreto armado que componen la estructura de una edificación con fines multifamiliares, las vigas y las columnas rectangulares de sección uniforme, con dimensiones típicamente utilizadas en dichas edificaciones. La investigación con vigas y columnas se basó exclusivamente, en un estudio teórico, aplicando la formulación respectiva para la determinación de las cantidades de concreto y acero, sin tomar en cuenta la interacción de los elementos como un conjunto.

En el cálculo de vigas, sólo fueron tomados casos puntuales de momentos flectores, lo cual a juicio de los autores, será suficientemente representativo para poder derivar conclusiones generales sobre el comportamiento de los costos de una viga en un caso real. Los detalles de colocación de acero (longitudes de desarrollo, empalmes, conexiones, etc.) no fueron tomados en consideración, al igual que el efecto sísmico en las vigas y columnas y todas las combinaciones de cargas exigidas para el cálculo de estos elementos. Las resistencias del concreto utilizadas variaron desde 250 kgr/cm² hasta 350 kgr/cm².

Todos los resultados obtenidos se basan en precios unitarios de materiales (acero y concreto) actualizados al valor de mercado (Septiembre 2000), por lo que una variación significativa en la relación proporcional de los precios del acero y del concreto (C/A), cambiará significativamente los resultados obtenidos en este trabajo. En el Gráfico XX, se puede observar, como han variado dichas relaciones de manera porcentual desde el año 1.992 hasta el presente. Este factor es muy importante ya que su variación puede alterar las conclusiones obtenidas en este estudio.





En base al esquema presentado, se clasificaron las variables de la siguiente manera:

La variable dependiente en este caso será el costo total del elemento, ya que ésta es calculada a partir de los cómputos métricos de los materiales y de los precios unitarios de los mismos. La variable independiente será la resistencia del concreto, ya que ésta es seleccionada por el ingeniero al calcular la estructura y no es afectada por las demás variables. Las variables que intervienen serán las siguientes: precio unitario del concreto y del acero, dimensiones de la sección del miembro estructural estudiado, limitaciones arquitectónicas, normas y criterios de diseño, solicitaciones y las cantidades de acero y de concreto requeridas por la sección para resistir momentos y cortes actuantes.

Desarrollo de la Investigación

Estudios realizados en vigas

Los estudios realizados en vigas se pueden clasificar en dos tipos. En el primero fueron analizadas las vigas simplemente armadas (SA) y en el segundo las vigas doblemente armadas (DA). Tanto en los estudios de vigas SA como en los de DA se utilizó en primer lugar, parámetros adimensionales y posteriormente, casos concretos dimensionales con valores determinados.

Todos los estudios fueron realizados considerando secciones uniformes a lo largo del miembro con diferente sección transversal (secciones variables), según recomendación del Profesor José Manuel Velásquez, lo cual permitió observar la variación de los costos unitarios para las diferentes secciones, variando la resistencia del concreto

Este grafico muestra como las curvas graficadas para las diferentes resistencias del concreto no presentan una variación significativa en el porcentaje de acero en la zona donde la solicitacion no requiere de aceros mayores al 2%. Una vez que la sección comienza a cargarse y los requerimientos de acero se hacen mayores, estas curvas presentan una tendencia a la divergencia (zona del recuadro), obteniendo asi para las curvas los concretos de alta resistencia (Flecha horizontal) ahorros en acero respecto a las curvas de los concretos de menor resistencia. (Flecha Vertical) Este ahorro se ve disminuido al considerar la diferencia de costo entre los concretos de diferente resistencia.

Una vez realizados los gráficos para diversas secciones y combinaciones de carga, se obtuvieron resultados similares. Esto permitió conducir el estudio hacia secciones con dimensiones definidas y asi obtener los costos unitarios para asi comprobar las conclusiones obtenidas con los diagramas adimensionales. Las secciones utilizadas se muestran a continuacion:

Sección	d (cm)
1	47.5
2	52.5
3	57.5
4	62.5
5	67.5

Gráfico 3: Mu/b vs. % As (d = 47,50 cm - f'c var.) en Viga SA

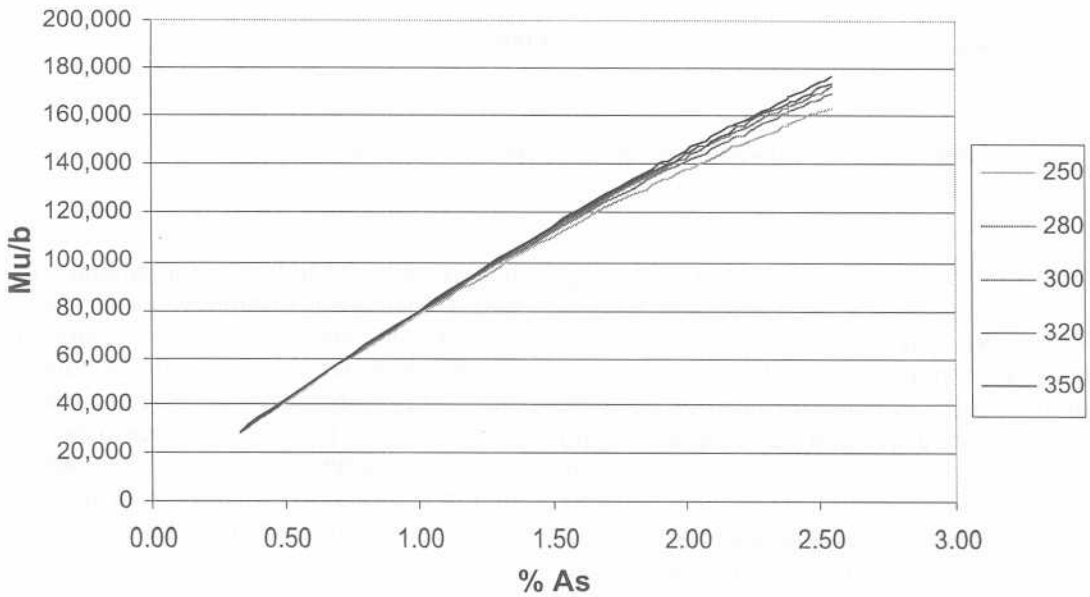


Grafico 3: Porcentaje de Acero para las diferentes solicitaciones aplicadas.

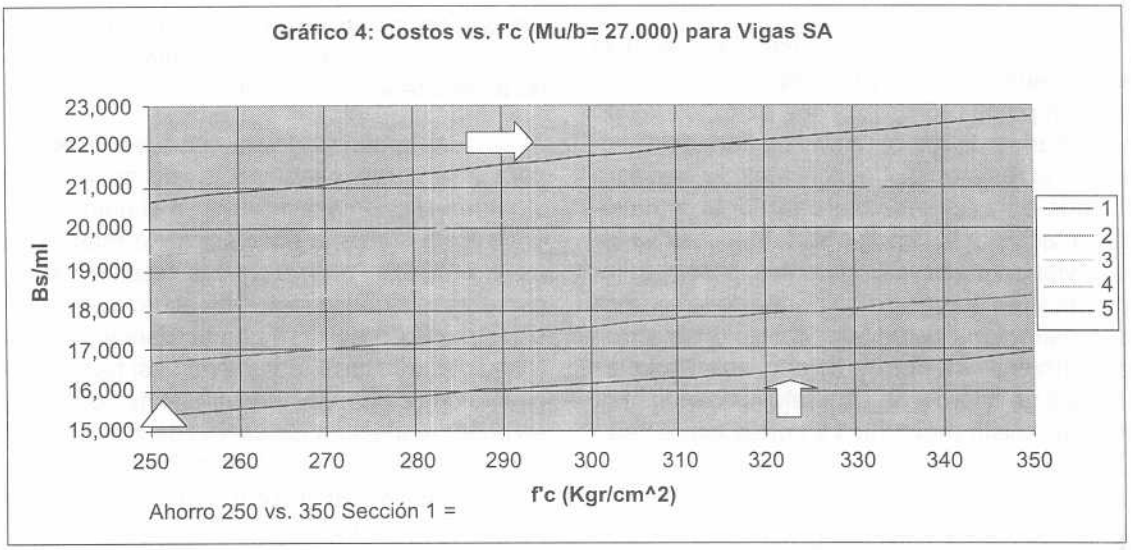


Gráfico 4: Análisis de costos unitarios variando la sección transversal. Carga Baja.

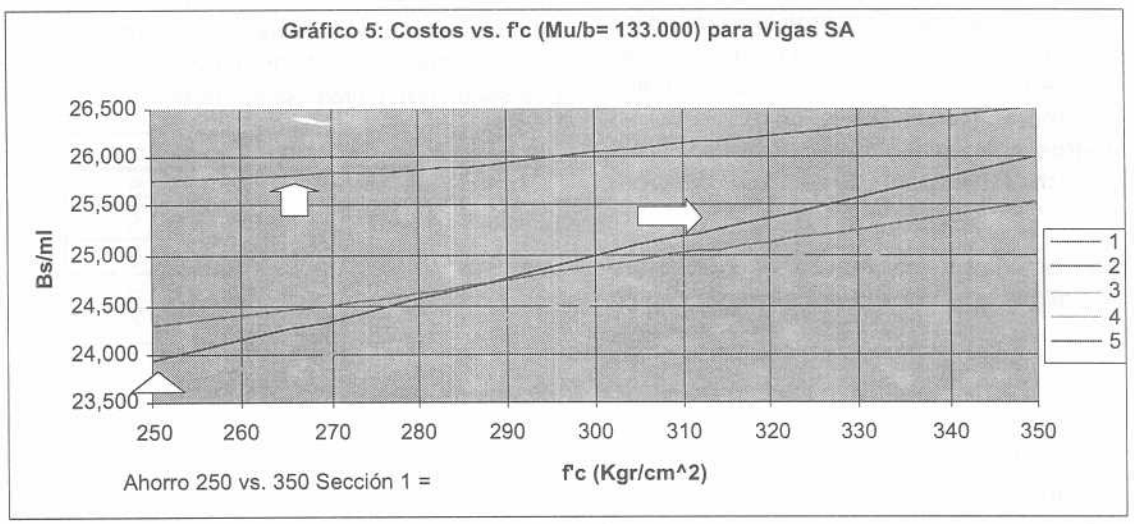


Gráfico 5: Análisis de costos unitarios variando la sección transversal. Carga Alta

El análisis de los gráficos comprueba las conclusiones obtenidas de los resultados obtenidos de las gráficas adimensionales. Las curvas tienden a tomar una forma parabólica (donde los concretos de resistencia media tendrán un costo menor) a medida que aumenta la solicitación. Sin embargo, esta curva se desplazara hacia arriba. (Flecha vertical) La flecha horizontal indica la sección inmediata superior a la sección 1 (flecha vertical), la cual comienza a desplazarse hacia arriba. El triángulo del gráfico representa el punto de porcentaje de acero óptimo. Este punto es cercano al 1%, el cual repitió para todos los incrementos de carga aplicados. Este análisis permite concluir que la resistencia óptima para vigas depende de la carga aplicada y del tamaño de la sección, alcanzando el punto óptimo cuando con la combinación de las dos variables se obtengan valores de porcentaje de acero cercanos al 1%. Si embargo, los ahorros obtenidos en estos estudios no fueron significativos. Esta conclusión se obtuvo tanto en vigas simplemente armadas como en vigas doblemente armadas.

Estudios realizados en Columnas

Secciones Rectangulares Constantes

El análisis de columnas se realizó de manera dimensional, al encontrar una dificultad enorme para la obtención de una ecuación representativa de las curvas en los diagramas de iteracion provinientes de la experimentación. Por este motivo, se seleccionaron una serie de secciones rectangulares (Prof. Jose M. Velazquez), sometidad a flexocomprension uniaxial, utilización de diagramas de fuerza axial y momento flector (obtenidos de la introducción de datos en el diagrama adimensional). Posteriormente se analizó el caso de flexocompresión biaxial, realizando en este último diagramas de isocargas

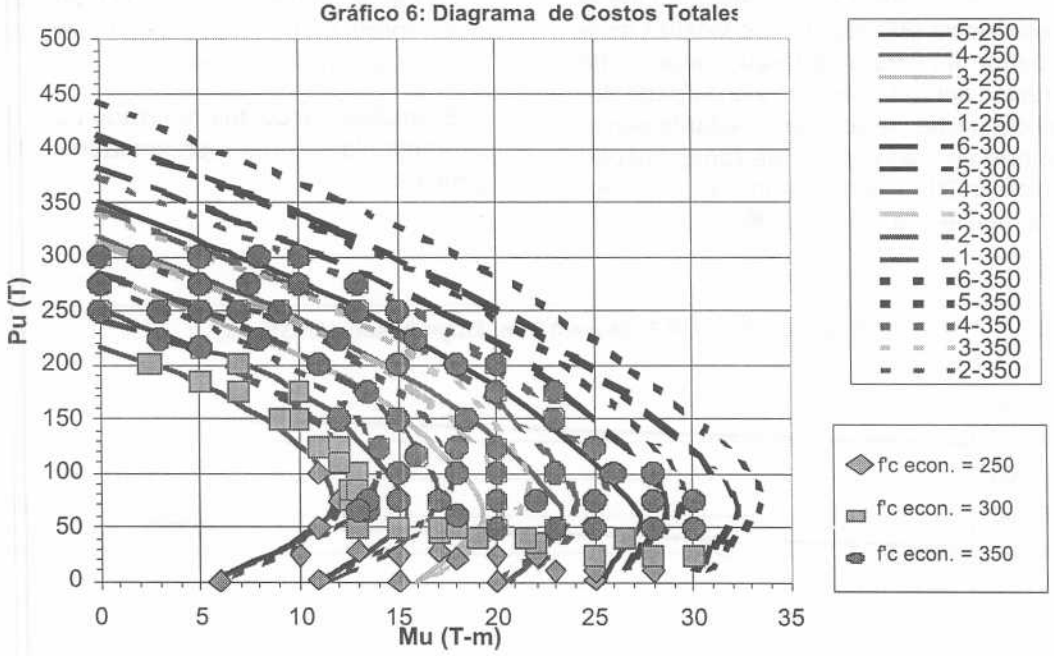


Gráfico 6 : Diagrama de cargas por columnas de 35 x 35

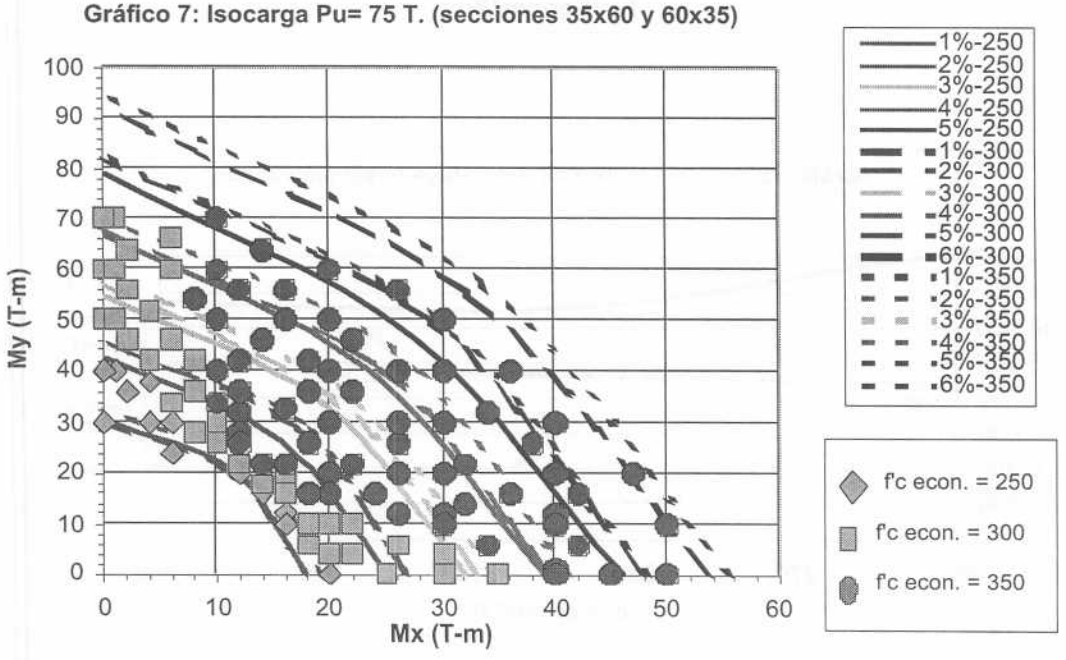
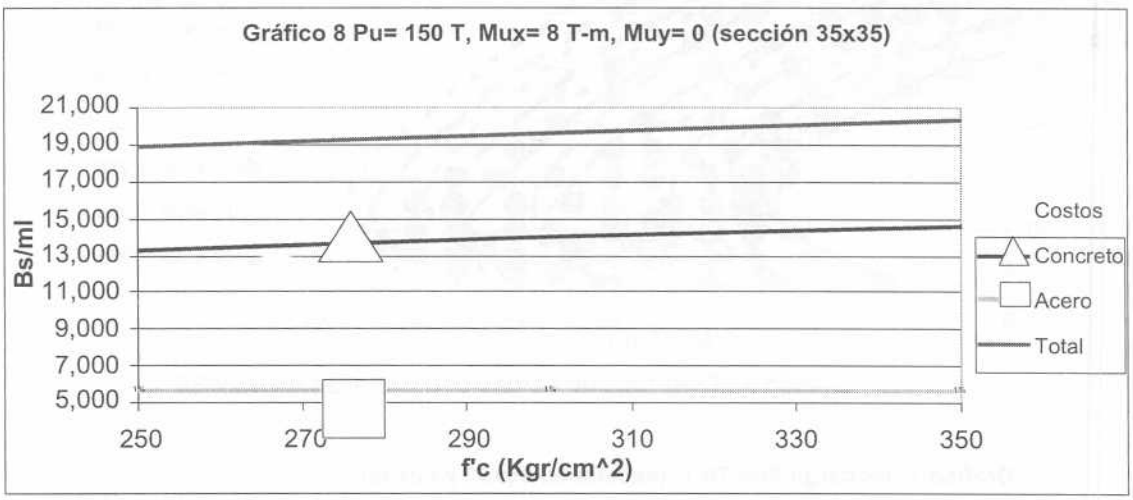


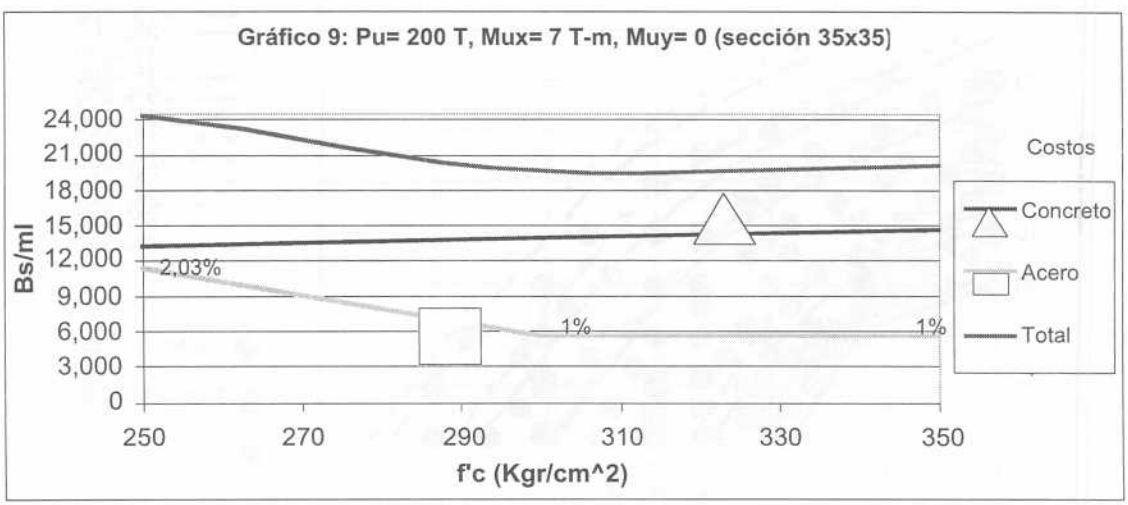
Gráfico 7: Diagrama de cargas (Isocarga)

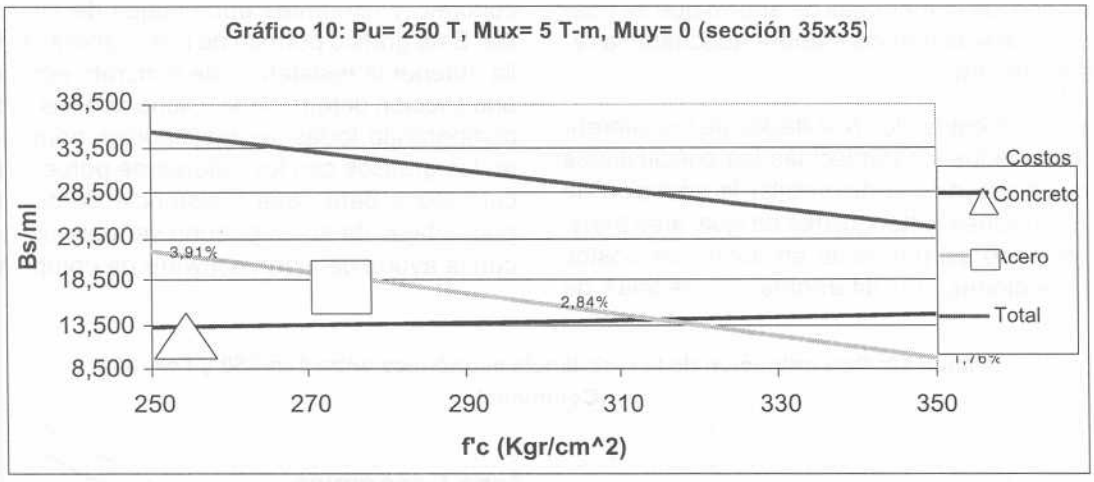
En estos diagramas se observan una serie de puntos con distinta forma geométrica. Estos puntos representan la resistencia de concreto cuyo costo calculado fue el menor. Adicionalmente, el gráfico incluye la restricción del 1% de acero. Este procedimiento se repitio para varias secciones diferentes, obteniendo las mismas zonas características de resistencias económicas, las cuales seran explicadas a continuación

- La zona donde el concreto predominante fue el de alta resistencia (350 kg/cm²) se localiza en la parte superior del diagrama (predominancia de la compresiòn sobre la flexión) y en la parte derecha del diagrama (% de acero bastante elevado). El ahorro en costos de estas zonas pueden ser hasta de un 30 %, comparado con el concreto de baja resistencia. (Zona 3) ●
- La zona donde el concreto de resistencia económica predominante fue el de mediana resistencia (300kg/cm²)es una zona de transición, compuesta de dos partes: la zona de transición real entre las resistencias altas y las resistencias bajas y la zona donde el porcentaje de acero obtenido fue menor al 1%. (Zona 2) ■
- La zona donde la resistencia económica obtenida fue de (250 kg/cm²) y en la cual la columna se comporta como una viga con predominancia de la flexión. (Zona 1) ◆

El análisis de costos realizado para cada punto puede verse claramente representado en los siguientes gráficos:







Gráficos 8, 9 y 10: Curva total de costos para cargas bajas, medias y altas.

Mediante el análisis de los gráficos 8, 9 y 10 se puede concluir que en el caso de columnas, los ahorros son significativos sí la sección económica resulta ser de concreto de alta resistencia. En estos gráficos se muestra una secuencia del comportamiento de cada una de las curvas que suman la curva de costo total. Dicha secuencia comienza con una seccion poco cargada, con porcentajes de acero minimo. Para esta seccion, la resistencia de concreto mas economica es la de 250 kgr/cm². El segundo grafico muestra como la seccion comienza a cargarse y la curva del costo del acero toma una forma con pendiente negativa, hasta llegar al punto del acero minimo. Para esta seccion, el concreto de resistencia intermedia resulto ser el mas economico. Finalmente, tenemos el caso en el cual la pendiente de la curva del acero es negativa, sin llegar a valores de acero minimo. En este caso la resistencia de concreto ams economica resulto ser la de 350 kgr/cm². Se puede ver claramente que la relacion C/A antes mencionada influye de manera significativa, desplazando la curva de costos totales hacia arriba o hacia abajo según los valores del mercado.

En el análisis para miembros de distintas secciones transversales, donde se compararon los costos entre diferentes secciones para las distintas configuraciones de carga, se obtuvieron resultados similares. Todos los resultados obtenidos indican que en el análisis de columnas, la selección de la resistencia de concreto que permite obtener costos menores es mas importante que en vigas, ya que se pueden obtener ahorros significativos. El gràfico 11 muestra las zonas ca-

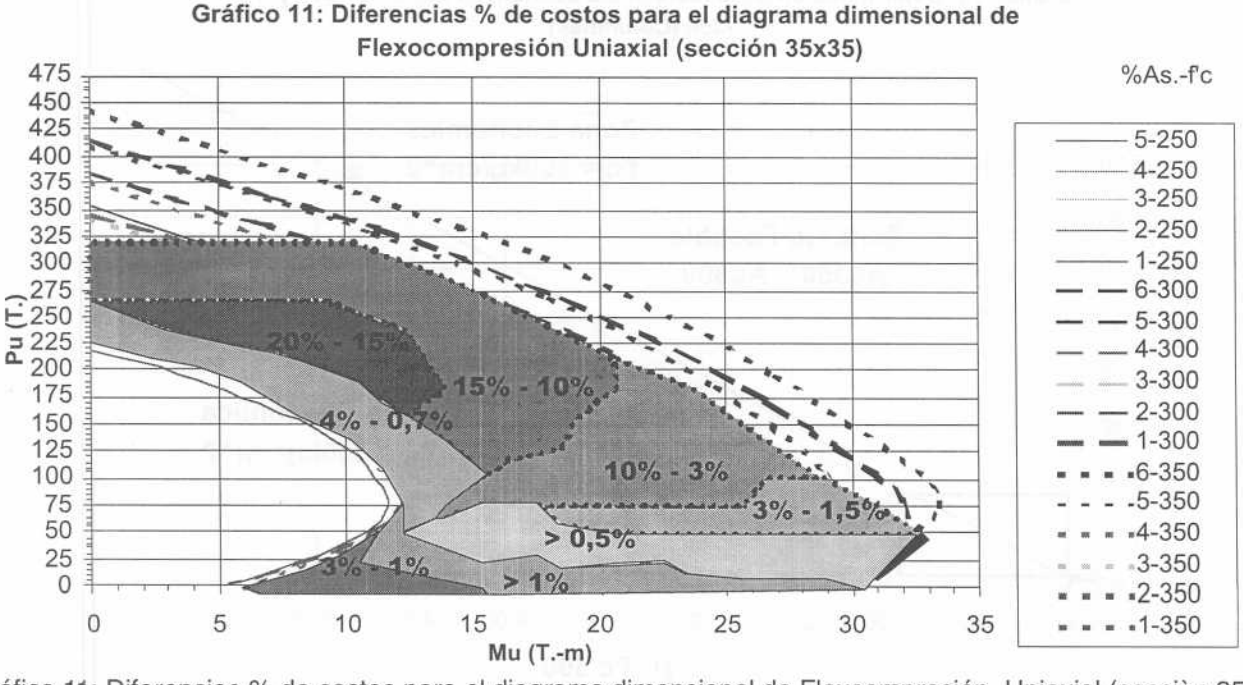


Gráfico 11: Diferencias % de costos para el diagrama dimensional de Flexcompresión Uniaxial (secciòn 35x35)

racterísticas con los porcenrajes de ahorro que se pueden obtener al seleccionar de manera adecuada la resistencia del concreto.

Una vez obtenidos los resultados de los diferentes casos estudiados y establecidas las conclusiones del analisis, se procedio a desarrollar la ecuacion de costos para secciones rectangulares de igual area transversal, obteniendo asi una recta en donde los costos de ambas secciones con diferentes resistencias de concreto y diferentes porcentajes de acero son iguales. Este grafico permite de una manera rapida y sencilla obtener la resistencia de concreto economica, para una seccion determinada. Dicho analisis debe hacerse comparando todas las resistencias entre si, entrando en los graficos con los valores de porcentaje de acero calculados para cada resistencia de concreto. Estos porcentajes de acero pueden ser obtenidos fácilmente con la ayuda de algún software de computación.

Gráfico 12: Determinación de la resistencia económica entre f'c= 250 y f'c= 350 (Columnas)

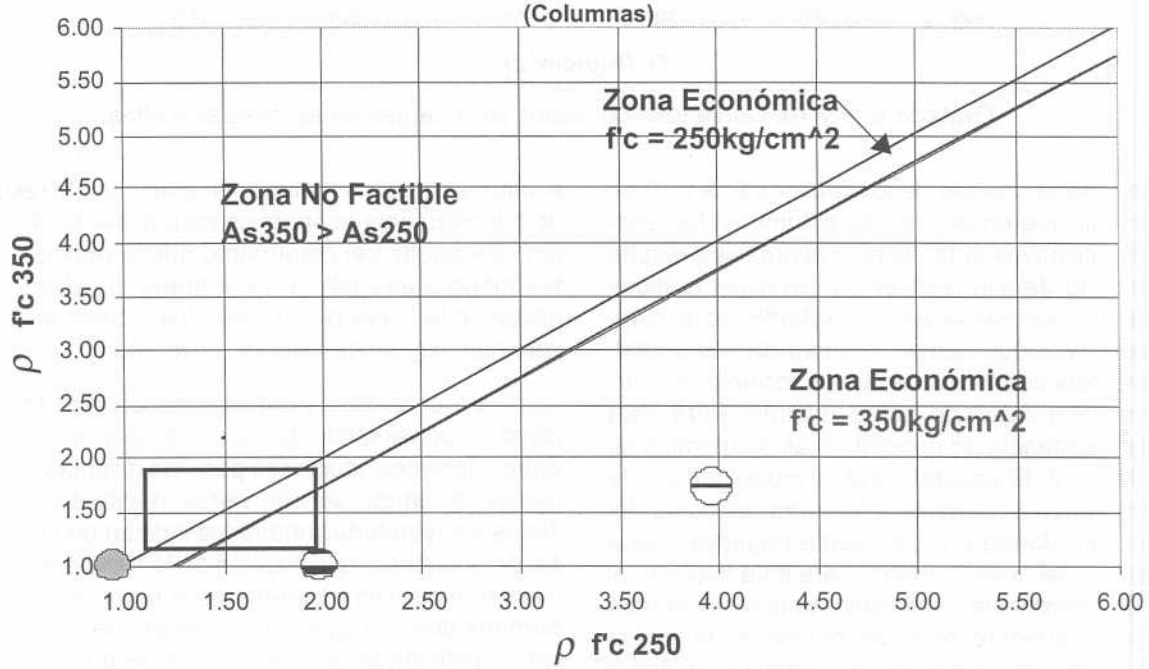
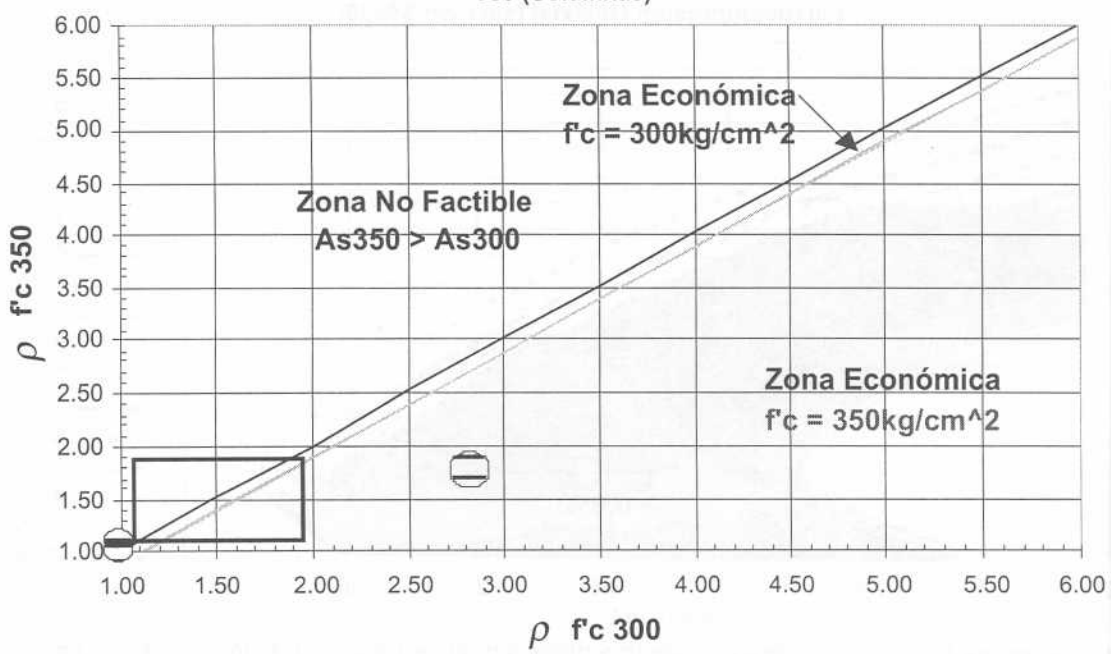


Gráfico 13: Determinación de la resistencia económica entre f'c= 300 y f'c= 350 (Columnas)



Los puntos utilizados para este grafico (250 vs. 350) se refieren al ejemplo anterior en donde se observo la secuencia de graficos (Ecuacion de costo total). El punto relleno se ubicó en la zona economica 250 kgr/cm^2. Esto indica que la proxima comparación de be hacerse en el grafico 250 vs. 300, la cual no se ilustra en este articulo. Los otros dos puntos se ubicaron en la zona económica 350 kgr/cm^2. Una vez obtenidos estos resultados, se debe descartar la posibilidad que el concreto de 300 kgr/cm^2 sea mas economico que el de 350 kgr/cm^2. Por esta razón se deben introducir los puntos en el gráfico de comparación 300 vs. 350 para asi obtener la resistencia economica.

Al hacer la comprobación final con el gráfico de 300 vs 350, obtenemos las resistencias de concreto económicas para cada configuración de carga analizada. Para el punto de rayas verticales, el concreto de 350 kgr/cm^2 resulta mas económico mientras que para el punto de rayas horizontales, el concreto recomendado es el de 300 kgr/cm^2, comprobando así los gráficos 2 y 3 de la secuencia anterior.

Adicionalmente, estos gráficos permiten confirmar los resultados obtenidos anteriormente mediante los analisis adimensionales y dimensionales. La zona del recuadro en el gráfico 12 representa los porcentajes de acero bajos, tipicos de vigas. En estas zonas, la zona economica de 250 kgr/cm^2 es la que ocupa la mayor parte del recuadro. Esto se repite para el grafico 13, con el area de 300 kgr/cm^2. Las zonas con porcentajes de acero cercanos al 6%, la zona mas extensa es la de 350 kgr/cm^2, resultado similar al obtenido en los analisis de columnas (Zona 3).

Conclusiones

El estudio en vigas arrojo como conclusión que en la mayoría de los casos las resistencias de concreto por el orden de 250Kgr/cm^2 resultaron ser las mas económicas. A pesar de esta afirmación se demostró, que para vigas calculadas con concretos de mediana resistencia (300 kgr/cm^2), los costos totales por unidad de longitud fueron similares a los calculados con concretos de bajas resistencias (250 kgr/cm^2), siempre que la viga estudiada tenga porcentajes de acero cercanos a 2.5%

En los estudios de costos realizados para columnas, se observó un patrón similar en los gráficos realizados para los casos estudiados. La zona mas amplia y con ahorros mas significativos correspondió al concreto de 350 kgr/cm^2, siendo en algunos casos hasta de un 30%, respecto a la utilización de concretos de menor resistencia. (250 kgr/cm^2)

Recomendaciones

Para ampliar el alcance de este estudio, se recomienda analizar la influencia que tiene al factor C/A en los resultados y en las conclusiones obtenidas. Adicionalmente, se recomienda analizar diferentes tipos de edificaciones, mediante un estudio completo de su costo total, variando la resistencia del concreto. Esto permitirá comprobar los resultados obtenidos.

Diseño sismorresistente basado en el desempeño de las estructuras

William Lobo Quintero
Profesor Titular, Universidad de los Andes, Mérida

Resumen

En este trabajo se presenta la concepción de diseño basada en desempeño, se muestran y se discuten las variantes metodológicas actuales y se destaca la necesidad de promover su incorporación dentro de la filosofía de las normas nacionales Covenin. Para este fin, se detallan los problemas del diseño usual basado en fuerzas con control de desplazamientos, y se proponen otros temas, como la diferenciación del período característico de respuesta dúctil T^*, de acuerdo a las formas espectrales, la influencia de los efectos de fuentes cercanas, de las aceleraciones verticales y el uso innovador de respuestas límites, para definir un desempeño solicitado por propietarios y usuarios.

1. Introducción

En un trabajo presentado en la UCAB en 1997, con el objeto de mejorar la concepción de las normas sismorresistentes venezolanas, se propuso la incorporación del diseño bajo dos estados límites, el primero, para garantizar el estado elástico en condiciones de servicio bajo sismos menores y un diseño con demandas de ductilidad adecuadas, para condiciones de seguridad, bajo sismos fuertes. Al mismo tiempo, se recomendó revisar las bases del factor de respuesta **R**, el factor de amplificación del desplazamiento **Cd**, incorporar en forma transparente la sobrerresistencia estructural, los amortiguamientos espectrales, e ir a un diseño por desplazamientos, utilizando métodos simplificados como la Estructura Sustituta o la Estructura Equivalente, para substituir con éxito las metodologías existentes de análisis no lineal (Lobo Quintero, 1997).

Estos y otros conceptos se han venido desarrollando y ampliando en el tiempo, siendo incorporados en las normativas más recientes. Dos primeros documentos de interés, han sido las guías para la rehabilitación de edificaciones FEMA 273 y 274, como contribución a la década para la reducción de los desastres naturales. En estos se busca satisfacer niveles de desempeño, como comportamientos esperados en términos de daños ocurridos en componentes estructurales y no estructurales. Este esfuerzo, deja un menú de soluciones posibles y técnicas analíticas aplicables, que buscan dar soluciones confiables al desempeño sísmico de las estructuras rehabilitadas (FEMA, 1996).

Otro par de volúmenes importantes, corresponde al ATC 40, 1996, referidos a la evaluación sísmica y restauración de edificaciones existentes de concreto armado. Los objetivos de desempeño se presentan como riesgos específicos, y se investigan edificaciones con objetivos múltiples, para proporcionar a los propietarios un marco de juicio adecuado acerca de los riesgos, beneficios y costos. Se da una metodología basada en desempeño, que utiliza métodos de análisis no lineal, dando un enfoque más sofisticado y más directo para resolver las incertidumbres que dejan los procedimientos lineales tradicionales.

El Taller Internacional acerca de las metodologías de diseño sísmico para la generación de nuevos códigos, realizado en Bled, Slovenia en 1997, ha sido el marco que recomienda el desarrollo de una

metodología general con criterios explícitos y cuantificables, considerando niveles múltiples de riesgo y desempeño, con una debida consideración al sistema estructura-suelo-fundación, a los elementos no estructurales y a los contenidos dentro de las edificaciones. Se ha considerado que el enfoque más deseable para alcanzar los objetivos de la ingeniería sísmica basada en desempeño es el diseño con control de deformaciones (Fajfar y Krawinkler, 1997).

Para definir, un diseño sismorresistente que esté basado en el desempeño de estructuras, en este trabajo se muestran los fundamentos de las versiones mencionadas arriba y se agregan otras más recientes.

2. Limitaciones del Diseño por Fuerzas

Hasta el presente la mayoría de las normas, aplican procedimientos de diseño basados en fuerzas sísmicas, con una revisión posterior de las derivas laterales, para asegurar niveles de desempeño aceptables, pero quedan algunos problemas asociados (Priestley, 2000):

1º. Dos edificios diseñados para un mismo código, con igual ductilidad y bajo un mismo sismo, experimentan niveles de daños diferentes. Esto es incompatible con el uso de espectros de diseño de riesgo uniforme.

2º. En general, las derivas normativas gobiernan el diseño, dejando a los factores de reducción de respuesta sólo como límites indicativos.

3º. El análisis Modal 3-D es esencialmente elástico, subestima la influencia de modos superiores y es poco beneficioso en los diseños por capacidad.

4º. Según Paulay 1997, el factor de reducción de respuesta **R**, subestima la respuesta torsional en sistemas no restringidos transversalmente, pero la sobrestima en los sistemas dúctiles restringidos.

5º. Generalmente, se toman las deformaciones para los componentes estructurales y las derivas laterales para los no estructurales. No están claras las relaciones entre resistencia y daño.

6º. Son inválidas las hipótesis de que la rigidez depende de la resistencia y de que las deformaciones cedentes son independientes de las resistencias.

7º. Es de dudosa validéz, considerar que las características elásticas son el mejor indicador del desempeño inelástico.

8º. El diseño basado en fuerzas puede validarse incrementando los esfuerzos de diseño en iteraciones sucesivas.

3. Objetivos del Desempeño

Según la Asociación de Ingenieros Estructurales de California (SEAOC, 1996), las recomendaciones para alcanzar los objetivos de diseño, son las de resistir: 1)Sismos *menores* sin daños. 2)Sismos *moderados* sin daño estructural, pero con alguno no estructural. 3)Sismos *fuertes* con daños estructurales y no estructurales significativos, y 4)Sismos *severos* que afecten la edificación sin derrumbarla. Estos se han propuesto en diversas normativas y no están bien definidos, para tomar las demandas sísmicas en cada nivel de desempeño, en cuanto a espectros de riesgo uniforme, probabilidades de excedencia, vidas de diseño y períodos de retorno. Los daños ocurridos durante el sismo de Kobe 1995, determinaron implicaciones que afectan la concepción de la ingeniería basada en desempeño (Otani, 1997):

a) Diferencias entre las espectativas del propietario y del ingeniero estructural: Este último debe explicar al dueño los daños esperados para diferentes intensidades, incluyendo los elementos no estructurales.

b) Naturaleza del Código Sísmico: La sobrerresistencia eleva costos innecesarios que el propietario puede utilizar con otros propósitos. Este puede seleccionar los objetivos de desempeño y es responsabilidad del ingeniero estructural diseñar para que ellos se alcancen.

c) Restauración de edificaciones existentes: Las edificaciones antiguas fallaron por aplicar tecnologías superadas y es urgente rehabilitarlas después de un tamizado.

d) Desempeño de viga débil-columna fuerte: Cuando la estructura sobrevive su alto costo de reparación obliga a estudiar otros mecanismos. Se sugiere un primer piso blando porque los daños sólo afectan a este piso.

e) Daños en elementos no-estructurales: Su caída bloquea las salidas de emergencia, deben reponerse y no repararse, retardan mucho la ocupación post-sísmica.

f) Niveles de resistencia a fuerza lateral: Para limitar los daños es preferible alta resistencia y baja ductilidad. El propietario debe saber que diseñar con

alta ductilidad significa reparar aun para los sismos más frecuentes.

g) Reparación: Esta no depende necesariamente del nivel de los daños, sino de las necesidades de los dueños.

En FEMA 273, se definen tres niveles de desempeño, cuya identificación se hace sobre la curva de capacidad mostrada en la Fig. 1. La **Ocupación inmediata** es un estado de daños menores, con degradación limitada de rigidez y resistencia. En **Seguridad de vidas**, la edificación debe ser reparable y significar un bajo nivel de riesgo para los ocupantes. La **Prevención de colapso** es un estado incipiente de falla total, con degradación substancial de rigidez y resistencia, que se toma en el instante en que se inicia la degradación rápida. La seguridad de vidas se considera en un 75% de la prevención de colapso, para dar un margen de seguridad de 1.33 (Hamburger, 1997).

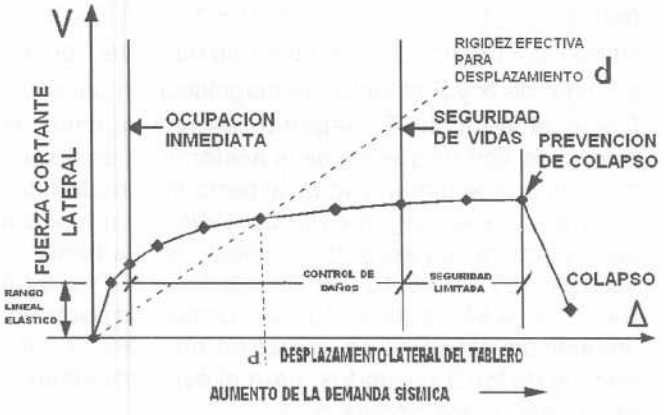


Fig. 1. Niveles de Desempeño (FEMA, 273).

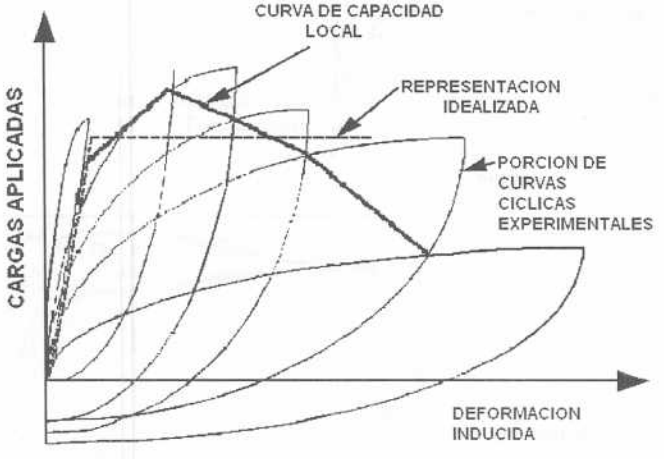


Fig. 2. Curva de capacidad local (FEMA, 273).

La curva de capacidad representa el comportamiento global de la estructura y se obtiene mediante un procedimiento estático no lineal, pero su comportamiento depende de las componentes individuales. Para su aceptación, se construyen las curvas de capacidad local, como las envolventes del comportamiento histerético del componente, determinado en el primer cuadrante (Fig. 2). En este caso, con relaciones entre demanda sísmica Q_s y capacidad resistente Q_r (Fig. 3). Las deformaciones posteriores a la cedencia se expresan en términos de los parámetros **a**, **b** y **c**, o en **d** y **e** para deformaciones totales. Estos valores se pueden determinar en tablas en FEMA 273. Las curvas (a) y (c), representan comportamiento dúctil y se consideran como ***deformación controlada***, si es $\mathbf{b} \geq \mathbf{2a}$. La curva (b) es semi-dúctil y la curva (d) es frágil; pero ambas son de ***fuerza controlada*** a menos que en (b) se tenga $\mathbf{e} \geq \mathbf{2f}$.

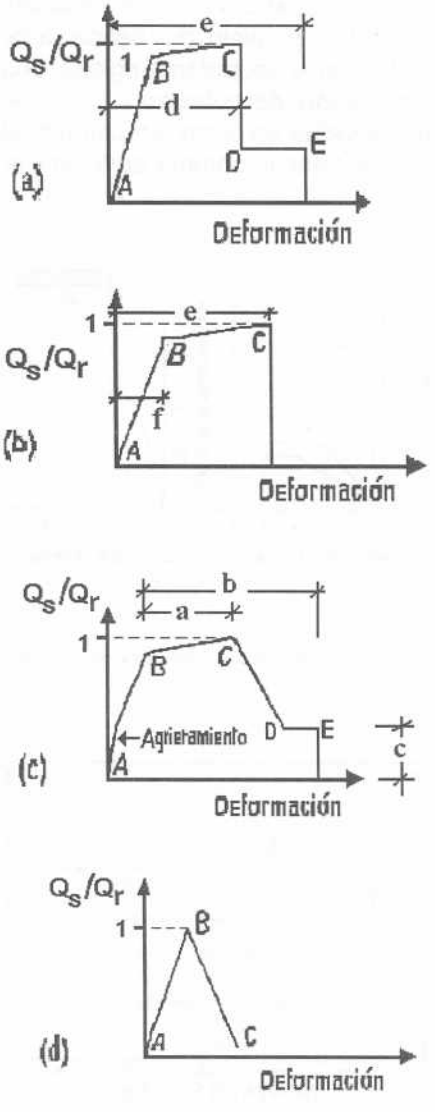


Fig. 3. Curvas idealizadas de capacidad local.

En la Fig 3(a), se tiene una respuesta lineal hasta la cedencia en B, endurecimiento por deformación entre B y C, una degradación de resistencia o falla inicial del componente hasta D, el colapso final y la pérdida de capacidad a cargas de gravedad en E. El tramo DE se conoce como **resistencia residual**, se toma en un 20% de la resistencia nominal y su propósito es sostener una capacidad remanente a cargas gravitacionales.

Los *criterios de aceptación* se toman en FEMA 273 en las componentes, sin incorporar el comportamiento global, a pesar de que en una estructura real, éstas actúan en serie o en paralelo, pudiéndose subestimar el comportamiento. Por ejemplo, en las gráficas de la Fig. 4, la componente (1) tiene una deformación cedente de 3 cm con 4 cm en la falla, y una resistencia cedente de 10 kN. En este orden, la curva (2) presenta 2 cm, 10 kN, endurecimiento a 20 kN y al final 5 cm, y la (3) : 1 cm, 30 kN, 40 kN y 5 cm. A la derecha, se muestra la curva de capacidad basada en componentes en paralelo, que tienden a incrementar la capacidad, aunque degradan la rigidez. Según FEMA 273, la **prevención de colapso** se toma en 4 cm y **seguridad de vidas** en 3 cm; en cambio, al tomar la curva global, se tiene la primera en 5 cm y la segunda en 3.75 cm.

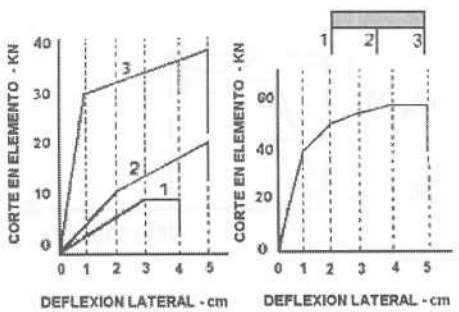


Fig. 4. Efecto de Componentes paralelas (Hamburger, 1997)

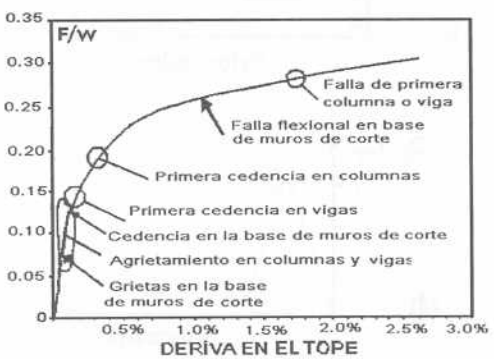


Fig. 5. Puntos Críticos en curva de capacidad (Reinhorn ,1977)

Cuando las componentes actúan en serie tienden a disminuir la respuesta (Hamburger, 1997). Hay que tomar en cuenta que los comportamientos dependen de las condiciones del elemento y del tipo de estructura y no es posible establecer una regla fija, tal como se deduce de la Fig. 5 (Reinhorn, 1997). Además, la capacidad es función de valores aleatorios y debe ser descrita según los términos más probables.

4. Demanda Sísmica

La Norma venezolana Covenin 1756-98, establece los espectros elásticos e inelásticos de aceleración mostrados en la Fig. 6, para suelos S1, S2, S3 y S4 (escala log-log). Los inelásticos, se han construído para un factor de reducción de respuesta R = 6 y un período de respuesta dúctil $T^+ = 0.4$, con un coeficiente de uso $\alpha = 1$ y un factor de corrección de aceleración $\varphi = 1$. El factor de reducción en la zona de períodos cortos ($T < T^+$) vale $R = 1 + [T/T^+]^c(\mu - 1)$, siendo $c = (R/\beta)^{0.25}$; μ es el factor de ductilidad tomado en lugar de R y β el factor de magnificación del suelo. Como el valor de T^+ depende de la magnitud del sismo, del tipo de suelo y de la aceleración de diseño, su valor puede tomarse igual al período característico T*, y adaptarse según ATC-32, 1996, adaptando la zona plana de los espectros inelásticos mediante los valores: S1: $T^+ = 0.40$; S2: $T^+ = 0.55$; S3: $T^+ = 0.60$; S4: $T^+ = 0.85$, quedando las formas espectrales inelásticas, tal como se muestran en la Fig. 7. Por encima de los 3 segundos, para el espectro elástico, se asume un exponente p =2.

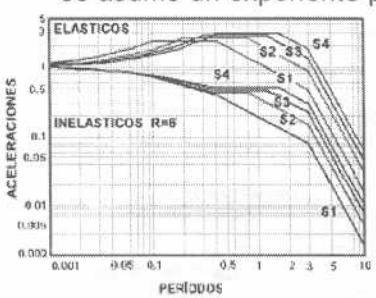


Fig. 6. Espectros clásticos e inclásticos $T^+ = 0.40$.

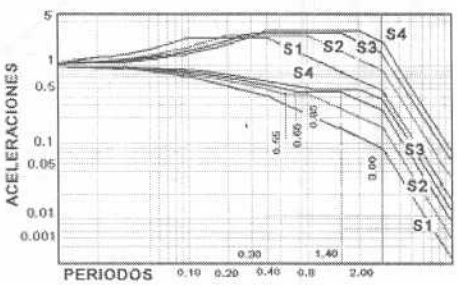


Fig7. Espectros clásticos e inclásticos.T^+ diferente para cada suelo.

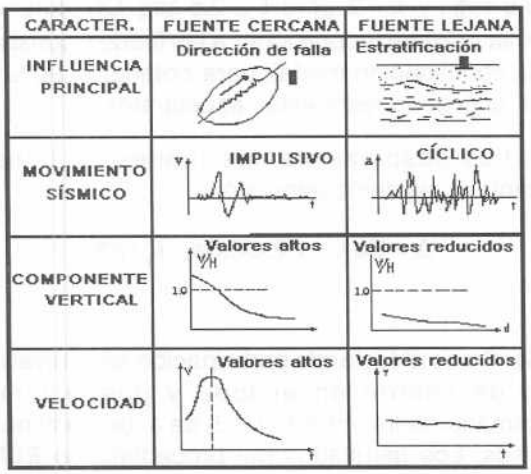


Fig. 8. Efectos en el movimiento de la distancia a la fuente (Mazzolani, 2000).

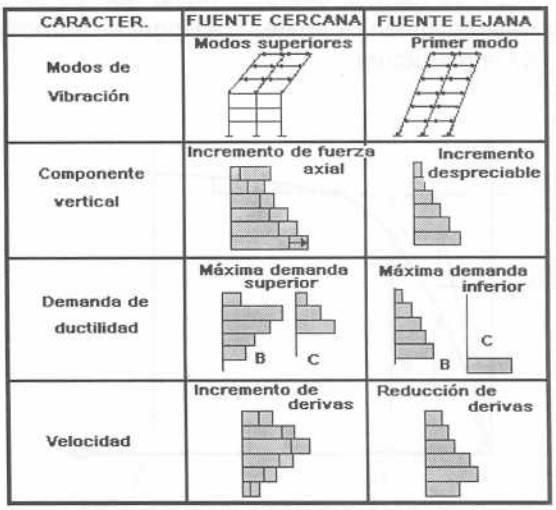


Fig. 9. Efectos en la respuesta de la distancia a la fuente (Mazzolani, 2000).

Las experiencias vividas y la investigación de campo van delimitando los movimientos sísmicos provenientes de fuentes lejanas o cercanas, tal como se muestra en la Fig. 8. Generalmente, las normas deben considerar sismos de fuentes lejanas que se amplifican en suelos estratificados, tienen un carácter cíclico, reducen la relación entre componentes verticales y horizontales (V/H) y las velocidades quedan reducidas a 30 y 50 cm/s. En cambio, los de fuente cercana dependen mucho de la directividad sísmica, son del tipo impulsivo, determinan componentes verticales altas con velocidades grandes entre 300 y 400 m/s.

El comportamiento estructural a sismos de fuente lejana, excita el primer modo, hace despreciables las componentes verticales, las demandas máximas de ductilidad y las derivas laterales se presentan en la parte inferior. Es diferente para fuentes cercanas, donde predominan los modos superiores, se incrementan las fuerzas axiales, y hay mayores demandas de ductilidad y de derivas laterales en los pisos superiores, como se muestra en la Fig. 9 (Mazzolani, 2000). En UBC 1997, se clasifican las fuentes según las magnitudes esperadas, sus velocidades de desplazamiento anual, y se factoran los coeficientes sísmicos entre 1 y 2 veces para distancias menores de 15 km.

En las normas Covenin 1756-98, no se incorporan los efectos de fuentes cercanas ni de las componentes verticales. Esta materia está en 'proceso de investigación, y ya el Eurocódigo 8 presenta un espectro de aceleraciones verticales, único y válido para cualquier tipo de suelo, con un factor de amplificación $\beta = 3.48$. Este espectro es difícil de construir porque las aceleraciones verticales son asimétricas respecto al plano horizontal, la estructura está precargada por su propio peso, no está definido el amortiguamiento y la respuesta de los materiales es diferente en tracción y compresión (Elnashai, 1997).

5. Método FEMA 273

El corte basal se determina según la expresión siguiente:

$$V = C1 \cdot C2 \cdot C3 \cdot Sa \cdot W \qquad (1)$$

Donde **C1 = 1 + (R -1) (T/ T*)**, para **T < T*** y **C1 = 1**, en **T ≥ T***, donde **T*** puede interpretarse como el período característico del espectro, el período predominante del suelo o la intercepción entre la línea de aceleración y de velocidad constante. El valor de R es la relación entre la demanda de resistencia y la demanda cedente, se toma como **Sa.W / (g. Vy. Co)**. **C2** es un factor de degradación de rigidez entre **1.0** y **1.5**, dependiente de **Tg,** del tipo de estructura y del estado límite correspondiente. **C3** depende del efecto **(P- Δ)** y se toma igual a uno para un factor de estabilidad **θ < 0.1**. Para otros valores de θ tomar: **C3 = 1 + 5(θ - 0.1)/T**. Sa es la ordenada del espectro elástico de aceleraciones y **W** el peso de la estructura, **Co** se define en la ecuación (4).

Como en general, las acciones de diseño y las deformaciones deben ser valores máximos determinados en el procedimiento estático no lineal **(ENL)** o en el análisis dinámico no lineal historia-tiempo **(DNL)**. En el método **ENL** presentado en FEMA 273 como Método 1 (o del coeficiente de desplazamiento), el modelo matemático de la edificación se somete a

incrementos de fuerzas laterales hasta que se excedan los desplazamientos límites o se logre el derrumbe global de la estructura.

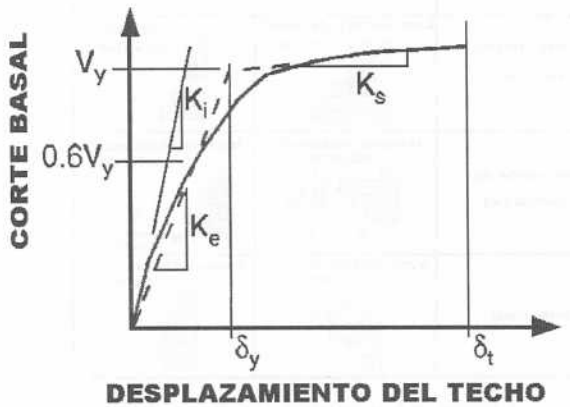


Fig. 10. Representación de curva de capacidad.

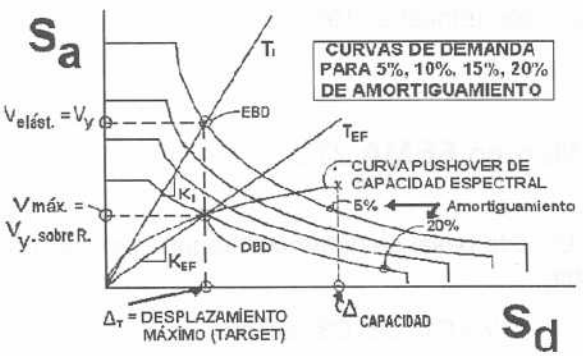


Fig. 11. Relación capacidad-demanda.

En el proceso de carga deben mantenerse las cargas gravitatorias y al final se obtiene una curva de capacidad resistente (pushover). Para transformar la respuesta a un sistema simple de un grado de libertad, se reemplaza la curva obtenida por una relación bi-lineal. Sobre esta curva se determinan iterativamente la rigidez inicial **Ki**, la rigidez equivalente secante **Ke** en **0.6Vy** y la rigidez de endurecimiento **Ks**, según se muestra en la Fig. 10. El período equivalente se calcula como:

$$T_e = T_i (K_i / K_e)^{1/2} \qquad (2)$$

La forma de distribución de cargas laterales, cuando más del 75% de la masa participa en el modo fundamental y puede ajustarse a un factor **Cvx** definido como:

$$C_{vx} = w_x h_x^k / (\Sigma w_i h_i^k) \qquad (3)$$

Donde $\mathbf{h_x}$ son las alturas desde la base, $\mathbf{w_x}$ son las porciones del peso total **W** y el exponente **k =1** para $\mathbf{T \leq 0.5}$ seg.; y **k = 2** para $\mathbf{T \geq 2.5}$ seg. Otra alternativa es tomar la forma proporcional a las fuerzas consistente con la combinacion modal, para obtener el 90% de la masa, aplicando respuestas espectrales.

Los desplazamientos límites se obtienen mediante la siguiente expresión:

$$\Delta_t = Co.C1.C2.C3.Sa.\,(T_e / 2\pi)^2 \qquad (4)$$

donde **Co** es el factor de participación en el nivel de un nodo de control en el tope y puede tomarse aproximadamente entre 1 y 1.5 de acuerdo al número de pisos. Los resultados del procedimiento **ELN**, se controlan usando criterios de aceptación para *deformación controlada* o *fuerza controlada*. Los desplazamientos y las fuerzas se comparan con los valores permisibles.

6. Método ATC-40

En la Fig. 11 se muestra la *demanda* a través de los espectros elásticos para diferentes amortiguamientos, la *capacidad* mediante la curva pushover transformada al plano (**Sa-Sd**) y el *desempeño* mediante la intercepción con un desplazamiento límite Δ_t. Se recomienda aplicar las fuerzas laterales en proporción al producto de las masas de cada piso por las ordenadas del primer modo ϕ_x, sobre la base de que la curva se construye para representar al primer modo, válido hasta estructuras de con T = 0 1 seg.

$$F_x = [\, w_x \phi_x / \, w_x . \phi_x \,]. V \qquad (5)$$

El punto donde se intercepta la curva de capacidad con la curva de demanda reducida es el *punto de desempeño* para un período efectivo radial **Te** y una rigidez efectiva **Ke**. La reducción en la curva de demanda representa la energía disipada por la estructura cuando se deforma inelásticamente, como una combinación de los amortiguamientos viscoso e histerético. Se requiere una representación bi-lineal de la curva de capacidad para estimar el amortiguamiento efectivo y la reducción apropiada de la demanda espectral. Para este propósito, se asume un punto $(\mathbf{a_{di}}, \mathbf{d_{di}})$ estimado para desarrollar un espectro de demanda reducida que al interceptar la curva de capacidad, el punto asumido se transforma en el *punto de desempeño*. El factor de amortiguamiento histerético β_o corresponde al cociente entre el área ciclica $\mathbf{E_D}$ y la máxima energía de deformación $\mathbf{E_{so}}$ que se agrega al

amortiguamiento viscoso del 5%, quedando un amortiguamiento equivalente **βeq**:

$$\beta eq = 0.05 + E_D / (4\pi E_{so}) \quad (6)$$

Las demandas se han hecho más exactas que estas del ATC-40, adoptando espectros de respuesta inelástica. Se ha propuesto una metodología numérica para cuando no se requieran gráficas espectrales, donde el factor de ductilidad calculado del diagrama de capacidad coincide exactamente en el punto de desempeño, con la ductilidad asociada a una de las curvas de demanda (Chopra y Goel, 2000)

7. Método Priestley

Un procedimiento alternativo designado *"Diseño directo basado en desplazamientos"*, reconoce las deficiencias del diseño por fuerzas y caracteriza a las estructuras como sistemas simples, caracterizados por una rigidez secante **Ke** correspondiente al máximo desplazamiento Δ_d y a un nivel de amortiguamiento viscoso equivalente al comportamiento inelástico (Fig. 12 y Fig. 13.)

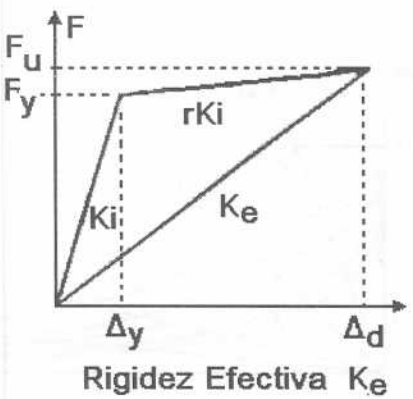


Fig. 12. Rigidez Efectiva. (Priestley, 2000)



Fig. 13. Relación amortiguamiento-ductilidad (Priestley, 2000)

La estructura de masa M_e queda representada por un período equivalente T_e:

$$T_e = 2\pi (M_e / K_e)^{1/2} \quad (7)$$

Sobre espectros de desplazamiento elástico obtenidos con diferentes amortigua-mientos, incorporando las ordenadas (Δ_d - T_e), se obtiene el amortiguamiento correspondiente y el corte basal a la máxima respuesta $V = K_e \cdot \Delta_d$.

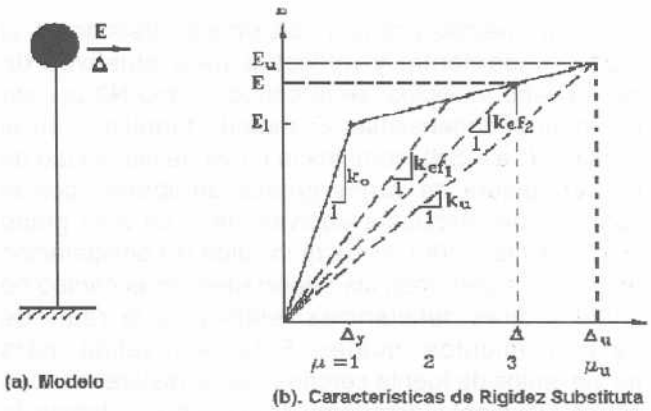


Fig. 14. Modelo de estructura sustituta (Priestley et al,1996)

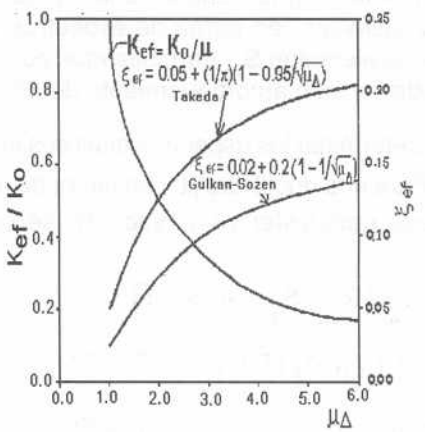


Fig. 15. Relación de rigidez, ductilidad. y amortiguamiento (Priestley et al, 1996).

Este método considera dos estados límites: *Completamente operacional* y *Control de daños*, siendo éste último más exigente que el de *Seguridad de vidas*. Se dan límites para las deformaciones unitarias y las derivas límites expresadas en términos de las rotaciones de las secciones de concreto armado. Además, se trabaja con los espectros de desplazamiento afectados por diferentes amortiguamientos y se utiliza el método de la estructura substituta (Shibata y Sozen, 1976). Su concepto se basa en la representación del sistema inelástico por uno idealizado bi-lineal (Fig. 14), donde

la rigidez **Kef** y el amortiguamiento ξef se ajustan para que el desplazamiento de la estructura inelástica sea el mismo que la substituta. Estos parámetros son funciones de la ductilidad global μ_D y se muestran en la Fig. 15. (Priestley, Seible y Calvi, 1996).

8. Método de Fajfar (N2)

Un método práctico aproximado, basado en el modo fundamental y aplicable para objetivos de desempeño múltiples, se le conoce como **N2** por ser no lineal bi-dimensional. El método formulado en el formato **(Sa – Sd)** combina la curva de capacidad de una estructura de varios grados de libertad con el espectro de respuesta equivalente a un solo grado (Fajfar, 1996, 2000). No está incluída la consideración de modos superiores, las debilidades en el campo no lineal y otras deficiencias relativas a la regla de desplazamientos iguales. Esta se invalida, para movimientos de fuente cercana, ciclos histeréticos con estrangulamiento, deterioros de la rigidez, sistemas de baja resistencia o suelos muy blandos. El procedimiento revisado y adaptado por Fajfar , 2000, es el siguiente:

1º. Contar con los datos de la estructura y las demandas sísmicas en forma de espectros elásticos de pseudo-aceleración S_{ae} normalizados con respecto a la gravedad **g** con amortiguamiento del 5%.

2º. Determinar los espectros elásticos en el plano $(S_a - S_d)$. Para una ductilidad μ y un factor de reducción de respuesta para sistemas simples R_μ se tiene:

$$S_a = S_{ae} / R_\mu \; ; \; S_d = \mu . S_{de} / R_\mu \qquad (8)$$

$$R_\mu = 1 + (\mu - 1)(T/T^*) \qquad T < T^* \qquad (9)$$

$$R_\mu = \mu \qquad T \geq T^* \qquad (10)$$

3º. Asumir un primer modo $\{\Phi\}$ con $\phi_n = 1$ y determinar las fuerzas laterales F_i proporcionales a las masas m_i, cuya magnitud se controla a través de un parámetro **p**:

$$F_i = p . m_i . \Phi i \qquad (11)$$

Realizar la curva de capacidad como una relación entre el corte basal **V** y el desplazamiento en el tope D_t.

4º. Construir el modelo equivalente de un grado de libertad mediante las siguientes expresiones:

$$m^* = \Sigma mi . \Phi_i \; ; \; Q^* = Q / \Gamma \; ; \; \Gamma = m^* / (\Sigma mi \; \Phi_i^2) \qquad (12)$$

donde **Q** son las acciones o las respuestas en el sistema de **n** grados y **Q*** en el sistema equivalente, y Γ el factor de participación modal. Transformar la curva de capacidad a una curva elásto-plástica **(F* - D*)** y calcular **(F_y^*- D_y^*).** Determinar el período equivalente:

$$Te = 2\pi (m^* D_y^* / F_y^*)^{1/2} \qquad (13)$$

y el diagrama de capacidad en el plano **(Sa–Sd)**, queda:

$$S_a = F^* / m^* \; ; \; S_d = S_a (Te / 2\pi)^2 \qquad (14)$$

5º. Obtener los espectros **(Sa-Sd)** para las ductilidades de diseño (Fig. 16) e interceptarlos con la curva elasto-plástica y el período equivalente **Te,** donde las demandas inelásticas corresponden al punto de intercepción entre la curva de capacidad y el espectro de ductilidad μ. Los desplazamientos inelásticos dependen del período característico **T***. Para:

$$T \geq T^* : \quad S_d = S_{de}(Te); \quad \mu = R_\mu \qquad (15)$$

$$T < T^* : \quad \mu = 1 + (R_\mu - 1)(T/Te) \qquad (16)$$

$$Sd = \mu D_y^* = (S_{de} / R_\mu)[1 + (R_\mu - 1)(T^* / Te)] \qquad (17)$$

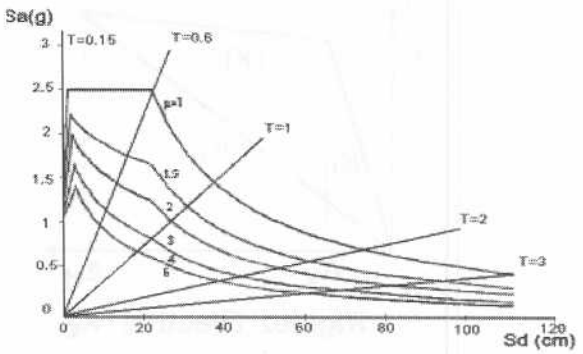


Fig. 16. Espectros de Demanda (Fajfar, 2000)

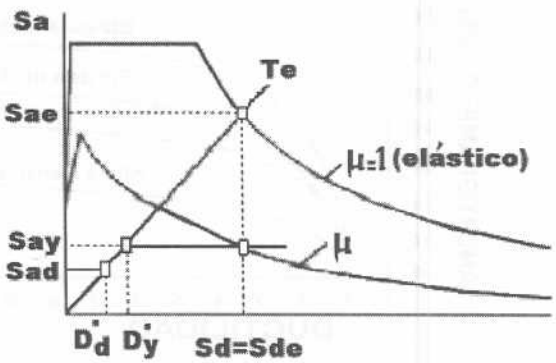


Fig. 17 Intercepción de espectros con curvas de capacidad (Fajfar, 2000)

6º. Transformar las demandas de desplazamientos del sistema simple al sistema de varios grados mediante la expresión:

$$D_t = \Gamma . S_d \qquad (18)$$

7º. Realizar el análisis de curva de capacidad para el desplazamiento, determinar las derivas, las rotaciones y comparar las demandas sísmicas globales y locales.

9. Variante de Requena y Ayala.

Una modificación a los métodos de diseño por desempeño, incorpora la influencia de los modos superiores y la variación de la rigidez estructural, cuando ocurren los efectos inelásticos durante la respuesta sísmica (Requena y Ayala, 2000). Primeramente se aplica el procedimiento **ENL** y se aproxima la curva bi-lineal en el plano (**Sa-Sd**), mediante las expresiones **Sa = V / (αj. W)** y

Sd = Δ/ PFij, donde los factores de participación **αj** y **PFij** se dan a continuación:

$$PF_{ij} = \left[\frac{\sum_{k=1}^{N} m_k \phi_{kj}}{\sum_{k=1}^{N} m_k \phi_{kj}^2}\right] \phi_{ij} \; ; \quad \alpha_j = \frac{\left[\sum_{k=1}^{N} m_k \phi_{kj}\right]^2}{\left[\sum_{k=1}^{N} m_k\right] \sum_{k=1}^{N} m_k \phi_{kj}^2} \qquad (19)$$

Se obtiene la curva de capacidad, incluidos los modos superiores expresada con segmentos O-A-B-C-D y cuando se quiere solo la contribución del primer modo se transforma a la curva O-A'-B'-C'-D', (Fig. 18) mediante las siguientes expresiones:

$$\Delta^{(modo1)} = \alpha 1 \; \Delta^{(N\,modos)} \; ; \; V^{(modo1)} = \alpha 1 \; V^{(N\,modos)} \qquad (20)$$

La aplicación de esta variante permite determinar que: a). La degradación de rigidez afecta más a la forma del modo fundamental que a los modos superiores. (b). La distribución de fuerzas laterales varía como las rótulas plásticas se van formando en los elementos estructurales. (c). El efecto de modos superiores es importante cuando las estructuras se comportan en el rango no lineal. (d). En el comportamiento sísmico es muy importante considerar los cambios en los modos de vibración.

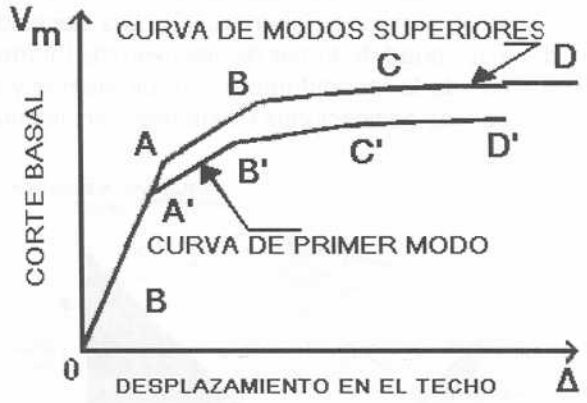


Fig. 18. Curvas idealizadas de capacidad. (Requena y Ayala, 2000)



Fig. 19. Definición de objetivos de desempeño (Collins y Stojadinovic, 2000)

10. Comentarios Finales

La ingeniería basada en desempeño es un esfuerzo que se realiza actualmente para tener diseño, evaluación, construcción y mantenimiento fundamentado en objetivos múltiples, establecidos sobre estados límites o estados de desempeño. La investigación futura, debe determinar número y condiciones de los estados de desempeño, métodos de análisis más confiables y adecuados criterios de aceptación. Así, tanto los ingenieros como los propietarios de las edificaciones, podrán tomar decisiones inteligentes que se fundamenten no sólo en los costos, sino en la vida útil y en las espectativas de los usuarios y promotores. Un Centro creado en California para tal fin (PEER, 1999), aspira a satisfacer los siguientes principios: (1). El deseo del proyectista de aclarar las reglas básicas como

toma sus decisiones. (2). Los deseos del propietario para tener un buen criterio acerca de los costos y beneficios de la protección sísmica. (3). Las necesidades de la sociedad de tomar decisiones más informadas acerca de la incertidumbre de los sismos y su influencia en las edificaciones existentes y en las nuevas.

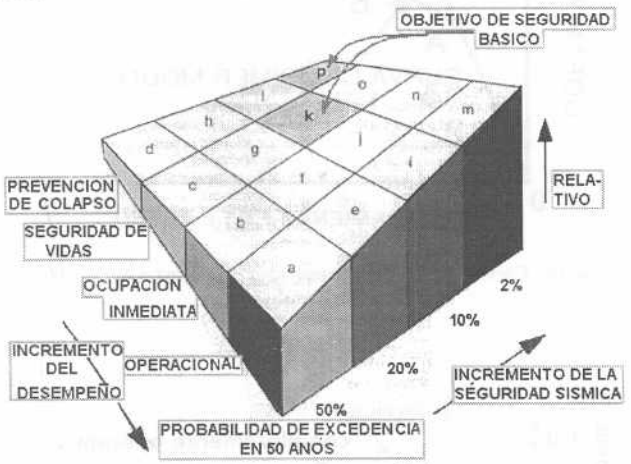


Fig. 20. Esquema costo-objetivos (Bertero, 2000).

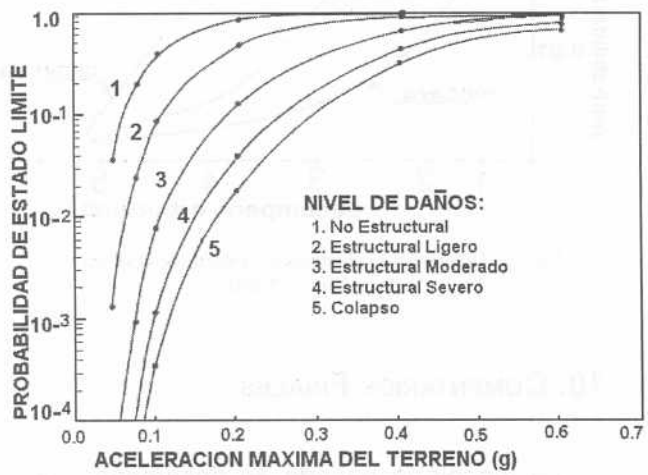


Fig. 21. Curvas de fragilidad (Jaw y Hwang, 1988).

No están totalmente incorporados en normativas, los estados límites que deben ser revisados explícitamente. Y en este sentido, se han propuesto curvas, referidas a probabilidades de excedencia sobre medidas de desempeño estructural, tal como se muestra en la Fig. 19. Al efecto, se han propuesto formas conceptuales posibles de estas curvas, que dependen del sistema estructural, de la geometría de la estructura y de la calidad local del diseño. La curva real debe compararse con la curva de objetivos de desempeño y hacer los ajustes correspondientes (Collins y Stojadinovic, 2000).

La selección de estos objetivos es el punto clave, porque establece los criterios que rigen todo el proceso de diseño. Para una selección óptima, pueden prepararse gráficas 3-D, muy útiles como la mostrada en la Fig. 20, donde se contrastan los costos durante la vida esperada, con los objetivos reales de desempeño, incorporando otros riesgos aceptables además del riesgo sísmico. Entre las necesidades prioritarias de investigación está la predicción de las historias-tiempo en campo libre, en las fundaciones y en la estructura para reducir la variabilidad de las demandas y suministros (Bertero, 1997).

El desarrollo de los métodos basados en desempeño, debe extenderse a un marco de confiabilidad, donde las herramientas de diseño y evaluación tengan márgenes de seguridad contra los estados de falla. Se ha propuesto usar curvas de fragilidad referidas a probabilidades de falla de diferentes niveles de daños, tomando aceleraciones máximas, derivas laterales o cualquier otra acción o respuesta sísmica significativa (Fig. 21). Si estas curvas se integran con las curvas de riesgo regional, que expresan la probabilidad de un movimiento dado, se obtienen probabilidades de falla de las construcciones, que es quizás la mejor medida del desempeño estructural (Hamburger, 1997). Es importante desarrollar curvas de riesgo regional como una base importante para la estimación de pérdidas y el desarrollo de funciones de daños, necesarias para la planificación de la respuesta en emergencia y el estudio de medidas regionales de mitigación (Holmes, 2000; Kircher et al, 1997).

11. Referencias

ATC 40, Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, Vol. 1, 2. Applied Technology Council, november, 1996.

Bertero V. V. Performance-based seismic engineering: A critical review of proposed guidelines. Proc. of the Intern. Workshop on Seismic Design. Methodologies for the Next Generation of Codes, Bled, Slovenia, 24-27 june, A. A. Balkema, 1997.

Chopra A. K. y Goel A. R. Capacity-demand diagram methods based on inelastic design spectrum. Paper 1612. XII World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 2000.

Collins K. R. y Stojadinovic B. Limit states for perfomance-based design. Paper Nº, 716. XII World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 2000.

Elnashai A. S, Seismic design with vertical earthquake motion. Proc. of the Intern. Workshop on Seismic Design. Methodologies for the Next Generation of Codes, Bled, Slovenia, 24-27 june, A. A. Balkema, 1997.

Fajfar P. y Gaspersic P., The N2 method for the seismic damage analysis of RC buildings, Earthquake Enginering and Structural Dynamics, 25, 23-67, 1996.

Fajfar P. y Krawinkler H. (Editors), Proc. of the Intern. Workshop on Seismic Design Method. for the Next Generation of Codes, Bled, Slovenia, 24-27 june, Balkema, 1997.

Fajfar P. A. Nonlinear analysis method for performance based seismic design. (Comunicación personal). Accepted for publication in Earthquake Spectra, Vol 16, No. 3, august 2000.

FEMA 273 y 274. NEHRP. Guidelines for the seismic rehabilitation of buildings, Federal Emergency Management Agency. , september, 1996.

Hamburger, R. O., Definig performance objectives. Proc. of the Intern. Workshop on Seismic Design. Methodologies for the Next Generation of Codes, Bled, Slovenia, 24-27 june, A. A. Balkema, 1997.

Holmes W. T. A vision for a complete performance-based earthquake engineering system. Paper Nº 8368. XII World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 2000.

Jaw J.-W. Y Hwang H.M. Seismic fragility analysis of sheat wall structures. Technical Report NCEER-88-0009. State Univ. of N.Y., Buffalo, april 30, 1988.

Kircher C. A., Nassar A. A., Kustu O. y Holmes W. T. Development of building damage functions for earthquake loss estimation. Earth. Spectra, Vol.13, No.4, november 1997.

Lobo Quintero W., Diseño de Edificaciones para dos Estados Límites. Seminario Internacional de Ingeniería Sísmica. UCAB, Caracas, 21 y 22 de Julio, 1997.

Mazzolani F. M., Moment resistant connections of steel frames in seismic areas. E. FN Spoon Publisher, New York, 2000.

Otani S. Development of performance-based design methodologhy in Japan. Proc. of the Intern. Workshop on Seismic Design. Methodologies for the Next Generation of Codes, Bled, Slovenia, 24-27 june, A. A. Balkema, 1997.

Paulay T. A behaviour- based design approach to earthquake-induced torsion in ductile buildings. . Proc. of the Intern. Workshop on Seismic Design. Methodologies for the Next Generation of Codes, Bled, Slovenia, 24-27 june, A. A. Balkema, 1997.

PEER, Pacific Earthquake Research Center, Vol. 2, Nº 1, University of California, Berkeley, CA 94720, january 1999.

Priestley M.J.N. Performance based seismic design (State of the Art). XII World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 2000.

Priestley M. J .N., Seible F. y Calvi G. M. Seismic design and retrofit of bridges. John Wiley and Sons Inc, 1996.

Reinhorn A. M., Inelastic analysis techiques in seismic evaluations. Proc. of the Intern. Workshop on Seismic Design. Methodologies for the Next Generation of Codes, Bled, Slovenia, 24-27 june, A. A. Balkema, 1997.

Requena M. Y Ayala A. G. Evaluation of a simplified method for the determination of the non linear seismic response of RC frames. Paper Nº 2109. XII World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 2000.

Shibata A. y Sozen M., Substitute structure method for seismic design of reinforced concrete structures. Journal of Structural Engineering. ASCE, 120,12, 1976.

UBC-1997. Uniform Building Code, Volume 2; Chapter 16, Division IV-Earthquake Design, 1997.

Flash: excelente herramienta para un multimedia educativo

Prof. María I. López E.
Br. Daniel Herrera

Actualmente existen una serie de avances tecnológicos que no imaginábamos pocos años atrás, y que están modificando, de un modo vertiginoso, los canales de comunicación y los sistemas con los cuales se transmite la información. El uso habitual de las computadoras como herramienta de trabajo y/o estudio, y la INTERNET, brindan una manera muy rápida y atractiva para procesar y transmitir información.

Si bien es cierto que el aprendizaje es un proceso particular de cada individuo, se puede afirmar que la gran mayoría de los alumnos necesitan estímulos externos para realizar el esfuerzo de estudiar y tratar de aprender, por lo tanto, si se utilizan de un modo adecuado, las nuevas tecnologías pueden convertirse en herramientas pedagógicas muy poderosas que ayuden a propiciar un clima de enseñanza - aprendizaje más creativo, participativo y dinámico, en otras palabras, más estimulante.

En este orden de ideas, con el propósito de generar una herramienta de apoyo docente para profesores y alumnos, surge la iniciativa de realizar la serie de multimedias, en formato de CD-Rom, para las asignaturas de Química que actualmente se dictan en las Escuelas de Industrial y Civil, pertenecientes a la Facultad de Ingeniería. Nuestro objetivo fundamental es incentivar en el alumno sus deseos de investigar y de aprender acerca de esta asignatura básica que, tradicionalmente, ha sido vista como poco atractiva y de difícil comprensión.

Para realizar el CD-Rom necesitábamos seleccionar programas fáciles de utilizar y que cumplieran con nuestros requerimientos. Lo que se busca es aprovechar el potencial del multimedia para presentar el contenido de estos cursos en un formato que estimule diferentes sentidos a la vez, interactivo, con imágenes hermosas, dinámicas y coloridas, y que muestre los fenómenos físicos y químicos de una manera correcta, clara y comprensible.

Para esto último teníamos que recurrir a un programa de animación, ya que no hay forma de presentar imágenes "reales" (fotos y/o videos) de átomos o moléculas, ni de las interacciones entre este tipo de partículas.

Las animaciones se han convertido en uno de los principales atractivos de la computación gráfica, en la INTERNET, desde las empresas de e-comerce hasta las páginas personales, las emplean para hacer más atractivas sus páginas Web.

Debido a esta demanda, diversas compañías han producido programas destinados a la elaboración de multimedias, que pueden ser utilizados por personas que no posean conocimientos previos en programación, así, cualquier interesado puede desarrollar, al menos, una aplicación sencilla. ¿Los requisitos del usuario?: la disposición para familiarizarse con las instrucciones que aparecen en los tutoriales, y el tiempo disponible para sentarse a practicar.

En principio, las opciones de animación más empleadas han sido las extensiones .mov y .avi, las cuales se pueden observar a través de Windows Media Player y Quick Time, pero éstas presentan la desventaja de ser archivos grandes y cuya alta calidad es difícil de lograr y de mantener, cuando se quiere insertar la animación como parte de una página de trabajo.

Actualmente, entre los productores de páginas web, el programa para animaciones Flash (extensión .swf.) ha alcanzado una popularidad abrumadora porque representa una alternativa fácil de usar, que permite crear productos muy atractivos, de bajo ancho de banda y óptima calidad. Las demandas de más de 500.000 usuarios han hecho que la empresa productora: Macromedia INC, haya desarrollado varias versiones de este programa en muy poco tiempo, siendo Flash 5 la actualización más reciente.

Los requerimientos de la máquina son muy básicos: IntelPentium 133 MHz; Window 95/98; 32 Mb disponibles de memoria Ram, 40 Mb disponibles en el disco duro, monitor de 256 colores y con una resolución de 800 x 600.

Algunas de las características que hacen de Flash un programa tan versátil son: la facilidad con la cual se pueden crear gráficos translúcidos, superponer objetos, variar los niveles de opacidad, dibujar y colorear, animar todos los objetos pintados, lograr colores transparentes, degradados, crear efectos que luzcan como sistemas en 3D, transformar mapas de bits en vectores, aceptar sonidos con la extensión .wav, .raw o .mp3, y colocar botones a las animaciones o con las animaciones, en la forma que se desee.

Esta tecnología accesible a usuarios que no han sido formados en el área de la programación, no sólo se puede emplear para realizar novedosas páginas web. Existen en el mercado diversos programas que permiten realizar multimedias en diferentes formatos, entre ellos, el CDRom, el cual tiene la ventaja de no estar limitado por el costo o la velocidad de la conexión.

El desarrollo de esta corriente llamada programación dirigida a objetos, abre las puertas a los profesores de cualquier especialidad que quieran realizar sus propios multimedias educativos. Además, programas especialmente diseñados para este fin, como Toolbook Instructor y Authorware, aceptan la extensión .swf., lo cual era de esperarse, ya que con Flash pueden elaborarse animaciones impresionantes, de tiempos mayores a un minuto, con un tamaño menor a 100 Kb, sin alto grado de dificultad.

Una ventaja adicional que presenta este programa de animaciones es que trabaja con un sistema basado en vectores y no en pixeles. En consecuencia, una película (.swf) puede ser aumentada o disminuida sin perder calidad gráfica, nitidez o capacidad de movimiento, lo cual garantiza que cuando se modifica el tamaño de una animación, no cambia la calidad de la presentación porque el programa vuelve a realizar el cálculo vectorial que sea necesario.

Esto es una extraordinaria ayuda a la hora de insertar la película en una página de trabajo para realizar un multimedia, ya que si el diagramador necesita mejorar la presentación de la página, al combina con otras imágenes y/o texto, puede modificar el tamaño de la animación a escala y sin ningún contratiempo, lo que facilita el montaje y evita tener que volver a exportar la animación en el tamaño deseado, o en el peor de los casos, rehacer la película.

Es importante destacar que Flash no es recomendable para animaciones de sistemas cuyas propiedades estén relacionadas con su estructura tridimensional, como, por ejemplo, orbitales atómicos, híbridos, estructuras cristalinas, celdas metálicas, etc. En este caso, es necesario emplear programas que sean específicos para animaciones 3d, aunque no presenten las ventajas antes mencionadas, como por ejemplo, los requerimiento de la máquina, el tamaño de los archivos o la facilidad de cambio en el tamaño de las películas.

Tras una serie de pruebas y consultas, se ha escogido Macromedia Authorware como el programa que presenta la mejor opción para la realización del CD-Rom de Química I. Authorware, que ahora se consigue en su versión 5.2, permite controlar variables como el tamaño de la película, su velocidad, sonidos, zoom, entre otros, y es perfectamente compatible con Flash, entre otros programas de este tipo.

En conclusión, Flash, un programa que originalmente fue creado para realizar páginas Web, se ha convertido en una de las herramientas básicas para las animaciones que se emplean en el multimedia del curso de Química I que actualmente se está produciend en la U.C.A.B. y es altamente recomendable para trabajos de este tipo.

No al Hullabaloo y al Bruhaha

José Grases.
Ingeniero Civil.

Hace unos pocos meses y con diferencia de días, la Ingeniería Venezolana perdió dos figuras que, en sus respectivas áreas de ocupación, deben reconocerse como pioneros: Juan Otaola y Robert Pérez. El primero, bien conocido por su excepcional capacidad e ingenio para resolver exitosamente grandes retos constructivos y, el segundo, por el exigente rigor que supo anteponer en la solución de los muy diversos problemas de análisis y diseño estructural que le fueron planteados.

Sin duda, las cualidades anteriores fundamentan la admiración y respeto que sus ejecutorias han dejado entre colegas y amigos. Por edad y afinidad de inquietudes, quien suscribe tuvo el privilegio de conocer mas de cerca de Robert o Joaquín, pues este, su segundo nombre, también lo usamos con frecuencia. Y es sobre este colega y mejor amigo, en mala hora fulminado por un fallo cardíaco cuando mas nos podía enseñar, que quisiera dejar este breve testimonio.

Culminados sus estudios de Ingeniería Civil en la Universidad Santa María, en Caracas, Robert complementó su formación universitaria en el país y en otros centros del extranjero, dedicando particular atención a las áreas de: estructuras y sísmica, especialidades que dominaba con singular soltura. Su experiencia profesional de casi tres décadas, se extendió a innumerables obras de ingeniería y asesorías en proyectos complejos, repartidos por todo el país, varios de ellos de naturaleza multidisciplinaria.

Poseía Robert un sólido y respetuoso espíritu crítico, obviamente no siempre celebrado, que le permitió abordar con éxito los problemas que le tocó resolver. Esto explica su participación en varias Comisiones Técnicas en las cuales contribuyó a lograr excelentes documentos normativos y especificaciones. Extendió de este modo su capacidad para encontrar soluciones adecuadas a problemas mal conocidos y poco estudiados, aún cuando su nivel de exigencia profesional y rigor en lo personal, seguramente limitó el número de contribuciones escritas que nos legó.

El último proyecto del cual fue responsable y resolvió exitosamente junto con sus colegas Emilio Solórzano y José Juan Nieto, es el del aislamiento sísmico de elementos portantes en viaductos de gran vano y altura, los cuales forman parte de la línea ferroviaria Caracas-Tuy Medio actualmente en construcción. Parte de esta novísima experiencia, la deja escrita Robert en su último trabajo de ascenso en la Universidad Católica Andrés Bello, donde fue Profesor de Estructuras durante 26 años. Es pues, entre nosotros, pionero en esa promisora especialidad denominada el "aislamiento sísmico", cuyo objetivo es minimizar los daños como consecuencia de sismos intensos.

De carácter mas bien reservado, el día a día de Robert estaba bien lejos de eso que los ingleses llaman el "hullabaloo"; o sea, ajeno al barullo vocinglero, al "bruhaha" como se denota tal situación en la tierra donde nació. Era hombre de largas jornadas de trabajo y estudio que, según nos explicaba, aprovechaba en las horas extremas: bien temprano en la mañana o tarde en la noche.

Recordando de nuevo a Otaola y, como se dijo al comienzo, cada uno en sus respectivas áreas de ocupación, resalta entre las cualidades comunes a estos dos ingenieros esa exigencia personal y honestidad profesional por encontrar la mejor solución. Sin duda, ambos dejan una imborrable huella en la Ingeniería Venezolana y son ejemplos de una actitud poco frecuente que nos corresponde transmitir a las nuevas generaciones.

Ingeniería de Telecomunicaciones

Mayra Narvaez

Las Telecomunicaciones están atravesando un momento de gran expansión, en Venezuela, este año se realizó la apertura de las Telecomunicaciones, propiciando el incremento de las empresas en el sector.

Los requerimientos de formación es el nuevo reto de las instituciones educativas.

Es a partir de esta realidad que la Universidad Católica Andrés Bello presenta el proyecto de creación de la mención de Ingeniería de Telecomunicaciones.

El objetivo de la Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones es formar Ingenieros de alto nivel, capacitados en la aplicación, desarrollo y gerencia de Tecnología de Telecomunicaciones, en sus diversas áreas.

La carrera está conformada por 10 semestres, un período de pasantías en el octavo semestre y un Trabajo Especial de Grado. Los Ejes fundamentales de Formación son: Formación Básica y Gerencial, Electrónica,Telemática, Informática y Tecnología de las Comunicaciones.

Formación Básica y Gerencial: en la cual se incluyen las asignaturas relativas a la formación científico-humanista y gerencial, requeridas para cualquier profesional de la ingeniería, especialmente basadas en el modelo de las actuales carreras de ingeniería de la UCAB.

Electrónica: en donde se incluyen los elementos fundamentales que en materia de electrónica deben conocer los ingenieros en telecomunicaciones, para ser capaces de gerenciar proyectos especializados desde sus etapas de análisis y diseño hasta la gestión y evaluación de los mismos.

Informática: la cual contempla todos los aspectos mínimos necesarios en materia de informática, para formar ingenieros capaces de comprender y aplicar tecnologías de información.

Telemática: la cual abarca los elementos de formación requeridos para conocer y poner en práctica soluciones que se caractericen por la fuerte relación entre las tecnologías de las comunicaciones y la informática.

Tecnología de las Comunicaciones: en la cual se incluyen todas las asignaturas requeridas para formar al estudiante en todos los aspectos relativos a las tecnologías de las comunicaciones, en todas sus especialidades.

El propósito de esta formación es obtener un Ingeniero en Telecomunicaciones con el siguiente perfil: Profesional con una sólida formación Básica tanto en Ciencias como en tecnología. Capacitado en Diseño, Planificación y Gestión de Sistemas y Servicios de Telecomunicaciones. Amplios conocimientos en las áreas de Telecomunicaciones, Telemática y Tecnología de la Información.

Objetivos de la Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones.De acuerdo a lo antes planteado, son objetivos de esta escuela:

- Formar ingenieros en el campo de las tecnologías de la información y las comunicaciones, acordes con el perfil de egreso definido en este proyecto.
- Ofrecer al estudiante opciones de formación ligadas al entorno productivo y de servicio del país

- Potenciar el intercambio de estudiantes con universidades nacionales y extranjeras, incluyendo la doble titulación.
- Formar profesionales con creatividad, iniciativa, espíritu crítico, hábitos de trabajo, capacidad de comunicación y conocimiento de métodos de trabajo propios de la ingeniería.
- Potenciar el trabajo en equipo, formando al estudiante para la participación en proyectos de equipos de trabajo y la gestión de recursos humanos.
- Ofrecer a los profesionales una formación permanente y de calidad.

Pensum de Estudio

Primer Semestre
Cálculo I
Geometría Descriptiva
Humanidades I
Lenguaje
Física I

Segundo Semestre
Cálculo II
Física II
Introducción a las Telecomunicaciones
Programación I
Humanidades II
Algebra Lineal

Tercer Semestre
Cálculo III
Matemáticas para Telecomunicaciones
Circuitos y Sistemas Electrónicos I
Programación II
Lab. Sistemas y Circuitos Electrónicos I
Humanidades III

Cuarto Semestre
Cálculo IV
Circuitos y Sistemas Electrónicos II
Electrónica Digital
Laboratorio de Electrónica Digital
Probabilidades y Procesos Estocásticos
Lab. Sistemas y Circuitos Electrónicos II

Quinto Semestre
Cálculo Numérico
Arquitectura de Computadores
Señales y Sistemas I
Circuitos y Sistemas Electrónicos III
Lab. Sistemas y Circuitos Electrónic. III
Economía General

Sexto Semestre
Sistemas de Operación
Comunicaciones I
Señales y Sistemas II
Campos Electromagnéticos
Arquitectura de Redes
Laboratorio de Telemática

Séptimo Semestre
Comunicaciones II
Transmisión de Datos
Radiaciones y Ondas Guiadas
Laboratorio de Telemática II
Laboratorio de Comunicaciones I
Ingeniería Económica

Octavo Semestre
Telemática
Antenas
Procesamiento de Señales
Comunicaciones Ópticas
Microondas
Radiocomunicaciones

Noveno Semestre
Sistemas de Radio Telecomunicación
Sistemas de Radares
Sistemas de Audio y Video
Sistemas Telemáticos
Gerencia y Legislación
Contabilidad General y de Costos

Décimo Semestre
Etica y Ejercicio Profesional
Electiva I
Electiva II
Electiva III
Electiva IV

Este ejemplar se terminó
de imprimir en
Caracas
en
octubre del año 2001,
en
los talleres de
Editorial Texto, C.A.