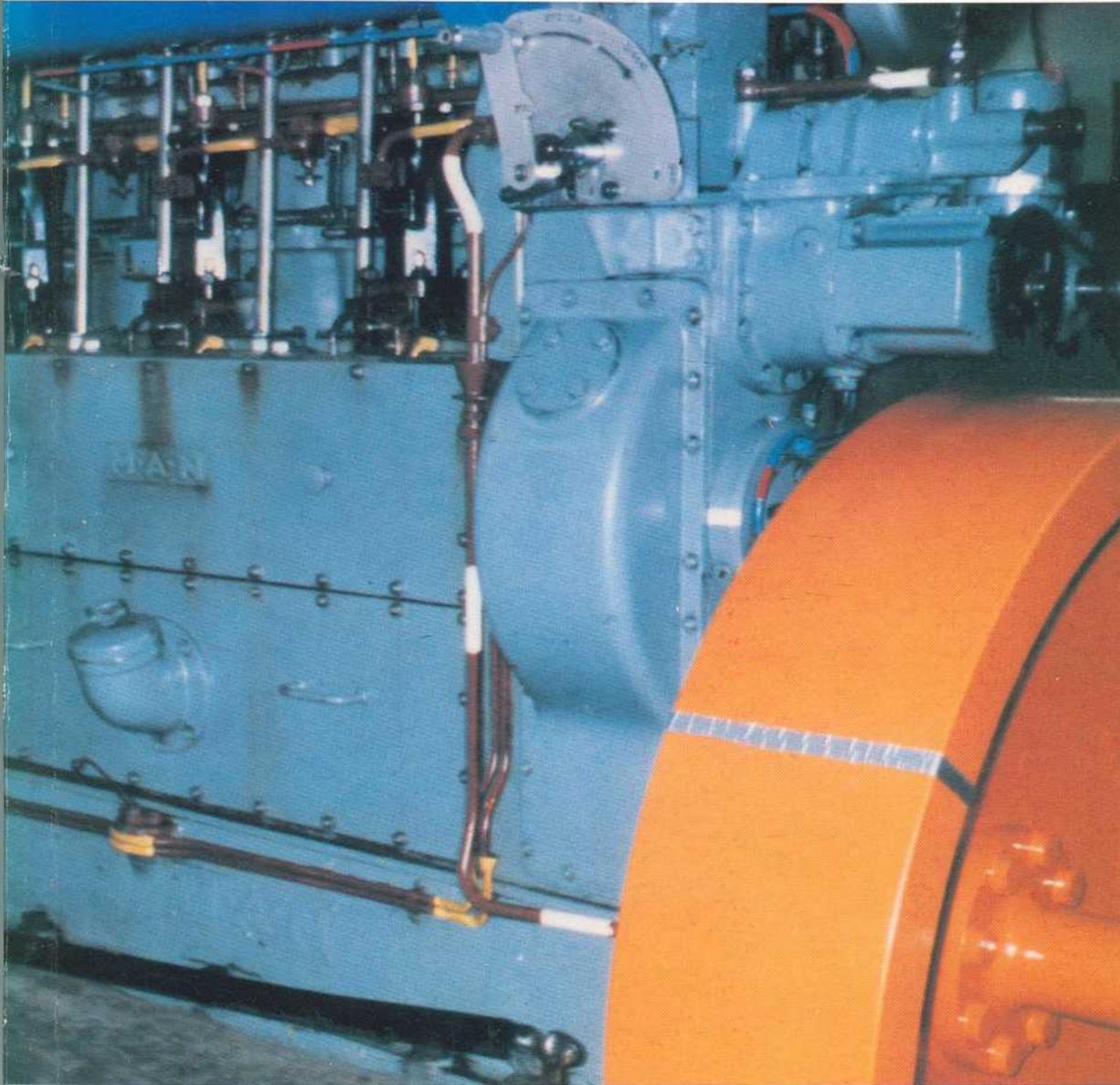


No. 3 - 1999

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. Wickard Miralles.
Ing. Diego Casañas.
Ing. Vicente Napolitano.
Lic. Milagros Boschetti.
Ing. Raiza Reyes.
Ing Nelson Belardi.
Ing José Manuel Ríos, S.J.

Producción
Publicaciones UCAB.
Diseño y Composición
Publicaciones UCAB.
Impresión
Editorial Texto.
Diagramación
Nina G. Vásquez S.

Diseño de Portada
Jhon Bruzual.

Depósito Legal
Pp 97-0007
ISSN: 1316-3930

Ingeniería en la WEB
<http://www.ucab.edu.ve/ingenieria>



PUBLICACIONES UCAB
Edificio de Biblioteca, Tercer Piso
Montalbán - La Vega. Apart.
postal 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° 3

EDITORIAL 5

ESTUDIOS

1. Modelos matemáticos para el diseño de equipos separadores gas-gas en procesos de permeación, por Ing. N. Márquez, Ing. J. Lascurain 7
2. El acercamiento cooperativo de las fábricas de aprendizaje y su impacto en los estilos de aprendizaje, por Ing. Andrés Carrano y James Taylor, Ph.D. 17
3. El terremoto de Cariaco del 9 de Julio de 1997, por Ing. María Barreiro y Ing. Alfonso Malaver 27
4. Distribución espacial de núcleos electrocristalizados, por Abraham Serruya, J. Mostany y B.R. Scharifker 39
5. Propuestas para la recuperación, operación y mantenimiento de sistemas de ventilación en túneles de carretera. Caso específico Túnel de Boquerón I, por Ing. Rafael F. Campo C., Ing. Luis B. De Sá Fernández 45
6. Rapid Prototyping: una herramienta para el diseño de productos, por Ing. Luis Pacheco y Ing. José Pastor 59
7. La Ingeniería Concurrente: Filosofía de trabajo del siglo XXI, por Ing. Mariela Matute y Ing. Patricia Paz 85

ARTÍCULOS

1. La ingeniería Industrial y el ambiente, por Ing. Joseba A. Lascurain 101
2. La problemática del agua en el siglo XXI, por Ing. José Ochoa Iturbe 109

3.	Historia del control de calidad en Venezuela, por Ing. Antonio Borges, Ing. Milagro Rojas e Iván Adreani.....	111
----	---	-----

INFORMACIÓN GENERAL Y VARIOS

1.	Los postgrados en el área de Ingeniería, por Ing. Nelson Belardi	115
2.	Autoridades de la Facultad de Ingeniería Año 1999	117

Revista tekhné

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 Mendez.

Ing. Juan S. Sananez.

Ing. José Asapchi. S.

Ing. Guillermo Vidal.

Este tercer número de la revista TEKHNE, nos impresiona tanto por la calidad del contenido, como por la continuidad de su aparición. En efecto, los proyectos suelen iniciarse con mucho entusiasmo e ir decayendo, poco a poco... son numerosos los ejemplos en nuestro medio. Llegar es más fácil que mantenerse.

Perseverancia y organización esta probando el equipo editor de la revista y los profesores e investigadores que con su aporte, demuestran que es posible mantenerse y superar cualquier logro en un proyecto.

Los artículos aquí presentados nos muestran un permanente compromiso con la ciencia y la tecnología. Los modelos matemáticos en procesos, el análisis del acercamiento cooperativo de las fabricas de aprendizaje, aspectos de alta tecnología en química y el estudio de terremotos, son ejemplos concretos del aporte y esfuerzo de nuestros profesores.

La revista se ha convertido también en una consolidada plataforma para mostrar los trabajos de grado de

nuestra Facultad, que los jurados han otorgado el premio de publicación. Los tres excelentes trabajos presentados en este número, nos muestran el nivel de investigación y trabajo de nuestros jóvenes ingenieros.

La Facultad continúa consolidando sus proyectos: El Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería (CIDI), la carrera de Ingeniería Informática, la Oficina Web y los postgrados gestados en nuestras Escuelas marchan a buen ritmo tal como se planificaron. Estamos ahora abocados a nuestro próximo proyecto, la creación de la Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones, que iniciará sus actividades en Octubre del año 2.000.

TEKHNE, continuará su presencia en este medio de ciencia y tecnología en Venezuela, uniéndose al conjunto de otras revistas de nuestras universidades y centros de investigación, aportando su ayuda al continuo desarrollo de esta gran carrera como es la Ingeniería. Ojalá pronto pueda convertirse en una publicación semestral.

Rafael Hernández Sanchez Ocaña

Modelos Matemáticos para el Diseño de Equipos Separadores Gas-Gas en Procesos de Permeación

Ingenieros N. Márquez, J. Lascurain

Departamento de Procesos y Sistemas, Universidad Simón Bolívar.
Apartado Postal 89.000, Caracas - Venezuela
e-mail: jlaskur@ucab.edu.ve

Resumen: Se presenta una revisión bibliográfica detallada de los modelos matemáticos de mayor trascendencia reportados en la literatura para simular procesos de permeación. La información se clasifica en dos secciones: separaciones binarias y separaciones multicomponentes de gases, resaltando algunos aspectos de interés técnico en el área, tales como los efectos térmicos y de presión en los fenómenos de permeación. Se concluye con un análisis simplificado de los parámetros a tomar en cuenta en el diseño y aplicación de las membranas poliméricas. Los resultados de este trabajo simplifican la labor de los investigadores que desean profundizar en el modelaje matemático aplicado a sistemas de permeación para separación de gases.

PALABRAS CLAVE: permeadores de gas, modelos matemáticos, membranas asimétricas, separación de gases, fibras huecas, tejido espiral.

ABSTRACT: *There is presented a detailed bibliographic revision of the mathematical models of bigger transcendence brought in the literature to simulate permeation processes. The information is classified in two sections: binary separations and multicomponent separations of gases, some technical aspects of interest on the area are presented, like the termical and pressure effects on the permeation phenomenons. The conclusions are a simplified analysis of the parameters to take into account in the design and application of polymeric membranes. The results of this work simplify the work of the investigators that want to make a deeper research on mathematical modeling of permeation systems for gas separation.*

1. INTRODUCCIÓN

La separación de los componentes de mezclas gaseosas mediante el uso de membranas poliméricas se ha convertido en una importante operación unitaria en los últimos años. Algunas de las aplicaciones comerciales incluyen: separación de gases ácidos del gas natural, deshidratación de gas natural, recuperación de hidrógeno, remoción del dióxido de carbono de corrientes de nitrógeno, monóxido de carbono y aire, remoción de óxidos de nitrógeno de corrientes de nitrógeno y monóxido de carbono, remoción de helio de corrientes de gas natural y del aire y remoción de nitrógeno del aire, obtención de Kr y Xe.

Los modelos matemáticos reportados en la literatura para los sistemas de permeación de separadores gas-gas pueden clasificarse en dos grandes categorías: modelos que consideran solo separaciones binarias de gases y modelos que simulan separaciones multicomponentes de gases.

2. ECUACIONES BÁSICAS DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS

Cualquier modelo matemático debe incluir: la relación que gobierna el transporte a través de la membrana, las ecuaciones de balance de masa, las relaciones o suposiciones para la caída de presión en los lados de alimentación y permeado y las condiciones de borde que reflejen la configuración y operación del permeador. Si se considera la caída de temperatura a lo largo del elemento, deben incluirse los balances de energía.

3. SEPARACIONES BINARIAS DE GASES

3.1 Resolución del Conjunto de Ecuaciones en Forma Unidimensional (a lo largo del elemento)

El trabajo de Weller y Steiner (1950a) es el primer estudio analítico para separaciones binarias de mezclas de gases por sistemas de permeación con membranas asimétricas. Este modelo está basado en la suposición de que exista un patrón de flujo laminar en ambos lados de la membrana. Posteriormente, estos mismos autores (Weller y Steiner, 1950b) estudian separaciones binarias de mezclas de gases por sistemas de permeación con membranas asimétricas, analizando matemáticamente dos casos: mezcla completa en ambos lados de la membrana y sin mezcla (flujo laminar) en ambos lados de la membrana. También en este trabajo, se plantea que la permeabilidad varía con la temperatura (pero no se muestra ninguna ecuación) y si la temperatura aumenta, aumenta la permeabilidad pero disminuye la selectividad.

Antonson et al. (1977) desarrollan un modelo matemático para separaciones binarias en separadores de fibra hueca operando con un patrón de flujo en contracorriente y en donde la corriente de alimentación va por el tubo y el permeado por la carcasa. Se evalúa la caída de presión dentro de la fibra (corriente de alimentación) por medio de la ecuación de Hagen-Poiseuille. Las suposiciones generales del modelo son: la permeación se realiza de acuerdo al modelo solución-difusión, las permeabilidades no dependen de la presión pero sí de la temperatura y las características de la fibra, las permeabilidades de los gases en la mezcla son las mismas que las de los componentes puros, la caída de presión dentro de la fibra es de acuerdo a la ecuación de Hagen-Poiseuille, difusión axial despreciable y operación a temperatura constante, la viscosidad de la mezcla está basada en fracciones molares.

Pan y Habgood (1978b) presentan métodos de cálculo para determinar la permeabilidad de gases puros y el funcionamiento de un módulo de fibra hueca con caída de presión apreciable del permeado dentro de la fibra. En este artículo se presenta un método iterativo de solución para las ecuaciones diferenciales gobernantes, el sistema es binario, con flujo en cocorriente y en contracorriente y fibras huecas rígidas; las suposiciones generales de este método son: la permeabilidad de cada componente es independiente de la presión y la composición, gradientes de concentración en la fase gaseosa en la dirección de la permeación despreciables, la difusión a

lo largo de la trayectoria del flujo es despreciable comparada con la del seno del fluido, el gas de alimentación fluye por el lado externo de la fibra con caída de presión despreciable, el flujo de permeado dentro de la fibra esta gobernado por la ecuación de Hagen-Poiseuille, la viscosidad varía con la composición, la fibra es asimétrica con una capa activa delgada en el exterior de la misma. En el caso de gases puros es posible extender este método a módulos de tejido espiral. Se determina la presión de permeado optima para fibra hueca en una etapa simple y en cascada. Se presentan las ecuaciones para determinar la permeabilidad de componentes puros en un módulo tejido espiral. Estos autores usan la Ley de Darcy para determinar la variación de la presión del permeado con la longitud.

Pan (1983) desarrolla un modelo para separaciones binarias en el que se toma en consideración la caída de presión en la corriente de permeado por medio de la ecuación de Hagen-Poiseuille. Las ecuaciones se desarrollan para tres patrones de flujo: cocorriente, contracorriente y flujo cruzado; y son aplicables a módulos tipo fibra hueca y tejido espiral. Las suposiciones de la formulación matemática son: el gas de alimentación esta en el lado de la capa activa de la membrana asimétrica, no hay mezcla de flujos de permeado de diferentes composiciones dentro de la capa porosa que sirve de soporte a la membrana, la capa porosa de soporte ofrece una resistencia despreciable al paso del flujo de gas y la difusión a través de la trayectoria de los poros es insignificante debido al alto flujo de permeado, las permeabilidades de la membrana son independientes de la presión y la concentración, la caída de presión en el gas de alimentación es despreciable, el flujo de permeado dentro de la fibra hueca y la capa tejida en espiral esta gobernado por la ecuación de Hagen-Poiseuille, en el caso de fibra hueca se supone deformación despreciable de la fibra por efecto de la presión.

Chern et al. (1985) plantean un modelo para una separación binaria de gases con membranas tipo fibra hueca. El patrón de flujo es en contracorriente y se considera explícitamente la caída de presión en la corriente de permeado y la dependencia de las permeabilidades con la concentración usando los modelos de adsorción: modelo dual y modelo de transporte. Se analizan los efectos de posible competencia de los penetrantes de acuerdo al modelo generalizado de adsorción en modo dual. El modelo de adsorción dual postula que el flujo difusivo de un penetrante es la suma de dos contribuciones: el gradiente de concentración en el modo disuelto y el gradiente de concentración en el modo adicional en los microvacíos del polímero vítreo. La dependencia de la permeabilidad con la composición y la presión puede atribuirse a la competencia entre los penetrantes por la capacidad de adsorción limitada de los microhuecos en el polímero ví-

treo. Las suposiciones principales en el desarrollo del modelo son: se trabaja a temperatura constante con alimentación por la carcasa y caída de presión despreciable en el lado carcasa, la forma diferencial de la ecuación de Hagen-Poiseuille se usa para describir la variación de la presión del permeado dentro de la fibra, la permeabilidad de la capa selectiva a cada penetrante obedece el modelo de transporte de adsorción en modo dual, la subcapa porosa ofrece una resistencia despreciable a la permeación, no hay polarización de la concentración, las corrientes de alimentación y permeado son flujo pistón y ocurre un mezclado rápido en la dirección radial.

En el artículo de Boucif et al. (1986) se trabaja con separaciones binarias en permeadores de fibra hueca con patrones de flujo en contracorriente y cocorriente, considerando la caída de presión axial dentro de la fibra. Se desarrolla una técnica de soluciones en series de potencias con respecto al área de membrana para expresar las composiciones del permeado y el residuo y la relación de presiones. Entre las consideraciones del modelo tenemos que: el flujo dentro de la fibra es laminar, se usa la ecuación de Hagen-Poiseuille para estimar la caída de presión y se supone comportamiento de gas ideal; la presión de la alimentación, que va por la carcasa, es constante; la permeabilidad de los componentes es constante, no ocurre difusión axial o transversa en las fases gaseosas, no hay corriente de purga, la viscosidad de la mezcla no depende de la presión o la composición, no hay caída de presión en la sección inactiva de la fibra; el diámetro externo de la fibra es igual al diámetro logarítmico medio.

Giglia et al. (1991) establecen un modelo matemático para separación de mezclas binarias en permeadores de fibra hueca con patrones de flujo en cocorriente, contracorriente y flujo cruzado en cocorriente y contracorriente. Las suposiciones generales del modelo son: gas ideal, operación a temperatura constante, las permeabilidades no dependen de la presión o la concentración, el soporte poroso de la membrana ofrece una resistencia despreciable al flujo de gas, la dispersión a través de la dirección del seno del fluido de las corrientes de alimentación y permeado es despreciable, no hay polarización de la concentración, la caída de presión del gas de alimentación es despreciable, la forma diferencial de la ecuación de Hagen-Poiseuille es válida para evaluar la caída de presión del permeado dentro de la fibra, la deformación de la fibra por efecto de la presión es despreciable, la permeación a través de la membrana obedece la ley de Fick.

3.2 Métodos de Cálculo que Realizan Simplificaciones Adicionales a las Tradicionales

En el trabajo de Rautenbach y Dahm (1986), corregido por Smith et al. (1995), se proponen tres modelos para el cálculo simplificado de separaciones binarias para módulos de fibra hueca en contracorriente. Estos modelos tienen como suposiciones comunes: pérdida de presión despreciable en la corriente de alimentación, difusión axial despreciable en las corrientes de alimentación y permeado (no hay retromezclado), el patrón de flujo es flujo pistón y perfil de concentración tipo pistón en la alimentación y el permeado. Estos modelos se diferencian en la cuarta suposición. El primer modelo supone que la membrana es semipermeable ideal, el segundo que la presión parcial del permeado es despreciable y el tercero que la presión parcial del permeado es constante.

Krovvidi et al. (1992) plantean que el área de membrana requerida no es tan sensible a la composición del permeado como a las composiciones de la alimentación y el residuo, selectividad y relación de presiones, confirmando la observación de Pan (1983) que el transporte a través de la membrana puede describirse por flujo cruzado. Ellos proponen dos modelos aproximados para equipos de permeación separando mezclas binarias. Los modelos fueron desarrollados con patrones de flujo en cocorriente y contracorriente. Uno de los modelos supone una relación lineal entre las composiciones de alimentación y permeado; mientras el otro supone que la fuerza impulsora de cada componente a través de la membrana es una función cuadrática del área de membrana. Las suposiciones generales de los modelos son: la alimentación es una mezcla binaria y no hay purga en el lado del permeado, la permeabilidad de cada componente en la mezcla es la misma del componente puro y no es afectada por la presencia de otros componentes o por la presión, caída de presión despreciable en las corrientes de alimentación y permeado y que las corrientes de alimentación y permeado son flujo pistón.

Runhong y Henson (1996) desarrollan un modelo aproximado para separaciones binarias partiendo del modelo de Pan (1983), con membranas tipo tejido espiral. La suposición adicional que ellos hacen para desarrollar su modelo es que la velocidad del flujo de residuo es constante en la dirección del flujo de permeado, lo cual implica que la velocidad del flujo de permeado varía linealmente a lo largo de la dirección del flujo de permeado. Estos autores plantean que el patrón de flujo en los permeadores de tejido espiral es el patrón de flujo cruzado.

3.3 Resolución de las Ecuaciones Diferenciales en Forma Bidimensional

Thundiyil y Koros (1997) utilizaron el enfoque de elementos finitos para modelar separaciones binarias, con membranas tipo fibra hueca, en forma bidimensional. Trabajaron con patrones de flujo en cocorriente, contracorriente y flujo cruzado radial. Se considera el efecto de la caída de presión dentro de la fibra por medio de la ecuación de Hagen-Poiseuille. Las suposiciones generales del modelo son: caída de presión axial y radial del lado de la carcasa son despreciables, la variación de la presión en la parte interior de la fibra puede calcularse por Hagen-Poiseuille, no hay variación de la concentración axial para el gas de alta presión al final de la alimentación, las permeabilidades no son función de la presión, temperatura o concentración, las permeabilidades de los componentes puros son las mismas que las permeabilidades de los gases mezclados, la permeación es isotérmica. En este artículo se establece que en el modelaje de los permeadores de membrana tipo fibra hueca deben tomarse en cuenta los siguientes factores: la caída de presión del permeado, la dependencia de las permeabilidades con la presión, la temperatura y la composición, el efecto Joule-Thomson y la distribución del flujo sobre el atado de fibras.

4. SEPARACIONES DE GASES EN SISTEMAS MULTICOMPONENTES

4.1. Resolución del Conjunto de Ecuaciones en Forma Unidimensional (a lo largo del elemento)

Brubaker y Kammermeyer (1954) toman el caso de mezcla completa en ambos lados de la membrana de Weller y Steiner (1950b) y desarrollan las ecuaciones de separación para 2, 3 y 4 componentes.

Stern et al. (1965) toman como base las ecuaciones de separación suponiendo patrón de flujo de mezcla completa para 2 componentes de Weller y Steiner (1950b) y desarrollan las ecuaciones para 3 componentes suponiendo temperatura constante y que la permeabilidad del componente en la mezcla es igual a la permeabilidad del componente puro. Además, plantean que la permeabilidad usualmente aumenta con la temperatura de acuerdo a la expresión:

$$Q_i = Q_{i_0} \times \exp\left(\frac{-E_Q}{R \cdot T}\right)$$

donde E_Q es la energía de activación de la permeación y Q_{i_0} es el factor pre-exponencial, siempre que se esté a una temperatura mayor a la temperatura de transición vítrea (T_g). A una temperatura menor a T_g , donde el polímero está en un estado vítreo, intervienen otros factores. También plantean que en el estado vítreo, la transferencia de masa no puede describirse tan solo por un proceso de difusión activada (Ley de Fick) pues también actúan otros mecanismos.

Pan y Habgood (1978a) desarrollaron las ecuaciones para la separación de una mezcla multicomponente de gases con patrón de flujo cruzado y usando el concepto de concentración local de permeado, las ecuaciones fueron desarrolladas con las siguientes suposiciones: gradientes de concentración despreciables en la fase gas en la dirección de la permeación, caída de presión despreciables en las corrientes de alimentación y permeado y que la difusión a lo largo de la trayectoria de flujo es despreciable comparada al flujo global. También presentan las ecuaciones si se trabaja con una mezcla binaria. Plantean que el patrón de flujo cruzado simula adecuadamente los módulos tejido espiral y cualquier tipo de módulo que use membranas asimétricas.

En el modelo de Pan (1986), desarrollado para separaciones multicomponentes con membranas de fibra hueca y flujo en cocorriente y contracorriente, se toma en consideración la variación de la presión del permeado dentro de la fibra por medio de la ecuación de Hagen-Poiseuille. Las suposiciones generales del modelo son: el efecto de retrodifusión de la composición global del permeado a la composición puntual es despreciable, la deformación de la fibra hueca por efecto de la presión es despreciable, las permeabilidades no dependen de la presión o la concentración, el gas de alimentación a alta presión está en el lado externo de la membrana (donde está la capa activa) y su caída de presión es despreciable, la caída de presión del permeado puede calcularse por la ecuación de Hagen-Poiseuille. En los experimentos sobre recuperación de H_2 y separación de gases ácidos realizados en este trabajo, comentan sobre las diferencias entre las permeabilidades de los componentes puros y de los componentes en la mezcla debido a la plastificación de la membrana por el CO_2 y el H_2S .

Saltonstall (1987) propone una ecuación explícita para calcular el área de membrana requerida para una separación dada manejando corrientes gaseosas multicomponentes. El patrón de flujo es flujo cruzado. Suposiciones: presiones y velocidades de permeación

constantes de los componentes puros por unidad de área por unidad de diferencia de presión a través de la membrana.

McCandless (1990) sugirió un método para resolver las ecuaciones del patrón de flujo en contracorriente, para separaciones multicomponentes, por un modelo de celdas modificado y un procedimiento iterativo de ensayo y error.

4.2. Métodos de Cálculo que Realizan Simplificaciones Adicionales a las Tradicionales

En algunos enfoques, como los de Hogsett y Mazur (1983), la mezcla multicomponente de gases se trata como una mezcla binaria separando los constituyentes gaseosos en dos categorías: rápidos y lentos, de acuerdo a sus permeabilidades, y calculando permeabilidades promedio para cada grupo. Se considera el patrón de flujo de mezcla completa para módulos de tejido espiral. Este modelo es bastante simplificado pero sirve para dar una idea de la mínima separación alcanzable y el área máxima de membrana requerida para una aplicación dada. El área puede determinarse con un rango de exactitud de $\pm 20\%$.

En el trabajo de Fleming y Dupuis (1993), la mezcla multicomponente de gases también se trata como una mezcla binaria separando los constituyentes gaseosos en dos categorías: rápidos y lentos, de acuerdo a sus permeabilidades. Se considera el patrón de flujo de mezcla completa para un elemento tipo fibra hueca. Dan una fórmula para calcular la caída de presión del permeado que va por dentro de la fibra. Plantean que la temperatura afecta significativamente el funcionamiento del equipo pero no dan ecuaciones para calcular este efecto. Este trabajo es análogo al de Hogsett y Mazur pero para permeadores de fibra hueca.

Pettersen y Lien (1994) plantean un modelo simplificado para el cálculo de separaciones multicomponentes con una membrana tipo fibra hueca y patrón de flujo en contracorriente. El modelo supone que la diferencia en la presión parcial de cada componente a través de la membrana puede simularse como la media logarítmica de las presiones parciales, planteamiento análogo al utilizado en el diseño de los intercambiadores

de calor. Si se desea incluir el efecto de la caída de presión en la corriente de permeado, se dispone de una forma integrada de la ecuación de Hagen-Poiseuille. Las suposiciones generales del modelo son: las permeabilidades de los componentes en la mezcla son las mismas que las de los componentes puros, gas ideal y caída de presión despreciable dentro de la membrana. Estos autores plantean que si desea realizarse un cálculo riguroso deben usarse los coeficientes de fugacidad para tomar en cuenta el comportamiento no-ideal de la fase gaseosa, usar la ecuación de Hagen-Poiseuille para describir la caída de presión del permeado dentro de la fibra (enfoque de Pan y Habgood, 1978b) y usar el modelo de transporte dual para representar la variación de la permeabilidad con la presión y la composición (como lo hace Chern, 1985).

Chen et al. (1994) proponen un modelo aproximado para separaciones multicomponentes y patrón de flujo en contracorriente. En este modelo la diferencia en la presión parcial de cada componente a través de la membrana es constante a lo largo de la longitud del equipo. Suposiciones generales del modelo: la permeabilidad de cada componente en la mezcla es la misma del componente puro y no es afectada por la presión o la composición, caída de presión despreciable en las corrientes de alimentación y permeado, las corrientes de alimentación y permeado están en flujo pistón. Suposiciones específicas del modelo: se trabaja con una composición promedio entre las de la alimentación y el residuo del lado de la alimentación y se considera que los gradientes de concentración de la corriente de permeado son despreciables.

Sarma et al. (1994) desarrollaron un modelo simplificado para separaciones multicomponentes con membranas tipo fibra hueca. El patrón de flujo es flujo cruzado en contracorriente, se considera el efecto de caída de presión dentro de la fibra (por medio de la ecuación de Hagen-Poiseuille, Pan (1983, 1986)) y se supone una relación lineal entre las composiciones locales de las corrientes de alimentación y residuo. Las suposiciones generales del modelo son: la permeación a través de la membrana depende de la composición local del permeado pero no de la composición global del permeado, la alimentación en el lado de la carcasa no experimenta caída de presión, la presión del permeado puede describirse por la ecuación de Hagen-Poiseuille, la alimentación está en flujo pistón sin mezclado axial, la selectividad de los gases es constante y no es afectada por la presión o composición, la deformación de la fibra debido al flujo o la presión es despreciable.

4.3. Resolución del Conjunto de Ecuaciones Diferenciales por Medio de un Runge-Kutta de Cuarto Orden en Forma Unidimensional (a lo largo del elemento)

Shindo et al. (1985) desarrollaron modelos rigurosos para el cálculo en sistemas de permeación multicomponente para 5 patrones de flujo (mezcla completa, cocorriente, contracorriente, flujo cruzado y mezcla en un solo lado) pero sin tomar en cuenta los efectos de caída de presión. Las suposiciones de estos autores son: las velocidades de permeación obedecen la Ley de Fick, la permeabilidad de cada componente es la misma que la del componente puro, y es independiente de la presión, el espesor de membrana efectivo es constante a lo largo del elemento, los gradientes de concentración en la dirección de la permeación son despreciables, las caídas de presión de las corrientes de alimentación y permeado son despreciables, las corrientes de alimentación y permeado son flujo pistón excepto en el patrón de mezcla completa y en la corriente de permeado en el patrón de flujo cruzado. En este trabajo la temperatura es constante a lo largo del elemento.

Li et al. (1990) desarrollaron modelos rigurosos para el cálculo en sistemas de permeación multicomponente para 5 patrones de flujo (mezcla completa, cocorriente, contracorriente, flujo cruzado y mezcla en un solo lado) pero sin tomar en cuenta los efectos de caída de presión. Las suposiciones de estos autores son: todos los componentes de la corriente de alimentación son permeables, la permeabilidad de cada componente es la misma que la del componente puro, y es independiente de la presión, las caídas de presión de las corrientes de alimentación y permeado son despreciables a lo largo de la trayectoria del flujo y la difusión a través de la trayectoria es insignificante comparada con la que ocurre en el seno del fluido. En este trabajo la temperatura es constante y las ecuaciones son básicamente las mismas que las del trabajo de Shindo et al. (1985).

5. ALGUNOS ASPECTOS DE INTERÉS

5.1 Ecuaciones para Describir la Transferencia de Masa

Stern et al. (1965) plantean que a una $T < T_g$ la transferencia de masa no puede describirse tan solo por un proceso de difusión activada (Ley de Fick) pues también actúan otros mecanismos.

Toi et al. (1982) plantean que el comportamiento de los gases en polímeros cauchosos puede describirse por las leyes de Fick y Henry, no así para polímeros vítreos donde debe aplicarse el modelo de adsorción en modo dual para evaluar la solubilidad y la difusividad.

5.2 Efectos Calóricos en la Permeación de Gases

Cornelissen (1993) plantea que en la permeación de gases, muchos gases tienden a disminuir su temperatura, fenómeno relacionado con el efecto Joule-Thomson, lo cual refleja el comportamiento no-ideal del gas. El calor requerido para que el proceso de permeación local ocurra isotérmicamente es suministrado por el residuo el cual se va enfriando; como resultado, el proceso de permeación global (a través del módulo) no es isotérmico y como el funcionamiento de la membrana depende de la temperatura, este fenómeno debe ser tomado en cuenta para el diseño de instalaciones industriales. Da una ecuación para calcular la temperatura final del permeado en módulos de tejido espiral. También encuentra que los valores de los coeficientes de Joule-Thomson no deben usarse en el contexto de la separaciones gaseosas por permeación.

5.3 La Permeabilidad como una Función de la Temperatura

Brubaker y Kammermeyer (1952) estudian el efecto de la temperatura en la permeabilidad. En un cierto rango de temperatura se cumple que

$$Q_i = Q_{i_0} \times \exp\left(\frac{-E_Q}{R \cdot T}\right)$$

pero cuando se grafica Q_i vs. $\frac{1}{T}$, algunos gases tienen una pendiente positiva, otros negativa y otros constante dependiendo de los valores relativos de E_D y, energías de activación para la difusión y la solubilidad respectivamente. Además plantean que el comportamiento de un mismo gas puede variar cuando se cambia el polímero.

También se comentó anteriormente en el trabajo de Stern et al. (1965) que la permeabilidad usualmente aumenta con la temperatura de acuerdo a la expresión:

$$Q_i = Q_{i_0} \times \exp\left(\frac{-E_Q}{R \cdot T}\right)$$

donde E_Q es la energía de activación de la permeación y Q_{i_0} es el factor pre-exponencial, siempre que se esté a una temperatura mayor a T_g .

MacLean et al. (1983) establecen la dependencia de la permeabilidad con la temperatura de acuerdo a la ecuación:

$$Q_i = Q_{i_0} \times \exp\left(\frac{-E_Q}{R \cdot T}\right)$$

donde E_Q y Q_{i_0} son coeficientes de correlaciones determinadas a partir de datos de laboratorio y pruebas de campo. El término exponencial $\frac{-E_Q}{R \cdot T}$ está rela-

cionado con las energías de activación para la solubilidad gas-polímero y la difusividad. Estos coeficientes son únicos para cada especie gaseosa y cada polímero. También dicen que la permeabilidad de una especie puede ser afectada por las otras especies de la mezcla. Recomiendan las ecuaciones de Weller y Steiner (1950b) para analizar la influencia de las variables de operación.

6. CONCLUSIONES

Los modelos revisados usan la teoría solución-difusión para describir la permeación de gases en membranas poliméricas no porosas. En esta teoría se considera que los gases se disuelven en la membrana para

luego difundir a través del espesor de la misma tratando de disminuir el gradiente de potencial químico que existe a cada lado de la membrana debido a la diferencia de presión. Por lo tanto, para usar esta teoría se necesita resolver ecuaciones diferenciales para modelar las solubilidades de los gases en el polímero y otras ecuaciones para simular la difusividad de los gases a través del polímero. Existe un consenso entre los diferentes autores consultados en que la difusividad puede representarse por la Ley de Fick. Sin embargo, a la hora de evaluar la solubilidad existen discrepancias, algunos autores usan la Ley de Henry mientras otros usan el modelo de adsorción dual, de acuerdo a la revisión realizada en este trabajo se concluye que cuando el polímero está en estado cauchoso puede utilizarse la Ley de Henry, pero cuando el polímero está en estado vítreo debe recurrirse a otros modelos, uno de ellos es el de adsorción dual.

En la mayoría de los trabajos de modelaje matemático se considera que las permeabilidades de los gases en la mezcla son las mismas que las de los componentes puros, pero se ha demostrado la dependencia de las permeabilidades con la concentración usando el modelo de adsorción dual. Adicionalmente, en los experimentos sobre recuperación de H_2 y separación de gases comentan sobre las diferencias entre las permeabilidades de los componentes puros (polares y no polares) y de los componentes en la mezcla debido a la plastificación de la membrana por gases como el CO_2 y el H_2S .

Todos los autores consultados suponen comportamiento de gas ideal, pero los procesos comerciales de separaciones gaseosas por membranas trabajan a altas presiones (1000-1500 psig) por lo que deben usarse los coeficientes de fugacidad para tomar en cuenta el comportamiento no-ideal de la fase gaseosa. Se ha demostrado que cuando se trabaja con gases polares, la ecuación de Peng-Robinson da resultados más ajustados a la realidad.

Cornelissen (1993) demuestra teóricamente que el proceso de permeación no es isotérmico y como la permeabilidad varía con la temperatura deben incluirse los balances de energía en las simulaciones de estos procesos.

Por facilidad se evalúa la caída de presión dentro de las fibras (corriente de alimentación) por medio de la ecuación de Hagen-Poiseuille, pero conviene utilizar el Método Racional para obtener mayor precisión.

En referencia a los patrones de flujo considerados en los diferentes modelos matemáticos se recomienda hacer énfasis en el patrón de flujo cruzado, el cual simula adecuadamente los módulos tejido espiral y cualquier tipo de módulo que use membranas asimétricas, debido

a que este tipo de membranas permite altos flujos y altas selectividades lo que las a convertido en una de las más utilizadas en el mercado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTONSON, C.A.; GARDNER, R.J.; KING, C.F.; KO, D.Y. Analysis of gas separation by permeation in hollow fibers, *Ind. Eng. Chem., Proc. Des. Dev.*, 16, 4, p. 463-469, 1977.
- BOUCIF, N.; SENGUPTA, A.; SIRKAR, K.K. Fiber gas permeator with countercurrent or cocurrent flow: solutions, *Ind. Eng. Chem. Fundam.*, 25, p. 217-228, 1986.
- BRUBAKER, D.W.; KAMMERMEYER, K. Separation of gases by means of permeable membranes, *Ind. Eng. Chem.*, 44, p. 1465-1474, 1952.
- BRUBAKER, D.W.; KAMMERMEYER, K. Separation of gases by plastic membranes: Permeation rates and extent of separation, *Ind. Eng. Chem.*, 46, p. 733-742, 1954.
- CHEN, H.; JIANG, G.; XU, R. An approximate solution for countercurrent gas permeation separating multicomponent mixtures. *J. Membrane Sci.*, 95, p. 11-19, 1994.
- CHERN, R.T.; KOROS, W.J.; FEDKIW, P.S. Simulation of a hollow-fiber gas separator: the effects of process and design variables, *Ind. Eng. Chem. Proc. Des. Dev.*, 24, p. 1015-1022, 1985.
- CORNELISSEN, A. E. Heat effect in gas permeation, with special reference to spiral-wound modules, *J. Membrane Sci.*, 76, p. 185-192, 1993.
- FLEMING, G.K.; DUPUIS, G.E. Hydrogen membrane recovery estimates. *Hydrocarbon Processing*, April, p. 61-64, 1993.
- GIGLIA, S.; BIKSON, B.; PERRIN, J.E.; DONATELLI A.A. Mathematical and experimental analysis of gas separation by hollow fiber membranes, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 30, p. 1239-1248, 1991.
- HOGSETT, J.E.; MAZUR, W.H. Estimate membrane system area. *Hydrocarbon Processing*, August, p. 52-54, 1983.
- KROVVIDI, K.R.; KOVVALI, A.S.; VEMURY, S.; KHAN, A.A. Approximate solutions for gas permeators separating binary mixtures, *J. Membrane Sci.*, 66, p. 103-118, 1992.
- LI, K.; ACHARYA, D.R.; HUGHES, R. Mathematical modeling of multicomponent membrane permeators, *J. Membrane Sci.*, 52, p. 205-219, 1990.
- MACLEAN, D.L.; STOOKEY, D. J.; METZGER, T.R. Fundamentals of gas permeation. *Hydrocarbon Processing*, August, p. 47-51, 1983.
- MCCANDLESS, F.P. Iterative solution of multicomponent permeator model equations, *J. Membrane Sci.*, 48, p. 115, 1990.
- PAN, C.Y.; HABGOOD, H.W. Gas separation by permeation. Part I. Calculation methods and parametric analysis, *Can. J. Chem. Eng.*, 56, p. 197-209, 1978a.
- PAN, C.Y.; HABGOOD, H.W. Gas separation by permeation. Part II. Effect of permeate pressure drop and choice of permeate pressure, *Can. J. Chem. Eng.*, 56, p. 210-217, 1978b.
- PAN, C. Y. Gas separation by permeators with high-flux asymmetric membranes, *AIChE J.*, 29, 4, p. 545-552, 1983.
- PAN, C. Y. Gas separation by high-flux, asymmetric hollow fiber membrane, *AIChE J.*, 32, 12, p. 2020-2027, 1986.
- PETTERSEN, T.; LIEN, K.M. A new robust design model for gas separating membrane modules, based on analogy with counter-current heat exchangers. *Comp. Chem. Eng.*, 18, 5, p. 427-439, 1994.
- RAUTENBACH, R.; DAHM, W. Simplified calculation of gas-permeation hollow-fiber modules for the separation of binary mixtures, *J. Membrane Sci.*, 28, p. 319-327, 1986.
- RUNHONG Q.; HENSON, M.A. Approximate modeling of spiral-wound gas permeators. *J. Membrane Sci.*, 121, p. 11-24, 1996.
- SALTONSTALL, C.W. Calculation of the membrane area required for gas separations, *J. Membrane Sci.*, 32, p. 185-193, 1987.
- SARMA, A.; VEMURY, S.; ADMASSU, W. Modeling of multicomponent countercurrent gas permeators. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 33, p. 896-903, 1994.
- SHINDO, Y.; HAKUTA, T.; YOSHITOME, H.; INOUE, H. Calculation methods for multicomponent gas separation by permeation, *Sep. Sci. Technol.*, 20, p. 445-459, 1985.

- SMITH, S.W.; FREEMAN, B.D.; HALL, C.K. Analytical gas-permeation models for binary mixtures separation using membrane modules. Febrero, 1995. <http://turbo.che.ncsu.edu/smithsw/perm/perm.html>
- STERN, S.A.; SINCLAIR, T.F.; GARIES, P.J.; VAHLDIECK, N.P.; MOHR, P.H. Helium recovery by permeation, *Ind. Eng. Chem.*, 57, p. 49, 1965.
- THUNDYIL, M.J.; KOROS, W.J. Mathematical modeling of gas separation permeators - for radial crossflow, countercurrent and cocurrent hollow fiber membrane modules, *J. Membrane Sci.*, 125, p. 275-291, 1997.
- TOI, K.; MOREL, G.; PAUL, D.R. Gas sorption and transport in poly(phenylene oxide) and comparisons with other glassy polymers. *J. Appl. Polym. Sci.*, 27, p. 2997-3005, 1982.
- WELLER, S.; STEINER, W.A. Engineering aspects of separation of gases. *Chem. Eng. Progress*, 46, 11, p. 585-590, 1950a.
- WELLER, S.; STEINER, W.A. Separation of gases by fractional permeation through membranes. *J. Appl. Phys.*, 21, April, p. 279-283, 1950b.

El Acercamiento Cooperativo de las Fábricas de Aprendizaje y su Impacto en los Estilos de Aprendizaje

Ing. Andres L. Carrano¹

James B. Taylor, Ph.D.²

SUMARIO

Los esquemas tradicionales de enseñanza que se siguen en cursos de ingeniería, así como en otras áreas de la enseñanza técnica, han sido objeto de discusión durante la última década. Usualmente, un amplio espectro de estudiantes se reúne en un mismo salón de clases. Este hecho trae como consecuencia la presencia de características muy variadas en los mecanismos por medio de los cuales los estudiantes capturan y procesan la información. Esta mezcla de estilos de aprendizaje dificulta aun más el establecimiento de los canales de comunicación apropiados con cada uno de los estudiantes. Un mayor grado de conocimiento y entendimiento de la manera en la cual los individuos aprenden es de importancia crítica para el proceso de mejoramiento educacional. El reto actual para las instituciones académicas está en la evaluación de los estilos de aprendizaje de sus estudiantes y profesores para así lograr un diseño acorde de los correspondientes marcos instruccionales. Este escenario desafía las metodologías tradicionales de enseñanza, demandando nuevas herramientas, técnicas y creatividad por parte de los profesores. Desde su creación a principio de los años noventa, el concepto del *Learning Factory* o fábricas de aprendizaje ha presentado una alternativa instruccional en la enseñanza de los cursos en manufactura y sus interrelaciones con respecto a un ambiente industrial cada día más integrado. En este trabajo se presenta un acercamiento a estos conceptos e ideas con respecto a su impacto sobre los estilos de aprendizaje del individuo.

1. ANTECEDENTES

La constante y creciente necesidad que existen en el sector industrial por estudiantes de ingeniería ca-

pacitados, tanto en el área académica como en el área técnica, ha estado requiriendo una revisión de los currícula instruccional así como del contenido de los cursos. La tradicional lectura catedrática ha sido reconocida como un excelente mecanismo en la entrega de grandes cantidades de información, pero a la vez fomenta una gran pasividad en los estudiantes y limita su interacción durante la clase. Adicionalmente, el instructor tiende a proveer todo el material necesario lo cual no deja espacio para creatividad alguna en el estudiante. Este mecanismo de enseñanza beneficia a una limitada porción de la clase que es denominada como *aprendices³ verbales* bajo el modelo de estilos de aprendizaje de Felder-Silverman [Felder y Silverman, 1988; Felder, 1993, 1998].

En años recientes, investigaciones en el área de procesos cognoscitivos ha permitido un mejor entendimiento de las limitaciones de la lectura catedrática como único mecanismo de instrucción. De igual manera, esto ha servido para reconocer laboratorios, aplicaciones multimedia, técnicas de aprendizaje cooperativo, y experiencias sensoriales en general, como medios mucho más eficaces (cuando combinados con lecturas) en la enseñanza. Estas alternativas instruccionales permiten que un mayor grupo de estudiantes puedan ser enseñados en su propio mecanismo de captura de información.

En este contexto, la idea de incorporar actividades que requieran destrezas tanto intelectuales como físicas en la instrucción técnica no es novedosa, en efecto, los cursos basados en laboratorios han sido implementados en varios niveles por décadas. Sin embargo, lo que en general ha faltado en el campo de la manufactura es un programa educativo integrado que comprenda áreas selectas e interdisciplinarias de instrucción académica las

¹ Profesor Asistente en la Universidad Católica Andrés Bello. Email: alcarran@eos.ncsu.edu

² Profesor Asistente en North Carolina State University, Raleigh. Email: jtaylor@eos.ncsu.edu

³ Del inglés *learners*. Abarca todo individuo en alguna etapa de aprendizaje de instrucción técnica.

cuales son tradicionalmente enseñadas de manera independiente a lo largo de varios semestres y sin conexión en particular. Un programa como el descrito requiere ser acompañado por cursos *practicum* cuyo objetivo sea el reforzar los módulos de conocimiento teórico y sus interrelaciones mientras el estudiante es expuesto, de una manera teórica y práctica, a través de todas las fases del desarrollo y manufactura de producto. Todo esto estaría desarrollado bajo un ambiente de trabajo orientado a equipos y bajo un esquema de *learn-by-doing*. Un acercamiento como este serviría para emular los esquemas reales del mundo de la manufactura en el marco educativo, así como también para motivar a un grupo más amplio de estudiantes, lo cual se traduce en una manera más efectiva de impartir conocimiento.

1.1. Las Fábricas de Aprendizaje

El learning factory o fábricas de aprendizaje son el producto del consorcio para la educación de la ingeniería de manufactura (MEEP) [Lamancusa, 1997]. Este consorcio fue conformado por tres universidades con sólidos programas en ingeniería (la Universidad del Estado de Pennsylvania, la Universidad de Washington, y la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez), un laboratorio gubernamental de investigaciones (Laboratorios Nacionales Sandia), junto con más de cien socios corporativos comprendiendo un amplio sector de industrias norteamericanas. Este programa contó con el apoyo del gobierno federal a través del programa de reinversión en la tecnología (ARPA). Este consorcio fue la respuesta a una constante y creciente necesidad que existe en el sector industrial por estudiantes de ingeniería capacitados tanto en los fundamentos de ingeniería así como en habilidades profesionales/gerenciales.

Los objetivos de este programa eran los siguientes [Lamancusa, 1997]:

- Desarrollar un curriculum práctico en ingeniería que presentase un balance entre el conocimiento analítico y teórico en manufactura con respecto a las habilidades y destrezas profesionales necesarias para afrontar las realidades del negocio.

- Implementar fábricas de aprendizaje en cada institución educativa del consorcio las cuales estén íntegramente acopladas al curriculum para así ofrecer una experiencia práctico-teórica en diseño, manufactura y realización de productos.

- Generar fuertes vínculos con el sector industrial

- Extender el proyecto hacia otras instituciones académicas, gubernamentales, e industriales.

Este proyecto se concentró fundamentalmente en el diseño de los cursos necesarios y su integración en el pensum, que conjuntamente con las instalaciones físicas y los nexos con las industrias, proveen al estudiante de los siguientes atributos: una sólida base teórica en los fundamentos de las ciencias de la ingeniería, una clara percepción de los macrosistemas individuales que conforman la manufactura y realización de un producto y sus interrelaciones, una excelente formación en tecnologías y herramientas actuales, así como una preparación adecuada que permita al individuo actuar como un miembro y comunicador eficaz dentro de un determinado equipo de trabajo. Finalmente, uno de los atributos más importantes esta relacionado con la capacidad y motivación del individuo hacia aprendizaje futuro e independiente.

El curriculum propuesto (e implementado en las universidades mencionadas) incluye cursos en las siguientes áreas: Ingeniería o Disección de Producto, Ingeniería Concurrente, Empresariado en Tecnologías, Ingeniería de Calidad en Procesos, así como un proyecto de grado interdisciplinario. Las instalaciones físicas para el diseño y manufactura de producto incluye laboratorios con maquinaria diversa, bancos de trabajo equipados con herramientas manuales, equipos de soldadura, estaciones CAD/CAM, laboratorios de metrología, materiales de referencias, así como áreas de reunión para los grupos de estudiantes. Algunas de las instalaciones mas especializadas ofrecen maquinaria con control numérico (CNC), moldeado por inyección, máquinas de medición de coordenadas (CMM), fundición de metales, y desarrollo rápido de prototipos. En estas instalaciones, los estudiantes aplican el conocimiento teórico impartido en el salón mientras participan activamente en la realización de un producto desde su diseño hasta su ensamblaje final como producto terminado. En el caso particular de este consorcio, los grupos de trabajo han sido normalmente conformados por estudiantes de las escuelas de ingeniería industrial, mecánica, eléctrica, química, así como también de la escuela de negocios. Las industrias asociadas al consorcio contribuyen con equipos y maquinarias, proveen proyectos de grado, y se reúnen frecuentemente con los estudiantes. Esta interacción beneficia a los estudiantes al exponerlos al aprendizaje de cierta cultura organizacional así como al relacionarlos con empleadores potenciales. Por otro lado, este roce también beneficia a las industrias al poder evaluar empleados potenciales, a la vez que obtienen asistencia con problemas específicos (transferencia de tecnología). Información adicional relacionada a este consorcio puede ser encontrada en Lamancusa, Jorgensen, and Zayas-Castro *et al.* (1997), así como en la siguiente dirección: <http://www.if.psu.edu/>. Recientemente, otras universidades han comenzado a

incorporar programas similares en la instrucción de la ingeniería de manufactura: la Universidad del Estado de Carolina del Norte (*¡Error! Marcador no definido.*, y el Instituto de Tecnología de New Jersey, entre otros.

1.2. Estilos de Aprendizaje: Modelos y Estrategias

Cada individuo posee su propio estilo de aprendizaje. Los principales académicos en el área han desarrollado y adoptado una definición de que conceptualiza los estilos de aprendizaje como una composición de aquellas características cognoscitivas, afectivas, y los factores fisiológicos que sirvan como un indicador estable de como un aprendiz percibe, interactúa, y responde con respecto al ambiente de aprendizaje [Keefe, 1979]. Implícitos en esta definición se encuentran los *estilos cognoscitivos* que son los patrones intrínsecos de procesamiento de información que a su vez representan el modo típico bajo el cual el individuo percibe, piensa, recuerda, y resuelve conflictos [Griggs, 1991].

En toda arena profesional, es un hecho común que la información se presente de varias maneras y bajo diferentes formas. Este hecho trae como consecuencia el que sea imperativo que los individuos sean capaces de operar bajo diversas modalidades para así detectar y asimilar todo conocimiento relevante. Existe un amplio y creciente número de modelos que se proponen clasificar la manera en la cual los estudiantes absorben y procesan información. Entre el vasto universo de modelos existentes, destacan cuatro que han sido usados con cierto grado de efectividad y éxito en la educación de la ingeniería [Felder, 1988]. Estos modelos son descritos a continuación.

Indicador de Tipos Myers-Briggs (MBTI). Este modelo clasifica estudiantes de acuerdo a sus preferencias con respecto a ciertas escalas, las cuales han sido derivadas de la teoría de los tipos psicológicos de Carl Jung. Basado en este principio los estudiantes pueden ser:

- Extrovertidos (intentan alternativas, prueban cosas diversas, se enfocan en el mundo externo de las personas) o Introversos (piensan detalladamente, se enfocan en el mundo interno de las ideas).
- Sensores (prácticos, orientados hacia detalles, enfocados en hechos y procedimientos) o Intuitivos (imaginativos, orientados hacia conceptos, enfocados en significados y posibilidades).
- Pensadores (escépticos, tienden a tomar decisiones basados en razonamiento lógico) o Sensibles

(apreciativos, tienden a tomar decisiones basados en consideraciones personales y humanísticas).

- Juzgadores (fijan y siguen cronogramas, buscan concluir aun cuando la información sea incompleta) o Perceptores (se adaptan a circunstancias cambiantes, se resisten a concluir o culminar para así poder buscar mas información).

Este indicador MBTI puede ser combinado de 16 maneras diferentes. Por ejemplo, un estudiante puede ser ESPP (extrovertido, sensor, pensador, perceptor), así como otro pudiera ser IISJ (introverso, intuitivo, sensible, juzgador)

Modelo de Estilos de Aprendizaje de Kolb: Este modelo clasifica a los estudiantes de acuerdo a sus preferencias por (i) Experiencia concreta o Conceptualización abstracta (acerca como prefieren adquirir la información); y (ii) Experimentación activa u Observación pasiva (acerca como internalizan esta información). Los cuatro tipos de aprendices bajo este esquema de clasificación son:

Tipo 1: Concretos y Reflexivos. Una pregunta característica de este tipo esta relacionada con el *porqué* de las cosas. Aprendices del tipo 1 responden afirmativamente hacia aquellas explicaciones que relacionan el material del curso con sus experiencias, intereses, y sus carreras futuras. Para ser efectivos con este tipo de estudiantes, el instructor debe actuar como motivador.

Tipo 2: Abstractos y Reflexivos. Una pregunta característica de este tipo esta relacionada con el *que* de las cosas. Aprendices del tipo 2 responden afirmativamente hacia aquella información que es presentada de una manera organizada y en una secuencia lógica, beneficiándose aun más si se les otorga tiempo para reflexión. Para ser efectivos con este tipo de estudiantes, el instructor debe actuar como experto.

Tipo 3: Abstractos y Activos. Una pregunta característica de este tipo esta relacionada con el *cómo* de las cosas. Aprendices del tipo 3 responden afirmativamente hacia aquellas oportunidades que les permiten trabajar activamente en tareas bien definidas, aprender por ensayo y error, y experimentar bajo un ambiente que les permita fallar con seguridad. Para ser efectivos con este tipo de estudiantes, el instructor debe actuar como entrenador, supervisando las prácticas y suministrando retroalimentación.

Tipo 4: Concretos y Activos. Una pregunta característica de este tipo esta relacionada con el *que-pasaría-si* de las cosas. Aprendices del tipo 4 responden afirmativamente hacia aquellas oportunidades que les permiten aplicar el material de clases en nuevas situaciones para así resolver problemas reales. Para ser efectivos con

este tipo de estudiantes el instructor debe apartarse, en buena parte, del proceso de aprendizaje para así maximizar las oportunidades del estudiante tipo 4 de descubrir cosas por sí mismos.

Instrumento de Dominancia Cerebral de Herrmann (HBDI). Este método clasifica a los estudiantes en términos de sus preferencias relativas a pensar bajo cuatro modalidades diferentes. Dichos modos están basados en el funcionamiento físico del cerebro con respecto a tareas especializadas. Cada modalidad es denominada cuadrante y se caracterizan de la siguiente forma:

- Cuadrante A (cerebro izquierdo, cerebral). Lógico, analítico, cuantitativo, factual, crítico.
- Cuadrante B (cerebro izquierdo, límbico). Secuencial, organizado, planificado, detallado, estructurado.
- Cuadrante C (cerebro derecho, límbico) Emocional, interpersonal, sensorial, kinestésico, simbólico.
- Cuadrante D (cerebro derecho, cerebral). Visual, holístico, innovador.

Modelo de Estilos de Aprendizaje de Felder-Silverman. Este modelo clasifica a los estudiantes de acuerdo al siguiente criterio:

- Aprendices Sensores (concretos, prácticos, orientados hacia hechos y procedimientos) o Aprendices Intuitivos (conceptuales, innovadores, orientados hacia teorías y significados).
- Aprendices Visuales (prefieren representaciones visuales del material tales como dibujos, diagramas de flujo, o gráficos) o Aprendices Verbales (se inclinan por explicaciones escritas y habladas).
- Aprendices Inductivos (prefieren presentaciones que proceden de lo específico a lo general) o Aprendices Deductivos (prefieren presentaciones que van de lo general a lo específico).
- Aprendices Activos (aprenden haciendo y experimentando, suelen trabajar con otros) o Aprendices Reflexivos (aprenden pensando y reflexionando las cosas, suelen trabajar solos).
- Aprendices Secuenciales (lineales, ordenados, aprenden en pasos pequeños) o Aprendices Globales (holísticos, pensadores de sistemas, aprenden en grandes pasos).

Es necesario mencionar que han habido numerosos intentos de proporcionar un marco común para el diverso número de teorías de estilos de aprendizaje [Griggs, 1991]. Uno de los esquemas más populares es

el propuesto por Curry *et al.* (1987) y denominado como el modelo de la cebolla. Este modelo consiste en cuatro capas secuenciales que son descritas a continuación:

1. Dimensiones de la personalidad: evalúan la influencia de la personalidad básica con respecto a las diversas maneras de adquisición e integración de la información. Entre los modelos que se concentran en personalidades se destacan el modelo de Witkin *et al.* (1954) y el indicador de tipos de Myers-Briggs [Myers, 1978; Lawrence, 1994].

2. Procesamiento de la información: evalúan los acercamientos intelectuales preferidos por el individuo con respecto al modo bajo el cual se asimila la información. Entre los modelos que se incluyen en esta área se encuentran el de complejidad cognoscitiva de Schemeck's *et al.* (1983) y el modelo de procesamiento de la información de Kolb.

3. Interacción social: se refieren a como los estudiantes interactúan en el salón de clases. Modelos en esta área incluyen los tipos de aprendizaje categorizados por Reichmann y Grasha *et al.* (1974), que clasifican al individuo como: independiente o dependiente, colaborador o competitivo, participativo o esquivo.

4. Preferencia instruccional: evalúan las preferencias individuales con respecto al ambiente de aprendizaje. Esquemas en esta categoría incluyen el modelo del procesamiento humano [Keefe, 1989] y el modelo de estilos de aprendizaje de Dunn and Dunn *et al.* (1978). Estos modelos presentan similitudes en el hecho de que ambos enfatizan la importancia de identificar y canalizar las preferencias individuales en el proceso de aprendizaje.

Si los profesores enseñan exclusivamente de una manera tal que se favorece el estilo de aprendizaje menos preferido por los estudiantes, se pudiese generar cierta incomodidad que, en muchos casos, es suficiente para interferir y entorpecer el proceso de aprendizaje. Por otro lado, si los profesores enseñan exclusivamente en las modalidades preferidas, los estudiantes no se verán forzados a desarrollar la destreza mental necesaria para alcanzar su máximo potencial como estudiantes y posteriormente como profesionales. Independientemente de las herramientas y medios utilizados, el reto que afrontan las instituciones académicas de hoy esta en identificar y evaluar eficazmente las características de los estilos de aprendizaje de sus estudiantes. Esto permitirá desarrollar los marcos instruccionales tal que los estudiantes desarrollen habilidades y destrezas tanto en sus modalidades preferidas como en aquellas menos favorecidas. Este acercamiento es denominado *enseñanza alrededor del ciclo* [Felder, 1998].

2. IMPACTO EN LOS MECANISMOS DE APRENDIZAJE

La implementación de fábricas de aprendizaje dentro de los programas educativos en manufactura busca como objetivo el proveer un mecanismo instruccional que impacte favorablemente diversos estilos de aprendizaje a la vez que se imparte una educación integrada, interdisciplinaria, basada en trabajo de equipo, y con una fuerte orientación práctica. El concepto de la enseñanza alrededor del ciclo fue acuñado para describir un acercamiento en el cual cada una de las necesidades de aprendizaje del individuo son satisfechas, al menos de una manera parcial. Como se describe en esta sección, las fábricas de aprendizaje en cierta manera forzan al profesor a rotar su forma de instrucción alrededor de varias modalidades, así como también tienden a responder a la tendencia educacional denominada como aprendizaje activo y en la cual, muchas de las actividades y responsabilidades son transferidas del profesor hacia el alumno. En esta sección se diserta brevemente acerca del impacto de las fábricas de aprendizaje con respecto a los cuatro modelos de aprendizaje considerados.

Indicador de Tipos de Myers-Briggs (MBTI). Típicamente, los profesores de ingeniería orientan sus cursos hacia los siguientes perfiles bajo este modelo: Introversos (mediante lecturas catedráticas y el requerimiento de asignaciones individuales en lugar de involucrar activamente a la clase en un ambiente de aprendizaje cooperativo); Intuitivos (mediante el enfoque en las teorías y conceptos de las ciencias básicas de la ingeniería en lugar de concentrarse en el diseño, operaciones, y sus interrelaciones); Pensadores (al requerir análisis abstractos así como al ignorar consideraciones interpersonales); y Juzgadores (al concentrar esfuerzos en seguir el programa del curso y cumplir las fechas de entrega en lugar de una exploración más profunda de las ideas y una resolución creativa de los problemas). En este contexto de este modelo, las fábricas de aprendizaje son complementarias ya que mezclan la lectura catedrática tradicional junto con un practicum basado en laboratorios, lo cual permite una modalidad de desarrollo de producto en la cual el aprendiz extrovertido es permitido experimentar en grupos pequeños de trabajo. Cursos tales como Disección de Productos y Manufactura permiten el desarrollo de una visualización mental y habilidades en el diseño, las cuales motivan al aprendiz sensor. Los trabajos en equipo y proyectos flexibles tienen una fuerte presencia tanto en el salón de clases como en el laboratorio. Este esquema va dirigido a estudiantes sensibles y perceptores que a la vez trabajan en grupo para resolver problemas reales pero considerando las opiniones y relaciones interpersonales. Sin embargo, los plazos de en-

trega y presentación se hacen cumplir, para así evitar la resistencia natural encontrada en los perceptores.

Modelo de Estilos de Aprendizaje de Kolb. En el marco de este modelo, la instrucción tradicional en ingeniería se ha caracterizado por una entrega formal de la información (lectura catedrática), lo cual es únicamente confortable para aquellos aprendices del Tipo 2. Para lograr alcanzar a todos los diferentes tipos de estudiantes, el profesor deberá explicar la relevancia de todo tópico nuevo (Tipo 1), presentar la información básica y la metodología asociada con dicho tópico (Tipo 2), proveer las oportunidades para la práctica de los métodos relacionados (Tipo 3), así como motivar la exploración adicional de las aplicaciones (Tipo 4). Este esquema de enseñanza alrededor del ciclo es adicionalmente complementada con varias acciones: los estudiantes tienen la oportunidad de interactuar en repetidas ocasiones con personal de las industrias permitiendo así que una conexión con el mundo de negocios sea establecida de manera que los aprendices Tipo 1 relacionen la importancia y aplicabilidad del material enseñado en las aulas. Adicionalmente, el instructor sirve como facilitador para el desarrollo de ejemplos y asociaciones adicionales dentro del salón de clases. Estudiantes del Tipo 2 son motivados durante las sesiones de clases y laboratorios en las cuales asignaciones (para ser desarrolladas fuera del salón y que contienen cierta conexión lógica entre ellas) proveen el tiempo necesario para asimilar y reflexionar el material. El ambiente de aprendizaje ideal para estudiantes del Tipo 3 es provisto por las sesiones tipo practicum. En las mismas, la libre experimentación basada en ensayo y error así como la implementación de habilidades motrices toma un lugar importante en actividades tales como procesos de maquinado, moldeado por inyección, fundición en troqueles, vaciados en moldes de arena, desarrollo rápido de prototipos, actividades de ensamblaje, etc. Finalmente, los aprendices del Tipo 4 son influenciados cuando son otorgados la oportunidad de poner en práctica inmediata los conocimientos administrados en clase y aquellas ideas creativas en una instalación localizada en las proximidades. Bajo este ambiente, existen innumerables oportunidades para la creatividad y la experimentación alrededor de problemas que han sido cuidadosamente diseñados.

Instrumento de Dominancia Cerebral de Herrmann (HBDI). En promedio, la dominancia característica de los profesores de ingeniería es un claro y marcado Cuadrante A, y en su mayoría, los profesores desearían que sus estudiantes funcionaran bajo ese modo también [Lumsdaine, 1995]. Consecuentemente, la mayoría de la instrucción en ingeniería se enfoca hacia los Cuadrantes A (análisis) y Cuadrante B (métodos y procedimientos asociados con dicho análisis), ignorando de este modo importantes habilidades y destrezas características de

los Cuadrantes C (trabajo en equipo, comunicaciones) y D (creatividad, resolución de problemas, pensamiento sistemático, síntesis, diseño). Este desbalance representa una situación no muy cómoda para muchos estudiantes, pero en particular afecta al 20-40 % de los estudiantes que ingresan en ingeniería y poseen una fuerte preferencia hacia las modalidades de pensamiento relacionados con los Cuadrantes C y D. De nuevo, el acercamiento de las fábricas de aprendizaje pueden complementar las necesidades de los estudiantes en manufactura al proveer los mecanismos que permiten una rotación en la enseñanza alrededor de los cuadrantes. En el proceso de realizar un producto, los estudiantes comienzan trabajando en equipos desde el inicio, desarrollando diseños varios, tratando de anticipar problemas durante la posterior manufactura, calidad, mercadeo, desempeño, rendimiento e inclusive impacto ambiental de dicho producto. En este acercamiento, existe un gran énfasis en la creatividad demostrada durante a resolución de un problema (Cuadrante D). El proceso es conducido en su totalidad por equipos de tamaño reducido tal que se maximizen las interacciones entre individuos y se permita que estas jueguen un papel fundamental en la sinergia del grupo (Cuadrante C). La propia naturaleza del proceso de desarrollo de productos y manufactura es secuencial (planificación de recursos, planes de producción, planeamiento de procesos, manufactura, secuencias de ensamblado, etc.) y por ende requiere de los correspondientes secuenciamientos lógicos así como los cálculos y estimados analíticos tan característicos de los Cuadrantes A y B. También de impacto en los cuadrantes A, B y D esta el hecho que las actividades semestrales culminan con una exhibición de los proyectos en la cual, mediante el uso de posters y presentaciones de alta calidad, los diferentes equipos presentan sus trabajos ante el cuerpo docente, estudiantil, y de industrias patrocinantes. Estas actividades refuerzan el uso de las habilidades y destrezas concernientes a la comunicación oral y escrita.

Modelo de Estilos de Aprendizaje de Felder-Silverman. Siguiendo este modelo, la gran mayoría de la instrucción en ingeniería durante las últimas décadas ha estado fuertemente sesgada en favor de aprendices intuitivos, verbales, deductivos, reflexivos, y secuenciales. Sin embargo, relativamente pocos estudiantes clasifican dentro de todas y cada una de estas cinco categorías. Esto trae como consecuencia que la mayoría de los estudiantes estén recibiendo una educación que no esta alineada con sus estilos de aprendizaje. Este hecho puede afectar negativamente el desempeño y la actitud con respecto a los cursos y la ingeniería como curriculum y profesión. De una manera complementaria en este marco, las fábricas de aprendizaje se dirigen al aprendiz activo (al incluir actividades participativas y proyectos en equipo a través de las diferentes etapas en manufactura tales como diseño CAD/CAM, planeamiento de procesos, aná-

lisis de manufacturabilidad, ensamblaje, etc.), aprendices sensores (al proveer prácticas guiadas en el laboratorio de maquinaria y herramientas así como al relacionar estas experiencias con el aplicaciones industriales), aprendices globales (al mostrar la visión general de la manufactura e implementarla en la realización de un producto: desde su concepción y diseño hasta su producción, mercadeo, uso, y desecho; también al relacionar estas experiencias con material proveniente de otros cursos), aprendices visuales (al dictar clases con alternativas multimedia, por ejemplo, una de las instituciones académicas mencionadas previamente ha diseñado un módulo instruccional en el cual el estudiante puede aprender acerca de ciertos lineamientos en ensamblaje, por medio de ejemplos gráficos y animados entre otras opciones). En general, la integración de estas actividades a lo largo del curso y durante varios semestres impacta de igual manera a los aprendices secuenciales y globales.

3. CONCLUSIONES

El establecimiento de un consorcio único conformado por universidades, industrias, y gobierno, ha innovado la educación en ingeniería al integrar el diseño, manufactura, y la realidades del negocio dentro del proceso educativo. Este acercamiento ha demostrado ser compatible con las tendencias educacionales del aprendizaje cooperativo, además de ser susceptible al diseño en el contenido de cursos y curricula tal que un espectro mas general de estudiantes pueda ser impactado. Este modelo de instrucción, cuando es apropiadamente diseñado e implementado, ha demostrado ser complementario a la tradicional lectura catedrática y mas atractivo a una fracción mas numerosa de la clase. Es también recomendable reforzar el diseño de los objetivos intruccionales del practicum, dependiendo en el nivel y la relevancia del curso, posiblemente con un acercamiento como el propuesto en la taxonomía de Bloom. El diseño apropiado de los objetivos instruccionales entrenará al estudiante en los diferentes niveles de habilidades de pensamiento (desde los niveles mas básicos de comprensión y aplicación hasta los niveles superiores de análisis, síntesis, y evaluación) y permitirá un ejercicio mas integral del dominio psicomotor del estudiante.

Los productos primarios de este acercamiento se resumen en (i) estudiantes graduados de ingeniería con una preparación superior, conscientes de las realidades de los procesos y negocios, y mejor capacitados para impactar la productividad global del negocio; y (ii) el establecimiento de nuevos paradigmas en la educación de la ingeniería los cuales están basados en un balance apropiado entre el análisis, diseño, procesamiento, e integra-

ción. La mayor dificultad encontrada en este acercamiento y que será sujeto de trabajo a futuro esta en la evaluación y cuantificación de los beneficios educativos provenientes de este acercamiento. Existen publicaciones recientes [Ewell, 1998] que sugieren nuevas tendencias en la evaluación del aprendizaje estudiantil y que pudiesen ser sujeto de futura adaptación en esta aplicación.

Finalmente, es imperativo que las instituciones educativas con programas de ingeniería entiendan la importancia de los estilos de aprendizaje y acometan la tarea de evaluación de dichos estilos, tanto en estudiantes como en profesores. Adicionalmente, se menciona la importancia de entrenar profesores en la instrucción bajo varias modalidades así como en el diseño de actividades instruccionales alrededor de ellas. Las fábricas de aprendizaje son únicamente un mecanismo que permite alcanzar, hasta cierto grado, esta meta en el caso particular de la educación en manufactura.

REFERENCIAS

1. American Society of Engineering Education (ASEE). (1990-1998). Prism Magazine. URL: *¡Error! Marcador no definido..* Washington, D.C.
2. CURRY, L. (1987). Integrating Concepts of Cognitive or Learning Styles: A review with attention to psychometric standards. Canadian College of Health Service Executives. Ottawa, ON.
3. DUNN, R. AND DUNN, K. (1978). Teaching Students through their Individual Learning Styles: A Practical Approach. Reston Publishing. Reston, VA.
4. EWELL, P. (1998). National Trends in Assessing Student Learning. Journal of Engineering Education. pp. 107-113. April
5. FELDER, RICHARD. (1993). Reaching the Second Tier: Learning and Teaching Styles in College Science Education. Journal of College Science Teaching. 23(5). pp.286-290.
6. FELDER, RICHARD. (1998). Matters of Styles. Journal of Engineering Education. ASEE.
7. FELDER, R., AND SILVERMAN, L.K. (1988). Learning and Teaching Styles in Engineering Education. Engineering Education. Vol. 78. April. pp. 674-681.
8. GRIGGS, S.A. (1991). Learning Styles Counseling. ERIC Digest. School of Education. University of Michigan. Ann Arbor. MI.

9. KEEFE, J. W. (1979). Learning Style: An Overview. In NASSP's Student Learning Styles: Diagnosing and Prescribing Programs. National Association of Secondary School Principals. Reston, VA. pp. 1-17
10. KEEFE, J.W. (1989). Learning Style Profile Handbook: Accomodating Perceptual, study, and Instructional Preferences. National Association of Secondary School Principals. Reston, VA. Vol II.
11. LAMANCUSA, J. S., JORGENSEN, J. E., ZAYAS-CASTRO, J. L. (1997). The Learning Factory: A New Approach to Integrating Design and Manufacturing into the Engineering Curriculum. Journal of Engineering Education. ASEE. pp. 103-112. April.
12. LAWRENCE, G. (1994). People Types and Tiger Stripes. 3rd Edition. Center for Applications of Psychological Type. Gainesville, FL.
13. Lumsdaine, M. and Lumsdaine, E. (1995). Thinking Preferences of Engineering Students: Implications for Curricúlm Reestructuring. Journal of Engineering Education. 84(2). pp. 193-204.
14. Myers, I. (1978). Myers-Briggs Type Indicator. Consulting Psychologists Press. Palo Alto, CA.
15. REICHMAN , S.W. AND GRASHA, A.F. (1974). A Rational Approach to Developing and Assessing the Construct and Validity of a Student Learning Style Scale Instrument. Journal of Psychology. 87. pp. 213-223.
16. SCHMECK, R.R. (1983) Individual Differences in Cognition: Learning Styles of College Students. pp. 233-279. Academic Press, New York, NY.
17. Stice, J.(1986). The Kolb Learning-Style Inventory. Proceedings of the Frontiers in Education Conference. American Society of Engineering Education.
18. Witkin, H.A. (1954). Personality Through Perception: An experimental and Clinical Study. Greenwood Press. Westport, CT.

APENDICE: ALGUNOS CASOS DE IMPLEMENTACION DE LOS ESTILOS DE APRENDIZAJE EN ESCUELAS DE INGENIERÍA

En esta sección se presentan algunas maneras en las cuales educadores e instituciones han aplicado los modelos y conceptos relacionados con los estilos de aprendizaje. En la mayoría de los casos, estos estudios

han servido para proveer al estudiantado con una educación que impacta tanto sus fortalezas como sus debilidades en el aprendizaje.

Durante los años ochenta, miles de estudiantes de ingeniería y cientos de profesores tomaron el MBTI como parte de un estudio investigativo conducido por un consorcio formado por ocho escuelas de ingeniería y el Centro para las Aplicaciones de Tipos Psicológicos. Desde entonces, educadores de varias instituciones académicas han podido acceder y usar los resultados de dicho sondeo para mejorar los métodos de enseñanza y asesoría. Profesores en el departamento de ingeniería eléctrica de la Universidad de Indiana (Indianapolis) han estado usando el indicador MBTI como una herramienta de diagnóstico para estudiantes con dificultades académicas. Se cita un caso particular en el cual un ISPJ (Introverso, Sensor, Pensador, Juzgador) había estado teniendo serias dificultades con una clase introductoria de circuitos eléctricos. En este caso, fue posible inferir y confirmar a través de esta herramienta que el estudiante estaba recurriendo en exceso a la memorización como su sistema personal de estudios. El profesor en calidad de asesor logró persuadir al estudiante en la implementación de nuevas estrategias de estudio las cuales estuviesen basadas en un entendimiento fundamental de los conceptos. El rendimiento del estudiante presentó una mejora casi inmediata lo cual le permitió proseguir hasta culminar sus estudios. En otro caso diferente pero en la misma institución, se encontró que un estudiante tipo EIPJ (Extroverso, Intuitivo, Pensador, Juzgador) solía ir directamente al desarrollo y derivación matemática de cada problema en tareas o exámenes (comportamiento que es coherente con extroversos-intuitivos) en vez de utilizar procedimientos de rutina con aquellos problemas de rutina. El desgaste de tiempo derivado de una estrategia como tal, comprometía la finalización del trabajo o examen así como el desempeño en el mismo. Una vez que el estudiante fue orientado y asesorado en este aspecto, comenzó a aplicar sus talentos analíticos cuando el caso lo ameritaba, en lugar de emplearlos indiscriminadamente e ineficientemente.

Con respecto a un modelo diferente, profesores en el departamento de ingeniería química de la Universidad Vanderbilt han estado administrando el inventario de estilos de aprendizaje de Kolb a los estudiantes del último semestre durante los últimos 6 años. En algunas clases, a los estudiantes se les entrega un material escrito que describe diversas formas de comunicación efectiva en las cuatro modalidades de Kolb. Basado en este material, los estudiantes deben desarrollar y presentar su proyecto final de clases de una manera tal que sea atractiva a todo tipo de aprendices. Investigadores en esa institución han encontrado que el enseñar en clase los estilos de aprendizaje ayuda a los estudiantes a asimilar una

mayor cantidad de material, todo esto debido a la creación de consciencia y un entendimiento mayor del proceso de aprendizaje. De una mayor relevancia es el hecho que el estudiante desarrolla habilidades y destrezas interpersonales que son críticas para el éxito de cualquier carrera profesional. En un caso independiente, la facultad de ingeniería de la Universidad Brigham Young inició en 1989 un programa de entrenamiento basado en el modelo de Kolb para el cuerpo docente de esa institución. Aproximadamente un tercio de la población de profesores recibió entrenamiento de una manera voluntaria en los conceptos y métodos de enseñanza asociados a cada modalidad de Kolb. Los voluntarios implementaron inmediatamente estos acercamientos en sus cursos, filmaron y revisaron videocintas de sus propias clases, así como discutieron éxitos y problemas en grupos de enfoque. Los beneficios de dicho programa han sido significativos. Muchos de los profesores, inclusive varios que no asistieron al entrenamiento, han rediseñado sus cursos en un intento de alcanzar un espectro más amplio de estilos de aprendizaje. Esto fue conseguido aplicando una variedad de métodos de enseñanza tales como resolución de problemas en grupo, tormentas de ideas, proyectos que se enfocan en diseños, etc., todo esto complementando la tradicional lectura catedrática. Adicionalmente, discusiones y seminarios acerca de tópicos en la enseñanza se han convertido en actividades frecuentes en el departamento.

En lo que respecta al modelo de dominancia cerebral HBDI, profesores en la facultad de ingeniería de la Universidad Toledo en Ohio, realizaron un estudio en 1990 para determinar los tipos HBDI tanto de estudiantes como de profesores. En dicho estudio, se encontró que la mayoría de los profesores y estudiantes era pensadores de cerebro izquierdo, lógicos, analíticos, verbales y secuenciales. Sin embargo, la data proveniente del mismo estudio indicaba un fuerte roce con aquellos pensadores de cerebro derecho lo cual se traducía en retiros de la carrera aun cuando el desempeño en los cursos analíticos era superior. En un artículo publicado por dos profesores en esta institución [Lumsdaine and Lumsdaine, 1995], se concluía que "una razón dominante por la cual un estudiante de ingeniería cambia su preferencia vocacional es debida al clima de aprendizaje tan inhóspito que se encuentra en la ingeniería, y que no se ajusta a sus preferencias individuales de pensamiento". Los autores de este trabajo estuvieron involucrados en una revisión del curriculum de ingeniería mecánica que encontró que el programa estaba sesgado hacia pensadores con habilidades y destrezas propias del cerebro izquierdo. Gracias a este estudio, se concentraron esfuerzos en la búsqueda de un mejor balance en las actividades. En este caso en particular, se añadieron actividades que se enfocaban en la creatividad, diseño, innovación, y trabajo en equipo, en ciertos cursos seleccionados. Un curso en

particular, "Introducción a la Computación" consistía originalmente en un 20% de actividades del Cuadrante A (programación estructurada) y un 80% de actividades del Cuadrante B (aplicación de secuencias y lineamientos en rutinas de programas). La versión rediseñada involucra aproximadamente 20% de actividades relacionadas con cada uno de los Cuadrantes A y B, y un 30% para cada uno de los Cuadrantes C y D (experimentos, formulación de preguntas, diseño, modelaje, y optimización). Conjuntamente, los estudiantes trabajan en equipos de trabajo formados por el profesor tal que cada grupo refleje un balance de los tipos HBDI presentes. Los niveles de rendimiento de los estudiantes y las actitudes hacia los cursos ganaron terreno considerable gracias a estos cambios. En este estudio en particular se encontró que el modelo HBDI sirve para el propósito de ayudar a los estudiantes a comprender sus propios estilos de aprendizaje y así formular estrategias de aprendizaje que sean exitosas, así como para ayudar a los instructores a entender las preguntas de los estudiantes y contestarlas en el contexto apropiado. Finalmente, se encontró esta herramienta útil en la identificación y formación de grupos de trabajo de *cerebro entero* para una óptima resolución de problemas.

El modelo Felder-Silvermann fue desarrollado en la Universidad del Estado de Carolina del Norte a principios de los años noventa, y desde entonces ha sido y continua siendo evaluado en esa institución y muchas otras alrededor del mundo. El departamento de ingeniería civil de la Universidad del Oeste de Ontario en Canadá, ha usado este modelo para evaluar los estilos de aprendizaje de los estudiantes y profesores involucrados en el primer año de ingeniería. En este contexto, se encontró que los miembros docentes eran significativamente más reflexivos, intuitivos, y secuenciales que los propios estudiantes. Los resultados de este estudio sugieren que los profesores pudiesen mejorar la instrucción en ingeniería al incrementar el uso de métodos orientados hacia aprendices activos (actividades participativas, equipos de trabajo), sensores (prácticas guiadas, aplicaciones reales del material dictado en clase), y globales (al proveer los macroesquemas y visiones, al mostrar conexión entre el material del curso y la experiencia del estudiante).

En una experiencia distinta, algunos profesores en el departamento de ingeniería química de la Universidad de Michigan están desarrollando módulos multimedia que se dirigen al espectro completo de preferencias Felder-Silverman. Algunas observaciones preliminares provenientes de esta experiencia han resultado en lo siguiente: aprendices sensores y visuales se inclinaron por las de-

mostraciones; aprendices sensores prefirieron tener acceso a la derivación de ecuaciones (las cuales probablemente no fueron asimiladas en su totalidad cuando se presentaron en clase por vez primera); así como que los aprendices activos, sensores, y visuales tienen una preferencia por el material en videocintas más marcada que su contraparte, los estudiantes reflexivos, intuitivos, y verbales. En otra experiencia en el desarrollo de software basado en estilos de aprendizaje, profesores de la Academia Militar de los Estados Unidos han desarrollado lo que denominan un paquete hipermedia para la instrucción de un curso en ciencias de la computación o sistemas de información. Cada lección comienza listando los objetivos y es seguida por presentaciones diferentes de un mismo material de clase. Cada una de estas presentaciones esta diseñada para un estilo de aprendizaje diferente. Por ejemplo, los estudiantes pueden aprender como instalar una unidad de disco a través de una clásica presentación en diapositivas o powerpoint, así como alternativamente tienen la opción de aprender el mismo material a través de gráficos, animaciones, y películas. Esta última opción resultaría más atractiva para los aprendices visuales y globales. En la Universidad del Estado de Carolina del Norte, el profesor Richard Felder ha estado usando este modelo para el diseño instruccional en el marco de un estudio longitudinal de la educación en ingeniería. Este modelo ha sido implementado en cinco cursos secuenciales de ingeniería química de una manera que resulta atractiva para un amplio rango de estilos. El material del curso fue presentado de una manera inductiva, transitando de los hechos y fenómenos familiares hacia las teorías y modelos matemáticos, en lugar de usar el esquema tradicional en el cual los fundamentos son enseñados antes que las aplicaciones. Adicionalmente, ejemplos reales de la ingeniería de procesos fueron usados para ilustrar los principios más básicos, se programaron numerosas visitas a plantas y oportunidades para experiencias en los laboratorios, y se redujo el tiempo de lectura por parte del profesor a través de un incremento de las actividades de aprendizaje activo en clase. De igual manera, el acercamiento de aprendizaje cooperativo fue implementado extensamente y los estudiantes fueron motivados a deducir así como a enseñarse los unos a los otros en lugar de depender exclusivamente en el instructor. Hasta la fecha, los resultados provenientes de este experimento sugieren que la enseñanza dirigida hacia el espectro completo de estilos de aprendizaje mejora significativamente la satisfacción del estudiante con respecto a su educación así como también impacta positivamente su autoestima.

El Terremoto de Cariaco del 9 de julio de 1997

Ingenieros María Barreiro y

Alfonso Malaver

Facultad de Ingeniería, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela.

RESUMEN

El 9 de Julio de 1997 ocurrió un terremoto de magnitud 6,8 a unos 10 km al noreste de la población de Cariaco, Estado Sucre. El sismo causó 73 muertos, 522 heridos y 6.800 damnificados, así como el colapso de 5 edificios de concreto armado y daños graves en 2007 viviendas unifamiliares. Los mayores daños se concentraron en Cariaco donde colapsaron 4 edificios, dos de ellos educacionales causando la muerte a 30 estudiantes y en Cumaná, ubicada a 70 Km del epicentro, donde colapsó el otro edificio provocando la muerte de 21 personas. En este trabajo se presenta una síntesis de la historia sísmica y la geología del Estado Sucre; se muestran y discuten las intensidades asignadas, siendo la máxima de VIII en las poblaciones de Cariaco, Chiguana y Casanay. Se comentan los efectos geológicos y de suelos observados; se presenta una evaluación de los daños estructurales reportados en edificaciones y viviendas; igualmente, se presenta un análisis de los daños en centros de salud, centros educacionales y líneas de vida. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas del trabajo realizado.

INTRODUCCIÓN

El día 9 de Julio de 1997 a las 3h 24' 19,8" p.m. hora legal de Venezuela (19h 24' 10,8" GMT) un terremoto de magnitud 6,8 fue sentido fuertemente en la región

oriental del país. El epicentro del sismo fue ubicado entre las poblaciones de Cariaco y Casanay, Estado Sucre, en las coordenadas 10,545° N y 63,515° W con una profundidad focal estimada de 10 km (Funvisis, 1997).

El terremoto causó 73 muertos, 522 heridos y 6.800 damnificados, así como el colapso de 5 edificaciones de concreto armado y de unas 300 viviendas unifamiliares.

El terremoto causó daños graves en Cariaco, Casanay, Chiguana, Campoma, San Antonio del Golfo, Marigüitar y Cumaná; fue sentido en Caracas, 300 km al oeste del epicentro, y en la isla de Margarita, 40 km al norte del epicentro. Los daños materiales se estiman en unos 53 millones de bolívares (100 millones de dólares).

HISTORIA SÍSMICA

El Estado Sucre está ubicado en la región oriental de Venezuela, la cual es considerada la de más alta actividad sísmica. De acuerdo a Grases (1994) en el período 1530-1996 en Estado Sucre han ocurrido 14 sismos con intensidad mayor o igual a VII, 12 con intensidad mayor o igual a VIII y 3 con intensidad superior o igual a IX (Tabla 1). El primer terremoto reportado fue el ocurrido el 1-9-1530, el cual provocó un maremoto y víctimas; en tanto, el más destructor fue el ocurrido el 17-1-1929 con magnitud 6,9 que dejó un saldo de 50 muertos y 800 heridos.

TABLA 1

TERREMOTOS DESTRUCTORES OCURRIDOS EN EL ESTADO SUCRE EN EL PERIODO 1530-1996 ($I_0 \geq VII$)

FECHA	LOCALIDAD MAS AFECTADA	MAG (Ms)	IMM (I ₀)	OBSERVACIONES
01-09-1530	Cumaná	?	X	Maremotos; víctimas
04-05-1684	Cumaná	?	VIII	Daños en construcciones
21-10-1766	Carúpano	?	VIII	Daños y víctimas
10-09-1794	Cumaná	6,0	VIII	Daños y víctimas
14-12-1797	Cumaná	6,2	VIII	16 muertos; casas y edificios dañados.
?-08-1823	Cariaco	6,4	VIII	Casas arruinadas y agrietadas
15-07-1853	Cumaná	6,7	IX	Maremoto; 113 muertos
17-08-1874	El Pilar	6,1	VIII	Ruina de Iglesia y daños en edificaciones
07-06-1900	Casanay	5,8	VII	Destrucción de viviendas
17-01-1929	Cumaná	6,9	IX	Daños en la ciudad; 50 muertos y 800 heridos. Maremotos
10-04-1957	Río Caribe	6,9	VIII	Extensos daños materiales
20-09-1968	Güiria	7,2	VIII	3 muertos y 27 heridos; daños graves en viviendas y edificios
12-06-1974	Casanay	6,1	VIII	3 muertos y 20 heridos; 1000 viviendas y algunos edificios dañados
11-06-1986	El Pilar	5,9	VII	3 muertos y 45 heridos; pérdidas materiales estimadas en 5 millones de bolívares

GEOLOGÍA REGIONAL

En Venezuela la sismicidad se reparte principalmente a lo largo de una ancha franja de unos 100 km aproximadamente, definida por los sistemas montañosos andinos, centrales y orientales. Los sismos que ocurren a lo largo de la referida franja son superficiales, ya que su profundidad es menor de 70 km.

Desde el punto de vista geodinámico, los tres sistemas orográficos mencionados corresponden al afrontamiento de las placas tectónicas del Caribe al norte y América del Sur al sur. El límite principal entre éstas dos placas tectónicas se define a lo largo del sistema de fallas dextrales de Boconó (región occidental), San Sebastián (región central) y El Pilar (región oriental); la velocidad del movimiento relativo a lo largo de este sistema de fallas es de aproximadamente 1 cm/año (Soulas, 1986). Como consecuencia del funcionamiento dextral de este sistema de fallas, la placa del Caribe se desplaza hacia el este con respecto a la placa de América del Sur.

Las fallas más importantes de la región oriental además de la falla de El Pilar, la cual atraviesa el Estado Sucre de este a oeste, son: (i) al sur: Urica, San Francisco, Río San Juan, Los Bajos y El Soldado y; (ii) al norte: El Yaque, Patao Sur, tres Puntas y Sur de los Testigos (Figura 1).

ESTUDIO DE INTENSIDAD

Para evaluar los daños causados por este terremoto, se realizó un estudio de intensidad en un área de aproximadamente 20.000 km², visitando unos 35 caseríos, pueblos y ciudades en los Estados Sucre, Monagas y Anzoátegui. Se efectuaron unas 150 encuestas de intensidad. La asignación de intensidades se realizó usando la escala de Mercalli Modificada (Brazee, 1980) tomando como base las encuestas realizadas, así como información publicada en la prensa local y nacional. En la Figura 2 se presenta la distribución de intensidades, en la cual puede observarse que la intensidad máxima asignada fue de VIII y corresponde a las poblaciones de Cariaco, Chiguana y Campoma ubicadas en el área epicentral. A la ciudad de Cumaná, la capital del Estado Sucre, se le asignó una intensidad general de VI, aunque en dicha ciudad en algunas zonas se observó licuación, desplazamiento lateral y daños estructurales en edificaciones, incluso el colapso de un edificio de seis niveles.

Es de hacer notar que de acuerdo al patrón de daños observados, la liberación de energía ocurrió básicamente del epicentro hacia el Oeste, esto es, hacia Cumaná.

REGISTROS ACELEOGRÁFICOS

De acuerdo a la información suministrada por FUNVISIS (EERI 1997), sólo se obtuvieron dos registros acelerográficos a raíz del sismo de Cariaco. Dichos registros corresponden a estaciones ubicadas en suelo tipo roca en la Ciudad de Cumaná, distante unos 70 km del epicentro; las aceleraciones máximas fueron de 0,10g y 0,17g con duraciones de 23 y 45 segundos respectivamente (EERI, 1997).

EFFECTOS GEOLÓGICOS

El terremoto produjo una ruptura superficial a lo largo de la falla de El Pilar de más de 30 km entre las poblaciones de Muelle de Cariaco hacia el Oeste del epicentro y las Vegas al este. Esta ruptura de unos 3 a 4 metros de ancho, podría ser mayor lo cual no puede apreciarse ya que hacia San Antonio del Golfo se pierde la traza en el mar y hacia el este por la densa vegetación no se puede seguir la ruptura de la traza. El desplazamiento horizontal alcanza un máximo de 40 cm a unos 3 kilómetros de Casanay (Audemard, 1997).

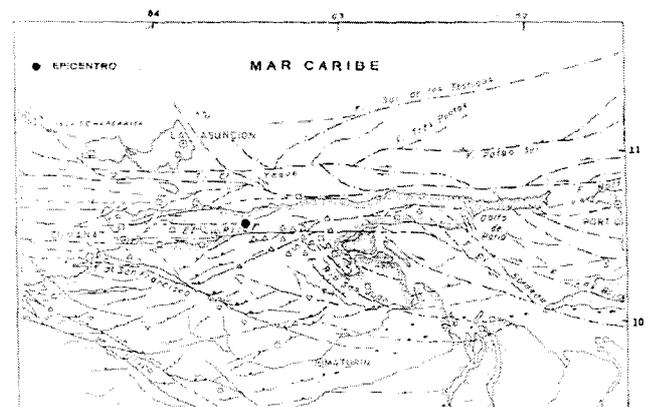


Figura 1 Fallas Activas en el Oriente de Venezuela (Funvisis), 1993

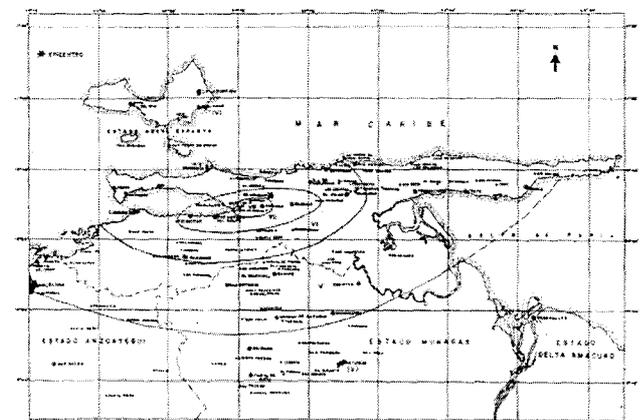


Figura 2 Mapa de Isosista del Sismo de Cariaco del 9-07-97

EFFECTOS EN EL SUELO

Como consecuencia del sismo se presentó el fenómeno de licuefacción y de desplazamiento lateral en varios sitios entre Cumaná y Casanay, en áreas cercanas al mar y márgenes de ríos.

En Cumaná se observó licuefacción en los barrios El Guapo, Boca del Río y El Peñón causando daños en viviendas unifamiliares (Foto 1), en tanto desplazamiento lateral se presentó en el muelle pesquero (Foto 2) y en el Terminal del Ferry.

En Marigüitar también se observó licuefacción en un terreno ganado al mar en una planta industrial, el cual había sido compactado por procedimientos dinámicos; en ese mismo terreno también se observó desplazamiento lateral (Foto 3). En otra área de esa misma planta se produjeron daños importantes por desplazamiento lateral que casi provoca el colapso de las tablestacas que soportaban el muelle de la planta.

En San Antonio del Golfo se observó el desplazamiento lateral a lo largo del malecón que separa la carretera del mar y en Cariaco también se vio licuefacción en áreas ubicadas en las márgenes del río Cariaco.

DAÑOS ESTRUCTURALES

El sismo causó el colapso de 5 edificios: uno en Cumaná y 4 en Cariaco, así como daños estructurales en edificaciones de concreto armado en Cariaco, Casanay, Marigüitar y Cumaná; igualmente, se reportaron daños graves en 2007 y parciales en 2680 viviendas unifamiliares.

A continuación se presenta una síntesis de los daños observados en edificaciones y viviendas unifamiliares.

Escuela Valentín Valiente, Cariaco. Esta edificación de concreto armado de 2 niveles (PB + 1PT) y planta rectangular fue construida en el año 1955; su sistema estructural está conformado por pórticos de vigas altas en la dirección transversal y de vigas planas en la longitudinal. Las paredes de la edificación son de bloques huecos de concreto que llegan hasta 2/3 de la altura, lo cual induce a que se presente el efecto de columnas cortas.

El colapso parcial de la edificación se debió probablemente a fallas por columnas cortas y de las uniones viga-columna (Foto 4). El edificio se desplazó a lo largo de la dirección longitudinal, la más flexible, antes de colapsar.

Liceo Raimundo Martínez, Cariaco. Es un edificio de concreto armado de 3 niveles (PB + 2PT) construido en 1989. La planta del edificio está conformada por dos cuerpos en forma de C separados unos centímetros con un patio central. La estructura está formada por once pórticos en dirección transversal y seis en dirección longitudinal todos con vigas altas; las losas son nervadas de espesor 25 cm; las paredes son de bloques huecos de arcilla que en muchos casos llegan sólo hasta 2/3 de la altura de la columna, facilitando la creación de columnas cortas.

Los daños en el edificio consistieron en el colapso del nivel planta baja en ambos cuerpos, debido probablemente a la presencia de columnas cortas y falta de refuerzo transversal, lo cual condujo a las fallas de columnas, vigas y juntas (Foto 5). En este liceo murieron unos 30 estudiantes.

Edificio Miramar, Cumaná. Esta edificación de concreto armado de 8 niveles (S+PB+MEZ+6PT) fue construida en 1979 y diseñada con el Código MOP-67. El sistema estructural era tipo aporticado con vigas altas en una dirección y vigas planas en la otra; en el área de escalera y ascensores existían muros de concreto. La planta del edificio era rectangular, aunque en los niveles de planta baja y mezzanina tenían un área de un 30% mayor que la de los otros niveles.

Esta edificación colapsó en forma de panqueca (Foto 6), causando la muerte a 22 personas. Entre las posibles causas de la falla de este edificio, están: (i) La distribución asimétrica de rigideces debido a la ubicación en un extremo de los muros de la escalera y ascensores (ii) la falta de acero de refuerzo transversal en algunas uniones viga-columna; (iii) la doble altura a nivel de planta baja en la fachada principal, en particular en el área opuesta a la zona donde estaban colocados los muros.

Otros edificios colapsados, Cariaco. Los otros tres edificios que colapsaron en Cariaco fueron: (a) un hotel en proceso de construcción de concreto armado de 3 niveles y cuya causa de colapso se atribuye a mala calidad de construcción; (b) un edificio de dos niveles de concreto armado donde funcionaba una panadería, cuyo colapso también se atribuye a deficiencias en el diseño y mala calidad de construcción; (c) antigua edificación del Banco Obrero de concreto armado donde funcionaba una entidad bancaria y en el cual un área (50% del total) tenía dos niveles y la otra un sólo nivel con doble altura. El colapso parcial de esta edificación se atribuye a una deficiente concepción estructural; esto es, gran concentración de rigideces en una esquina y muy poca en la opuesta, así como a la falta de refuerzo transversal por lo antiguo de la edificación.

Edificio Toyota, Cumaná. Esta edificación de concreto armado de 3 niveles (PB + 2PT) y planta rectangular, fue diseñada con la Norma COVENIN 1756-87, actualmente vigente. El sistema estructural es del tipo aporticado en ambos sentidos, conformado por 4 pórticos en sentido longitudinal y 6 en sentido transversal. Esta edificación sufrió severos daños estructurales en columnas a nivel de planta baja, particularmente en las perimetrales de la fachada lateral derecha (Foto 7). Igualmente, se observaron daños graves en la tabiquería en los niveles planta baja y primer nivel. Las columnas perimetrales se comportaron como columnas cortas debido a la presencia de un parapeto tipo Jardinería de 1,10 m de altura (Foto 8); Adicionalmente, la concentración de rigidez en las fachadas principal y lateral izquierda contribuyó también al daño de las columnas perimetrales. La columna más dañada resultó ubicada en el extremo opuesto al área de mayor rigidez, esto es la correspondiente a la unión de las fachadas posterior y lateral derecha (Foto 8).

Viviendas unifamiliares. Las viviendas típicas de Cariaco, Casanay y pueblos circunvecinos son de bahareque, las cuales constan de columnas y viguetas de madera con techos relativamente pesados constituidos por tejas de arcilla sobre una base de barro y caña amarga; en algunos casos una cubierta de zinc colocada sobre viguetas de madera sustituye al techo tradicional de teja y caña amarga. Las paredes de estas viviendas están, en general, construidas por barro mezclado con fibra vegetal y colocado entre varillas de madera horizontales; éstas son fijadas a cada lado de las columnas de madera. En algunos casos también se observaron paredes construidas a base de adobes de barro (ladrillos de barro no cocidos). En la Foto 9 se presentan los daños característicos de este tipo de vivienda.

De acuerdo con FUNREVI (1997), el número de viviendas afectadas fue de 4687, de las cuales 2007 colapsaron total o parcialmente y 2680 presentaron daños parciales.

CENTROS DE SALUD

Como consecuencia del terremoto se inspeccionaron un total de 21 centros de salud ubicados en la zona donde se reportaron daños; esto es, entre Cumaná y Río Casanay. Como resultado de la inspección, la cual fue coordinada por FUNDASALUD (1997), se encontró que 14 centros sufrieron daños de tabiquería y uno solo presentó daños en su estructura.

A continuación se presenta una síntesis de los daños observados en los 2 hospitales más importantes del Estado Sucre:

Hospital Antonio Patricio Alcalá. Este hospital ubicado en Cumaná, consta de un edificio principal de 11 niveles y cuatro edificios anexos de 2 niveles cada uno; todos los edificios tienen planta rectangular, son de concreto armado y fueron construidas a mediados de la década de los 60.

Como consecuencia del sismo de Cariaco, en el edificio principal se observaron algunas grietas en el nivel 2 y fisuras en el nivel 3 en la tabiquería; en los cuatro edificios anexos no se reportaron daños. Debido a la sacudida sísmica en el edificio principal se volcaron algunos muebles y equipos que no estaban bien anclados.

Hospital Santos Dominici. El edificio principal de este hospital ubicado en Carúpano, consta de dos alas de forma rectangular unidas entre sí por los pasillos de circulación. El sistema estructural está conformado por 4 pórticos en la dirección transversal y 10 en la longitudinal; el edificio posee en el ala este siete niveles (4 PT + M + PB + S) y seis en el ala oeste, ya que en lugar de la mezzanina la planta baja tiene doble altura.

Como consecuencia del terremoto, el edificio principal no presentó ningún daño estructural en sus vigas y columnas. Sin embargo, se observaron daños en la tabiquería, siendo mayores en los niveles inferiores que en los superiores.

CENTROS EDUCACIONALES

De acuerdo al resultado de la evaluación realizado por la Fundación de Edificaciones y Dotaciones Educativas-FEDE (1998) en un total del 590 centros educacionales inspeccionados, resultaron 37 edificaciones con daños graves que ameritaron su demolición; 62 con fallas estructurales importantes, 398 con daños estructurales leves y/o daños de tabiquería y 93 sin ningún daño.

LÍNEAS DE VIDA

Vías de Comunicación. Como consecuencia del terremoto se reportaron daños en varias carreteras, entre los cuales destacan los siguientes: (i) **Carretera Casanay-San José de Aerocuar:** Grieta transversal a lo ancho de toda la vía con desplazamiento de unos 30 cm debido al movimiento de la falla geológica (Foto 10);

(ii) **Carretera Cariaco-Carúpano (Troncal 10)** Grieta longitudinal de unos 200 m de largo a la salida de Cariaco debido probablemente a fallas del terreno (Foto 11). (iii) **Carretera Cariaco- Casanay (Troncal 9):** Grieta transversal a todo lo ancho de la carretera debido al movimiento de la falla geológica ;(iv) **Carretera San Antonio del Golfo - Cariaco:** A la altura de San Antonio del Golfo se observó una separación entre la carretera y el muro de contención del mar (malecón), debido probablemente a un deslizamiento lateral del malecón hacia el mar.

Sistemas de Abastecimiento de Agua. Se reportaron daños en los acueductos de Cariaco, Casanay y Cumaná, así como en la tubería que lleva agua desde tierra firme a las Islas de Margarita y Coche.

Los daños en las tuberías fueron causados por deslizamientos del terreno, vibraciones y por desplazamientos permanentes de la falla geológica. En la Foto 12 se ilustra el daño sufrido por un tubo del acueducto Cariaco-Casanay por desplazamientos permanentes de la falla geológica.

El servicio de agua estuvo interrumpido por varios días en varias zonas de las poblaciones de Cariaco, Casanay, Cumaná, Marigüitar, Muelle de Cariaco y Carúpano. Igualmente, el servicio de agua estuvo interrumpido para las Islas de Coche y Margarita durante varios días.

Sistema de Electricidad y Teléfono. El servicio de electricidad en el área epicentral (Cariaco-Casanay) estuvo suspendido desde algunas horas hasta varios días por la caída de algunos postes de electricidad. En el sistema telefónico no se reportaron daños importantes, aunque éste estuvo fuera de servicio por varias horas en las principales ciudades afectadas por el sismo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De las experiencias recopiladas en este trabajo se pueden derivar las siguientes conclusiones:

- Tomando en cuenta que la magnitud del terremoto fue de 6,8, consideramos que los daños registrados fueron moderados, particularmente en la zona epicentral.
- La mayoría de las víctimas que ocasionó el terremoto se debió al colapso de dos edificios escolares en Cariaco y uno de oficinas en Cumaná.
- Los colapsos de los edificios de Cariaco y el de Cumaná, se debieron probablemente a fallas en su concepción estructural y defectos constructivos.

- El número elevado de viviendas que fueron afectadas por el terremoto se debió fundamentalmente a lo siguiente: (i) construcción de bahareque con techo relativamente pesado y pobre calidad de construcción; (ii) viviendas con paredes de bloques y techo liviano sin arriostramiento entre las paredes y el techo.

- El colapso del edificio Miramar debe ser estudiado en detalle, ya que edificios similares no presentaron daños. Por tanto, es probable que dicho colapso fuese debido a fallas propias de su estructuración y construcción.

- El colapso del Liceo Raimundo Martínez debe ser estudiado en detalle para determinar las causas del mismo, ya que este tipo de edificación se construye en otras zonas del país con alto peligro sísmico.

- El colapso de la Escuela Valentín Valiente indica la necesidad de que las edificaciones escolares existentes sean revisadas para adecuarlas a la normativa sismorresistente vigente.

- Los efectos locales producidos por el sismo en Cumaná, esto es licuación y deslizamientos laterales, indican la necesidad de zonificar esa ciudad en función de sus características geotécnicas.

- Se debe ampliar y mantener la Red de Acelerógrafos del Oriente del país a fin de garantizar que eventos poco frecuente como el terremoto de Cariaco sean debidamente registrados y por ende puedan ser estudiados para obtener lecciones que mejoren el diseño sismorresistente de nuestras edificaciones.

REFERENCIAS

- AUDEMARD, F. (1997). Comunicación personal
- BRAZEE, R. J. (1980). "Reevaluation of Modified Mercalli Intensity Scale for Earthquake Using Distance as determinant." NOAA, Technical Memorandum EAIS, NGSDC-4, Boulder, Colorado.
- EERI (1997). The July 8, 1997 Cariaco, Eastern Venezuela Earthquake. Newsletter, October, V. 31, Oakland, California.
- FEDE (1988). FEDE ante la Emergencia del Estado Sucre. Diario El Nacional, 5-01-98, Caracas.
- FUNDASALUD (1997). Informes de Evaluación Visual de Centros de Salud como Consecuencia del Terremoto de Cariaco. Proyecto Salud Sucre, Cumaná, Estado Sucre.

FUNREVI (1997). Viviendas Afectadas por el Terremoto del 9 de Julio de 1997- Informe N° 3. Cumaná, Edo. Sucre.

FUNVISIS (1997). Reporte Sismológico. Departamento de Sismología, Funvisis, Caracas, Julio.

FUNVISIS (1993). Mapa Neotectónico de Venezuela, Escala 1:2.000.000. Departamento de Ciencias de la Tierra.

GRASES, J. (1994). Venezuela, Amenazas Naturales: Terremotos, Huracanes y Maremotos. Gráficas Monfort, Caracas.

SOULAS, J. (1986). Neotectónica y tectónica activa en Venezuela y regiones vecinas. In: Memorias del VI Congreso Geológico Venezolano, Caracas. 10: 6640-6656.



Foto 1 Conos de arena por licuación en el barrio El Peñón, Cumaná



Foto 2 Desplazamiento lateral en el muelle pesquero, Cumaná



Foto 3 Desplazamiento lateral en terreno compactado en planta industrial en Marigüitar

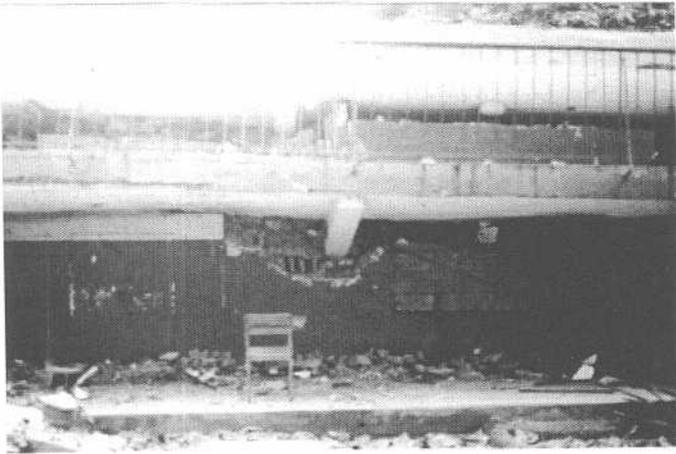


Foto 4 Detalle de falla en columna corta en la escuela Valentín Vatiante, Cariaco

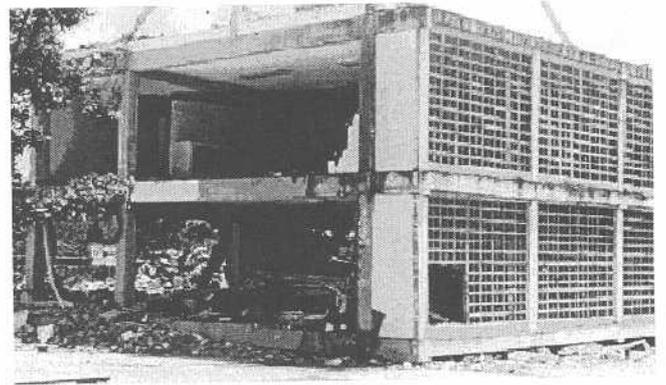


Foto 5 Vista general del colapso del nivel planta baja en el liceo Raimundo Martínez en Cariaco



Foto 6 Vista general del colapso del edificio Miramar. Nótese la forma de panqueca en que quedaron las placas.



Foto 7 Columnas perimetrales dañadas en la fachada lateral derecha. Nótese la ausencia de tabiquería y la presencia de jardinería

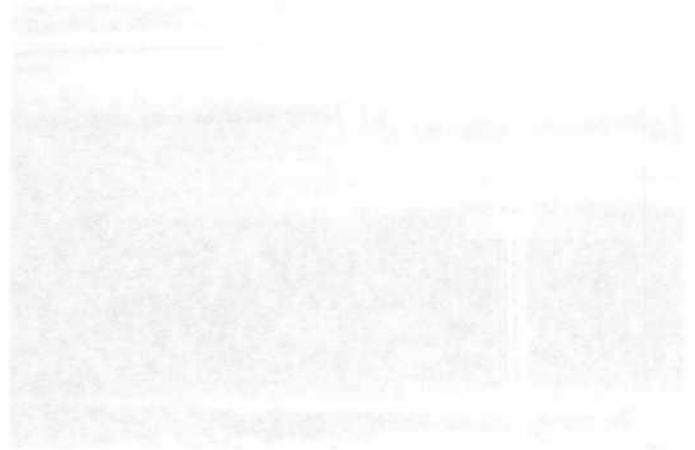


Foto 8: Detalle de la columna más dañada (D6) Nótese la altura de la jardinería

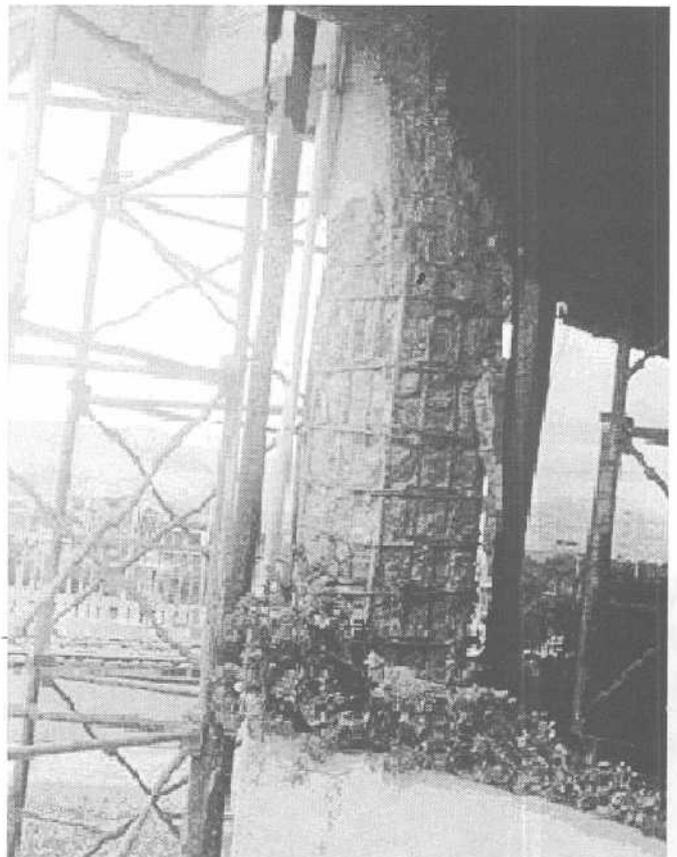


Foto 8: Detalle de la columna más dañada (D6) Nótese la altura de la jardinería



Foto 9 Vista general de una calle de Cariaco tres días después del terremoto. Nótese la calidad del material de las viviendas colapsadas

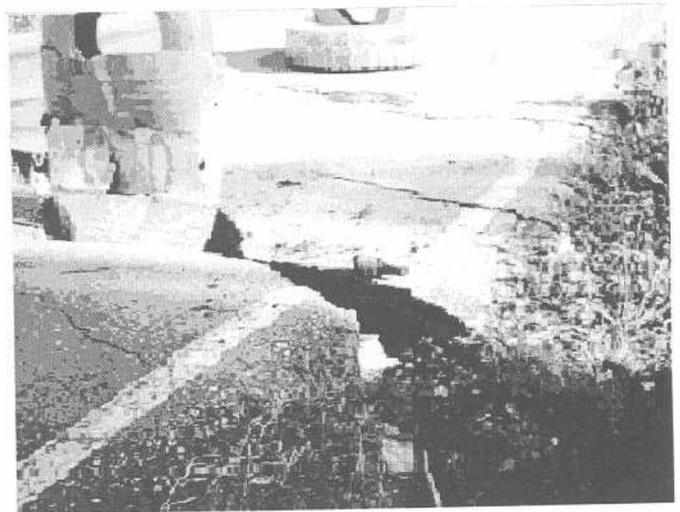


Foto 10 Desplazamiento lateral de unos 30 cm. Debido al movimiento de la falla geológica.



Foto 11 Grieta longitudinal de unos 200 metros debido a fallas del terreno. (foto cortesía L.Montes).

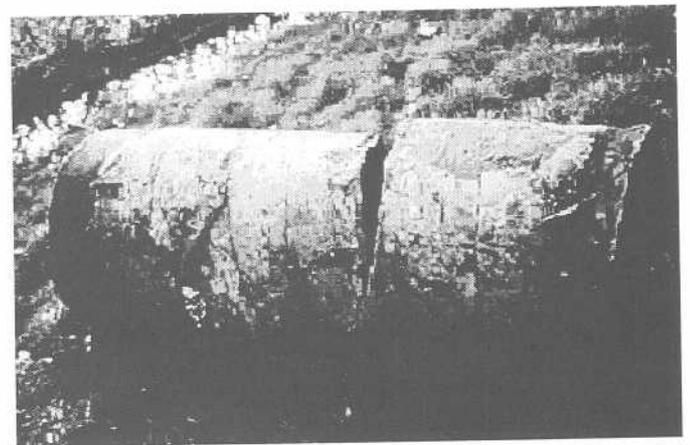


Foto 12 Tubo-dañado por desplazamiento permanente de falla geológicas

Distribución Espacial de Núcleos Electrocrystalizados. PARTE 1

J. Mostany

B.R. Scharifker

A. Serruya

*Departamento de Química, Escuela de Ingeniería Industrial,
Universidad Católica Andrés Bello, Apartado 29068, Caracas 1021, Venezuela*

J. Mostany y B.R. Scharifker

Departamento de Química, Universidad Simón Bolívar, Apartado 89000, Caracas 1080-A, Venezuela

Se compararon las distribuciones de las distancias de los vecinos más cercanos para distintos ordenamientos de partículas sobre el plano: distribución aleatoria, discos impenetrables, redes cuadradas y hexagonales. Estas fueron representadas en unidades de longitud adimensional definidas como la distancia más probable de encontrar al vecino más cercano para partículas uniformemente distribuidas. La representación adimensional presenta la ventaja de eliminar la densidad de partículas como variable de la distribución; de esta forma es posible determinar, a partir de las distribuciones de las distancias entre los vecinos más cercanos, las reglas de colocación de las partículas en el plano.

INTRODUCCIÓN

La etapa inicial de los procesos donde se desarrollan transformaciones de fases, como la condensación de un gas o la aparición de un precipitado en solución, corresponde a la formación de pequeñas estructuras denominadas núcleos. Este proceso se conoce como nucleación y se presenta en todas las transformaciones de fases de primer orden.

La nucleación de una fase nueva puede producirse por variación ya sea en la composición, la presión o la temperatura y en sistemas electroquímicos por variaciones en el potencial eléctrico. Experimentalmente los procesos de nucleación electroquímica se estudian mediante técnicas potenciostáticas. La respuesta del sistema a

un pulso o escalón de potencial es un transitorio de corriente que presenta una forma característica, mostrando, después del decaimiento de la corriente debido a la carga de la doble capa electroquímica, un aumento de la corriente producido por la formación y crecimiento de núcleos y una caída posterior originada por la disminución de la concentración de la especie electroactiva en las cercanías de la superficie del electrodo [1].

Una vez establecidas las condiciones termodinámicas que garantizan la viabilidad de la fase nueva, aparecen sobre un determinado número de sitios activos en la superficie del electrodo los gérmenes de dicha fase. La velocidad de aparición de los núcleos puede estar limitada por el número de sitios o por la disminución del área disponible de la superficie para la nucleación. Un núcleo es un conjunto de átomos, termodinámicamente estable con un tamaño mayor al crítico y que crece tridimensionalmente a una velocidad determinada por el transporte de masa desde el seno de la solución hacia él. Las condiciones locales del flujo de masa generan un campo difusional hemisférico alrededor de cada núcleo, dentro del cual la concentración de la especie electrodepositante es menor que la correspondiente en el seno de la solución. Para tiempos lo suficientemente largos, la única fuente de material es la que proviene perpendicularmente al electrodo. El resultado es que alrededor de los núcleos en crecimiento se genera una zona de inhibición del proceso de nucleación que afecta la distribución espacial de los núcleos que se van generando [2-6]. Un esquema de este fenómeno se presenta en la Fig. 1.

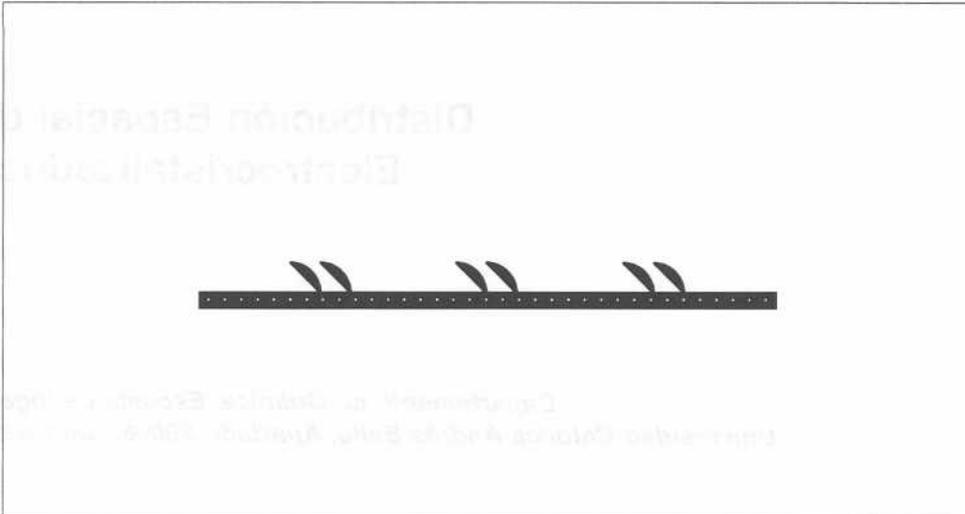


Figura 1: Representación de la superposición de campos difusionales alrededor de núcleos en crecimiento provocando cambios en la simetría del proceso de transporte de masa de esférico a plano y zonas de inhibición de la nucleación alrededor de los núcleos.

A medida que la nucleación avanza las zonas de inhibición del proceso recubren cada vez más área de la superficie del electrodo, provocando por un lado un valor de saturación de la densidad numérica nuclear y, por otro, una distribución espacial característica de los núcleos sobre la superficie. Este arreglo espacial se puede estudiar mediante el análisis de la distribución de las distancias de los vecinos más cercanos a cada núcleo [4,5,7,8].

Distribución espacial de núcleos. Distribución de las distancias de los vecinos más cercanos

El efecto del vecino más cercano sobre una partícula es de importancia en sistemas de varios cuerpos donde las partículas interactúan entre sí. Para cuantificar este fenómeno se requiere conocer la probabilidad de encontrar al vecino más cercano a cierta distancia de una partícula de referencia. Evaluando las probabilidades sobre todas las partículas del sistema se obtiene la distribución de las distancias de los vecinos más cercanos. Hertz fue el primero en describir la distribución de los vecinos más cercanos para un sistema de partículas puntuales uniformemente distribuidas [9,10]. Sea $P(r)$ la probabilidad de encontrar al vecino más cercano de una partícula a una distancia r , puede evaluarse considerando el producto de la probabilidad de no encontrar partícula

las a una distancia menor que r y la probabilidad de encontrar una partícula en la zona comprendida entre r y $r + dr$:

$$dP(r) = p(r)dr = \left[1 - \int_0^r p(x)dx \right] 2\pi Nrdr \quad (1)$$

donde N es la densidad numérica de partículas. La ecuación anterior puede expresarse en función de $P(r)$ e integrarse obteniéndose:

$$P(r) = 1 - \exp(-\pi Nr^2) \quad (2)$$

como $dP(r) = p(r)dr$, la ecuación anterior se transforma en:

$$p(r)dr = 2\pi Nr \cdot \exp(-\pi Nr^2) \quad (3)$$

esta expresión corresponde a la función de densidad de probabilidad de los vecinos más cercanos para partículas distribuidas bidimensionalmente según Poisson.

A partir de la función de distribución se pueden determinar parámetros como la distancia promedio entre los vecinos más cercanos:

$$\langle D \rangle = \int_0^{\infty} r p(r) dr = \frac{1}{(\pi N)^{1/2}} \int_0^{\infty} x^{1/2} e^{-x} dx = \frac{1}{2\sqrt{N}} \quad (4)$$

La función de probabilidad (3) de vecinos más cercanos cuyos centros de crecimiento se encuentran distribuidos uniformemente en el plano presenta un máximo a una distancia $r_m = (2\pi N)^{-1/2}$, lo cual permite representarla adimensionalmente en función de esta longitud, Fig. 2,

$$(2\pi N)^{-1/2} p(r) = (2\pi N)^{1/2} r \cdot \exp\left[-1/2\{(2\pi N)^{1/2} r\}^2\right] \quad (5)$$

con lo que la distribución se hace independiente de la densidad de partículas. Esta representación también normaliza la distribución, obteniéndose:

$$\int_0^{\infty} (2\pi N)^{1/2} r \cdot \exp\left[-1/2\{(2\pi N)^{1/2} r\}^2\right] (2\pi N)^{-2} dr = 1 \quad (6)$$

La expresión de las distribuciones en unidades $(2\pi N)^{-1/2}$ las hacen extremadamente útiles para la discusión de las funciones de probabilidad que son importantes en la descripción de la distribución espacial de núcleos sobre electrodos ya que eliminan la densidad de partículas como parámetro de la distribución y sólo reflejan el ordenamiento de los núcleos sobre el plano [7,11-14]. En otros sistemas electroquímicos, por ejemplo corrosión [15,16], se ha estudiado la distribución espacial de picaduras a partir de la distribución de las distancias de los vecinos más cercanos.

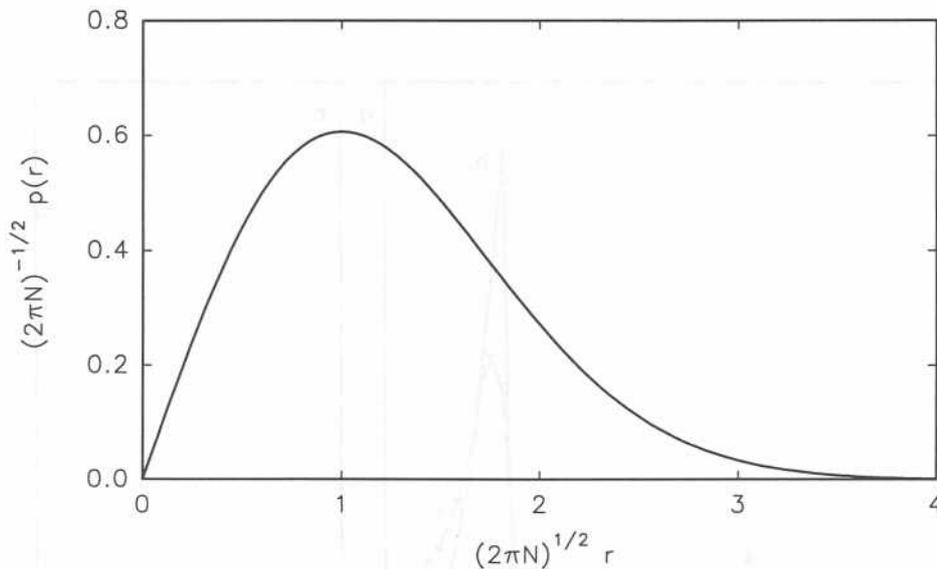


Figura 2: Representación adimensional de la distribución de las distancias de los vecinos más cercanos para un conjunto de partículas uniformemente distribuidas. Presenta un máximo a la distancia $r_m = (2\pi N)^{-1/2}$.

En sistemas perfectamente ordenados tales como las redes cuadradas o hexagonales, la distancia que separa a cada centro de su vecino más cercano será la misma para todos los centros y la probabilidad de encontrarlo será a la distancia adimensional $N^{-1/2}/(2pN)^{-1/2} = (2p)^{1/2} = 2.507$ para la red cuadrada, y $(4p/\sqrt{3})^{1/2} = 2.694$ para la red hexagonal. Así, la densidad de probabilidad de encontrar al vecino más cercano a distancias menores o mayores a la característica es 0, mientras que a la distancia característica es 8.

En el caso de discos impenetrables de radio $s/2$ que presentan libertad de movimiento, Torquato y colaboradores [17] han deducido la siguiente expresión para la distribución de las distancias de los vecinos más cercanos:

$$p(r') = \frac{4\theta[2(r') + \theta]}{(1-\theta)^2} \exp\left[\frac{-4\theta}{(1-\theta)^2} [((r')^2 - 1) + \theta(r'-1)]\right] \quad (7)$$

donde $r' = r/s$ y $q = Np(s/2)^2$, es la fracción de superficie recubierta por los discos. La ec. (7) se cumple para $r' > 1$, si $r' < 1$ entonces $p(r') = 0$. El valor de la co-

bertura de interés para nosotros corresponde al empaquetamiento compacto aleatorio de los discos, q_c , el cual se ha estimado que está dentro del intervalo 0.79 a 0.84 [18]. Otra distribución correspondiente a discos impenetrables es aquella en que se encuentra restringido su movimiento. Para discos estáticos de tamaño uniforme ubicados aleatoriamente o al azar el empaquetamiento máximo estimado es $q_m \approx 0.5$ [7].

En la Fig. 3 se muestran en unidades de longitud adimensional la distribución de los vecinos más cercanos para los distintos ordenamientos de partículas descritos anteriormente. El arreglo con el mínimo grado de restricciones corresponde al de partículas distribuidas al azar (Poisson). La distribución de los vecinos más cercanos es ancha con un máximo de probabilidad a distancias más cortas. Al imponer la restricción de que cada partícula esté rodeada de una región en donde no puede existir otra, discos impenetrables de tamaño uniforme, se reduce el intervalo de valores de r donde la función de densidad adopta valores no nulos y aumenta la distancia del máximo de densidad, así como su valor. Para arreglos ordenados las funciones de densidad se comportan como una función δ , que presenta un valor fijo para la distancia interparticular, la cual es mayor para la distribución hexagonal que para la cuadrada.

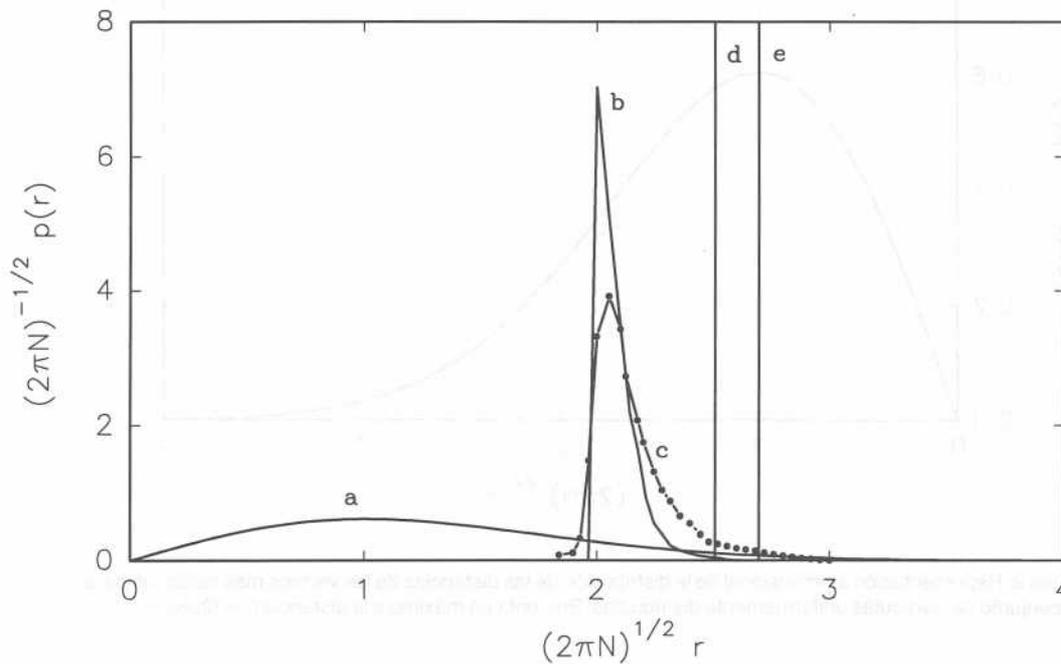


Figura 3: Distribuciones de probabilidad de las distancias de los vecinos más cercanos, en unidades adimensionales, para partículas uniformemente distribuidas (a); discos duros móviles, ec. (7), con $q = 0.49$ (b); discos estáticos de tamaño uniforme con empaquetamiento máximo aleatorio [7], (c); partículas en red cuadrada (d) y hexagonal (e).

Las características propias del crecimiento de núcleos hemisféricos controlados por el transporte masa provoca inhibición de la nucleación alrededor de los núcleos en crecimiento o, si se quiere dispersión de las velocidades de nucleación a lo largo de la superficie [19-21]. Las interacciones entre los núcleos generan por lo tanto correlaciones en sus posiciones que, como hemos descrito aquí, pueden ser estudiadas a partir de la distribución de las distancias de los vecinos más cercanos, dado que está claro que estas funciones de distribución son sensibles al ordenamiento de las partículas en el plano. Por otro lado, la ventaja primordial de la representación adimensional es que podemos comparar cada distribución experimental con la distribución teórica correspondiente a casos hipotéticos: distribución aleatoria de puntos en el plano, discos impenetrables, redes cuadradas o hexagonales y otras, eliminando así la necesidad de tomar en cuenta el valor de la densidad numérica nuclear para el análisis de cada distribución experimental. En su forma adimensional, la distribución de los vecinos más cercanos sólo representa la regla de colocación de las partículas. A medida que aumenta el ordenamiento de las partículas, la distancia más probable para encontrar al vecino más cercano, en unidades $(2pN)^{-1/2}$, también aumenta.

REFERENCIAS

- 1.- M. PALOMAR-PARDAVÉ, M.T. RAMÍREZ, I. GONZÁLEZ, A. Serruya y B.R. Scharifker, *J. Electrochem. Soc.*, 143 (1996) 1551
- 2.- I. MARKOV, A. BOYNOV Y S. TOSCHEV, *Electrochim. Acta*, 18 (1973) 377.
- 3.- I. MARKOV, THIN SOLID FILMS, 35 (1976) 11.
- 4.- A. MILCHEV, E. VASSILEVA Y V. KERTOV, *J. Electroanal. Chem.*, 107 (1980) 323.
- 5.- B.R. SCHARIFKER, *ACTA CIENT. VENEZ.*, 35 (1984) 211.
- 6.- J.H.O.J. WIJENBERG, W.H. MULDER, M. SLUYTERS-Rehbach y J.H. Sluyters, *J. Electroanal. Chem.*, 256 (1988) 1.
- 7.- B.R. SCHARIFKER, J. MOSTANY Y A. SERRUYA, *Electrochim. Acta*, 37 (1992) 2503.
- 8.- A. MILCHEV, *Electrochim. Acta*, 28 (1983) 947.
- 9.- P. HERTZ, *MATH. ANN.*, 67 (1909) 387.
- 10.- S. CHANDRASEKHAR, *Rev. Mod. Phys.*, 15 (1943) 1.
- 11.- A. SERRUYA, J. MOSTANY Y B.R. SCHARIFKER, *J. Chem. Soc. Faraday Trans.*, 89 (1993) 255.
- 12.- J. MOSTANY, A. SERRUYA Y B.R. SCHARIFKER, *J. Electroanal. Chem.*, 383 (1995) 37.
- 13.- A. SERRUYA, B.R. SCHARIFKER, I. GONZÁLEZ, M.T. OROPEZA Y M. Palomar-Pardavé, *J. Appl. Electrochem.*, 26 (1996) 451.
- 14.- A. MILCHEV, W.S. KRUIJT, M. SLUYTERS-REHBACH Y J.H. SLUYTERS, *J. Electroanal. Chem.*, 362 (1993) 21.
- 15.- R.C. Salvarezza, A.J. Arvia y A. Milchev, *Electrochim. Acta*, 35 (1990) 289.
- 16.- M. REUTER Y E. HEUSLER, *Electrochim. Acta*, 35 (1990) 1809.
- 17.- S. TORQUATO, B. LU Y J. RUBINSTEIN, *Phys. Rev. A*, 41 (1990) 2059.
- 18.- J. G. BERRYMAN, *PHYS. REV. A*, 27 (1983) 1053.
- 19.- I. MARKOV Y D. KASHCHIEV, *J. CRYST. GROWTH*, 16 (1972) 170.
- 20.- R.L. DEUTSCHER Y S. FLETCHER, *J. Electroanal. Chem.*, 299 (1990) 1.
- 21.- S. FLETCHER, *ELECTROCHIM. Acta*, 28 (1983) 917.

Propuesta para la Recuperación, Operación y Mantenimiento de Sistemas de Ventilación en Túneles de Carretera

Caso específico: TÚNEL BOQUERÓN I

*Rafael Fernando Campo Curiel (1), Luis Bernardo De Sá Fernández (1)
y Francois Ucciani (2)*

(1) Tesista, Ingeniería Industrial, UCAB.

*(2) Profesor Guía, Ingeniería Mecánica, Industrias METALAIRES, C.A.,
Mariche.*

RESUMEN

La necesidad de recuperar el sistema de ventilación del Túnel Boquerón I por parte de la empresa encargada de la manutención de la Autopista Caracas-La Guaira, ICAPEV C.A., y por la comunidad en general, ha motivado la elaboración de esta propuesta cuyo objetivo es diseñar un sistema de ventilación capaz de asegurar la calidad del aire en cualquier túnel de carretera, basado en las recomendaciones de las Normas Internacionales «Permanent International Association of Road Congress», PIARC; junto con un plan de mantenimiento preventivo para garantizar el buen funcionamiento y la vida útil de los equipos.

I.- AUDITORÍA TÉCNICA DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN ACTUAL DEL TÚNEL BOQUERÓN I.

I.1.- Infraestructura existente.

El sistema de ventilación consta de 19 ventiladores Vena-axiales, donde 15 de ellos actúan como inyectores y los 4 restantes como extractores, los cuales trabajando en combinación inducen un flujo de aire de ventilación en el interior del túnel.

Estos ventiladores están conectados, mediante ductos de acero, a un plenum de ventilación (ducto prin-

cipal) construido con concreto, dividido en tres secciones para el túnel de subida y en dos para el de bajada. Estas secciones se encuentran físicamente separadas por paredes de concreto. El plenum de ventilación se extiende a lo largo del túnel sobre las vías de circulación automotor, separados entre sí por un plafón de concreto, el cual posee ranuras de inyección transversal distribuidas convenientemente a lo largo de los dos canales de circulación. La inyección de aire fresco y limpio se produce en tres puntos en el túnel de subida y en dos en el de bajada, mientras que la extracción se produce sólo en un punto en el túnel de subida al nivel de la galería de circulación, el cual coincide físicamente con una de las cuatro aberturas transversales que comunican a ambos túneles, logrando así extraer un porcentaje de aire viciado de las dos galerías.

Cada uno de estos puntos tiene tres ventiladores en paralelo, a excepción del punto de extracción que consta de cuatro.

Las tomas de aire fresco de los ventiladores están ubicadas hacia la montaña, con el fin de garantizar la pureza del aire en la inyección. El sistema de extracción es transversal y descarga el aire viciado directamente al valle de la montaña a través de un túnel corto. En cuanto al estado físico de los ductos de aire como la infraestructura general de los túneles se encuentra en buenas condiciones a excepción de algunas zonas de los plafones donde existen pequeñas rupturas del mismo.

I.2.- Estado operativo del Sistema

Actualmente el sistema de ventilación no se encuentra en funcionamiento ni en condiciones de poder

operar debido al mal estado de los equipos provocado por las condiciones ambientales severas de la zona (humedad, salitre) y la falta de mantenimiento, que han llevado a la corrosión de la carcasa, rotor y partes metálicas de los ventiladores así como daños en los motores. El sistema eléctrico colapsó producto de la desidia y del hurto de sus componentes y del cableado.

1.3.- Grado de contaminación existente y puntos críticos de ventilación

En el año 1979, el MARNR, por solicitud del MTC, realizó mediciones de los niveles de contaminación del Monóxido de Carbono (CO) existentes en los túneles Boquerón I y Boquerón II. No se midieron los dañados, que el túnel está lleno (3600 veh/h) y circulan a 15 Km/h. El valor máximo de contaminación que arrojó esta simulación es de 2515 ppm a 1470 m del portal Norte.

Según el análisis de los valores y las gráficas realizadas con los datos del MARNR, se pudo observar que los niveles críticos de contaminación se alcanzan en el canal de subida alrededor de los 1100 m. del portal Norte y en el canal de bajada alrededor de los 1300 m del portal Sur.

1.4.- Mantenimiento del sistema de ventilación

Por el grado de deterioro que presentan las unidades de ventilación e infraestructura, se puede evidenciar que no ha existido un mantenimiento preventivo apropiado a todo el sistema. Existe cierta diversidad de daños presentes en los ventiladores como por ejemplo (para el año 1995), el desbalanceo de las aspas, la destrucción de rodets, varios arrancadores dañados, etc., que reflejan la falta de un mantenimiento correctivo permanente, el cual se manifiesta en la inoperabilidad del sistema.

Las salas de los ventiladores se encuentran habitadas por palomas y otros animales cuyas heces han contribuido al deterioro físico de los equipos y los vidrios de las ventanas están en su mayoría rotos, especialmente los de la fachada frontal, contribuyendo a que el aire contaminado proveniente de los portales forme parte del aire fresco que entra a las salas de ventilación.

1.5.- Seguridad en caso de incendio

El sistema de ventilación actual no cumple con las normas internacionales vigentes que garantice la rápida y segura evacuación de los usuarios en caso de un incendio provocado dentro del túnel. Para lograr esta condición es necesario contar con la reversibilidad del flujo de aire (ventiladores reversibles) de tal manera que se induzca el humo hacia el punto de ventilación más conveniente concediendo un área libre para el desalojo de las personas sin sufrir lesiones (intoxicaciones, asfixias).

1.6.- Normas y regulaciones para gases contaminantes

No existe en Venezuela ninguna Ley que regule el nivel de contaminación permisible en túneles de carretera ni las emisiones de los gases contaminantes de los vehículos. La única referida a la contaminación provocada por los vehículos es la que existe en la Ley Penal del Ambiente del año 1992 donde se menciona que el nivel de opacidad permisible para los vehículos con motores diesel no debe exceder las 40 unidades Hartridge.

1.7.- Posibilidad de Recuperar los Equipos Existentes

Revisando el presupuesto entregado por Industrias Metalaire C.A. a la empresa ICAPEV C.A. el 14 de mayo de 1997, se aprecia que es muy viable la recuperación de la mayoría de los equipos existentes.

Para esta fecha, la cotización de la recuperación del sistema es de Bs. 288.194.503. Este presupuesto engloba la recuperación total de los equipos de ventilación existentes con sus accesorios sin ningún tipo de modificación en el diseño del sistema actual de ventilación.

En vista de que los ventiladores no son reversibles el sistema de ventilación no cumple con las Normas Internacionales contra incendio (requisito básico para el diseño). Por esta razón no es recomendable reacondicionar estos equipos para un nuevo sistema de ventilación acorde con las exigencias actuales.

II.- PROPUESTA PARA LA RECUPERACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN DEL TÚNEL BOQUERÓN I.

II.1.- Datos del Túnel

El Túnel Boquerón I se encuentra ubicado en un ambiente rural, con gran afluencia de vehículos por lo que se considera, simultáneamente, un túnel de tipo urbano. Los parámetros de construcción, uso, así como del ambiente que lo rodea se resumen en la tabla # II.1.

Parámetro	
Tipo de túnel según PIARC	Rural-Urbano
Número de galerías	2
Uso por galería	Unidireccional
Número de vías por galería	2
Longitud	1845 m.
Altura del túnel	4,40 m.
Ancho del túnel	8,81 m.
Ancho de la vía	7,43 m.
Area transversal	37,36 m ² .
Altura del ducto de suministro	1,6 m.
Ancho del ducto de suministro	6,0 m.
Area transversal del ducto de suministro	7,31 m ² .
Altitud Portal Norte	336 m.
Altitud Portal Sur	401 m
Temperatura promedio	21 °C
Pendiente del camino	3,5%
Tipo de sistema de ventilación instalada	Semi-transversal

Tabla # II.1

Características del Túnel Boquerón

II.2.- Tráfico del Túnel

El parque automotor que circula por la autopista Caracas-La Guaira está compuesto por vehículos de pasajeros impulsados por motores a gasolina, microbuses (en donde el 30% aproximadamente, utiliza gasolina o

gas natural como combustible y el resto diesel), autobuses y camiones de mediano y gran peso, que trabajan con motores diesel. La composición porcentual depende del día y del horario de circulación; pero el promedio general (aproximado), excluyendo las horas picos, se puede apreciar en el gráfico # II.1.

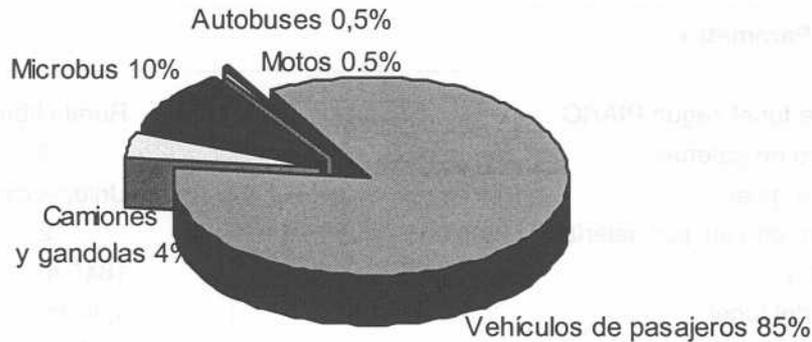


Gráfico # II.1

Composición promedio del tráfico de la autopista Caracas - La Guaira

Día	Sentido La Guaira - Caracas		Sentido Caracas - La Guaira	
	Hora	Flujo máximo [veh/h]	Hora	Flujo máximo [veh/h]
De Lunes a Viernes	De 6:00 am a 9:00 am	2500	De 6:00 am a 9:00 am	2000
	De 5:00 pm a 8:00 pm	1900	De 5:00 pm a 8:00 pm	2300
Sábado	De 1:00 pm a 5:00 pm	1700	De 6:00 am a 1:00 pm	2500
	De 5:00 pm a 8:00 pm	2100	De 1:00 pm a 8:00 pm	1600
Domingo	De 1:00 pm a 6:00 pm	2700	De 6:00 pm a 8:00 pm	2400
	De 6:00 am a 12:00 pm	3200	De 12:00 pm a 8:00 pm	1100

Tabla # II.2

Flujo máximo en función del día y horario de circulación

Fuente: MTC (Marzo 1997) y MAXIPISTA (May-Sep 1997)

En la tabla # II.2 se aprecia en resumen, los flujos máximos de vehículos en distintos horarios, determinados a partir del análisis de los conteos realizados.

Se efectuaron distintos escenarios de operación para el diseño del sistema de ventilación tomando en cuenta la composición porcentual de vehículos por categorías (automóviles, autobuses, camiones, etc.), en función del horario de circulación y del tráfico normal y crítico a distintas velocidades.

II.3.- Factores de emisión.

El hecho de que el parque automotor venezolano sea relativamente viejo (65% viejos y 35% nuevos, según un muestreo efectuado en la autopista) y la tasa de renovación baja, comparada con los países industrializados, conlleva a niveles altos de contaminación.

II.3.1.- MONÓXIDO DE CARBONO

Para estimar el valor del CO emitido por los vehículos se realizó un promedio ponderado del promedio de los factores básicos de emisión de las distintas normas internacionales en cuanto a emisiones de gases contaminantes y fueron ajustados dependiendo de la velocidad, la altitud y el gradiente del camino. Los resultados se muestran en la tabla # II.3.

	Sentido Norte-Sur	Sentido Sur-Norte
Km/h	Qo(m ³ /h.veh)	Qo(m ³ /h.veh)
10	0,842	0,486
40	0,969	0,559
60	1,053	0,608
80	1,179	0,680

Tabla # II.3
Factor básico de emisión del CO corregido
II.3.2.- Óxidos de Nitrógeno

Para estimar el valor de los NO_x emitidos por los automóviles de pasajeros se realizó un promedio ponderado del promedio de los factores básicos de emisión de distintas normas internacionales en cuanto a emisiones de gases contaminantes y fueron ajustados dependiendo de la velocidad, altitud y gradiente del camino. Los resultados se muestran en la tabla # II.4 y II.5.

Km/h	Qo(m ³ /h.aut o)	Qo(m ³ /h.M- Bus)	Qo(m ³ /h.cam)
10	0,014	0,072	0,202
40	0,054	0,268	0,750
60	0,080	0,400	-
80	0.152	-	-

Tabla # II.4

Factor básico de emisión de los NO_x corregido- Sentido La Guaira- Caracas

Km/h	Qo(m ³ /h.aut o)	Qo(m ³ /h.M- Bus)	Qo(m ³ /h.cam)
10	0,005	0,027	0,076
40	0,020	0,101	0,281
60	0,030	0,150	-
80	0,057	-	-

Tabla # II.5

Factor básico de emisión de los NO_x corregido-Sentido Caracas-La Guaira

V.3.3.- PARTÍCULAS DIESEL (HUMOS)

Los vehículos que utilizan el combustible diesel como fuente de energía son los principales generadores de este contaminante capaz de disminuir considerablemente la visibilidad

en túneles de carretera. Entre estos vehículos se encuentran los camiones y autobuses como los mayores contribuyentes. En la tabla # II.6 se muestran los factores básicos de emisión ajustados.

Km/h	Sentido La Guaira-Caracas		Sentido Caracas-La Guaira	
	Qo(m ² /h.M-Bus)	Qo(m ² /h.cam.)	Qo(m ² /h.M-Bus)	Qo(m ² /h.cam.)
10	201,83	458,65	59,67	183,6
40	456,30	1038,65	66,69	205,2
60	789,75	-	66,69	-

Tabla # II.6

Factor básico de emisión de las partículas diesel (humos) corregido

II.4.- CAUDALES DE DILUCIÓN REQUERIDOS.

II.4.1.- INYECCIÓN

A partir de los escenarios propuestos juntamente con los factores básicos ajustados, se determinaron los caudales mínimos de dilución de los distintos contaminantes, en la cual se tomó el valor de la concentración admisible dentro del túnel para el CO de 200 ppm y de la constante de extinción para los humos diesel de $9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ (40% de visibilidad). Estos valores son los recomendados por las Normas PIARC, en donde el primero re-

presenta un promedio entre el nivel admisible para un tráfico congestionado y la clausura del túnel, y el segundo para un tráfico congestionado o estacionario. Para los NO_x se tomó el valor de 20 ppm, valor inferior al recomendado por las Normas COVENIN n° 2250-90 para lugares de trabajo (25 ppm), analogía realizada en vista del desconocimiento de Normas Nacionales referentes a túneles de carretera. En las tablas # II.7 y II.8 se resumen los caudales necesarios para los distintos contaminantes en función del escenario estudiado para su situación de mayor riesgo (10 km/h y túnel lleno).

ESCENARIOS	Q(ft ³ /min)		
	CO	NO _x	Humos
Día hábil hora: 6:00 am - 9:00 am	1.101.046	244.961	440.769
Día hábil, hora: 9:00 am - 10:00 am	725.973	250.948	819.493
Día hábil, hora: 10:00 am - 5:00 pm	776.011	201.503	435.876
Día hábil, hora: 5:00 pm - 8:00 pm	864.700	184.059	282.482
Día Sábado, hora: 5:00 pm - 8:00 pm	955.721	267.469	660.590
Día Domingo, hora pico crítica: 6:00 pm - 8:00 pm	1.123.019	236.091	343.362

Tabla # II.7

Caudales de dilución requeridos para los distintos escenarios de operación
Sentido La Guaira-Caracas

ESCENARIO	Q(ft ³ /min)		
	CO	NO _x	Humos
Día hábil, hora: 6:00 am - 9:00 am	522.482	83.797	136.576
Día hábil, hora: 9:00 am - 5:00 pm	446.353	99.239	231809
Día hábil, hora: 5:00 pm - 8:00 pm	600.855	94.478	146.139
Sábado, hora: 6:00 am - 1:00 pm	635.145	104.453	184.211
Domingo, hora: 6:00 am - 12:00 m	625.712	85.849	100.220

Tabla # II.8

Caudales de dilución requeridos para los distintos escenarios de operación

Sentido Caracas - La Guaira.

Los caudales de dilución que se tomaron en cuenta para ambas galerías de circulación, en el diseño del sistema de ventilación corresponden al resultado mayor observado en el estudio que se realizó para los distintos escenarios. En el sentido La Guaira-Caracas el punto crítico se presenta los días Domingo, entre las 6:00 y 8:00 pm, el cual necesita un caudal de 1.1123.019 ft³/min, y en el sentido contrario los días Sábado de 6:00 am a 1:00 pm., con un caudal de 635.145 ft³/min.

II.4.2.- EXTRACCIÓN.

El caudal estimado para la sala de extracción proviene del 25% del aire inyectado en el túnel de subida y del 50% del aire inyectado en el túnel de bajada. El flujo de aire impulsado por el efecto pistón de los vehículos

hacia el portal Norte y el flujo natural del aire que viaja en sentido contrario, trae como consecuencia la generación de turbulencias a lo largo del túnel y por ende un barrido pobre de los gases existentes, problema que podrá ser mitigado por la extracción y el direccionamiento del aire mediante este caudal estimado, el cual, para los cuatro ventiladores operando en conjunto, corresponde al 35% del aire inyectado en ambas galerías de circulación.

II.4.3.- INCENDIO .

En el caso de un incendio, los ventiladores trabajarán en sentido contrario, extrayendo el humo lo más rápido posible. Esto se logra empleando el caudal máximo que puede manejar el ventilador. Con esto se puede garantizar las velocidades de extracción aproximadas, en cada sección de ambas galerías, mostradas en la tabla # II.8. (La velocidad mínima recomendada por las Normas PIARC es 787 ft/min).

Sección	Sentido La Guaira-Caracas			Sentido Caracas-La Guaira	
	1 ^{ra}	2 ^{da}	3 ^{ra}	1 ^{ra}	2 ^{da}
Velocidad de extracción (ft/min)	787	1023	1003	789	806

Tabla # II.8

Velocidades de extracción del humo de incendio en cada sección de las galerías de circulación

II.5.- Pérdidas de Carga en el Plenum de Ventilación.

Una vez obtenido los caudales de dilución de contaminantes requeridos para cada una de las galerías de circulación del túnel, se procedió a determinar la forma

de realizar la introducción del aire fresco. Para ello se empleó una rutina de cálculo con las que se determinaron las pérdidas de presión total. En la tabla # II.9 se muestran las presiones totales obtenidas.

Sección	Sentido La Guaira-Caracas			Sentido Caracas-La Guaira		
	1 ^{ra} *	2 ^{da}	3 ^{ra}	Extracción	1 ^{ra} *	2 ^{da}
Caudal (CFM)	99.822	138.295	136.216	154.500	104.103	107.612
Presión Total ("w.g)	2,73	6,56	6,40	3,08	4,83	5,31

*Primera sección a partir del portal Norte

Tabla # II.9

Caudal máximo y presión total de cada ventilador a ser instalado en el túnel Boquerón I.

II.6.- SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS Y ACCESORIOS

V.6.1.- SELECCIÓN DE LOS VENTILADORES

Para la selección de los ventiladores se tomaron en cuenta los siguientes factores:

- **Caudales máximos y presiones totales:** mostrados en la tabla # II.9.

- **Espacio disponible:** Las salas de ventilación poseen una infraestructura para albergar tres ventiladores con diámetros nominales comprendidos entre 1,8 y 2.06 m., por lo que la selección de los nuevos debe ser similar, a saber el sistema de ventilación constará de 15 ventiladores reversibles nuevos y 4 recuperados para realizar la extracción.

- **Nivel de ruido:** El nivel de ruido de los ventiladores no debe exceder los 90 dB para un máximo de 8 horas de exposición y 115 dB para un máximo de 15 min.

- **Condiciones ambientales:** Los equipos de ventilación deben estar diseñados para soportar las características del ambiente del túnel al que están sometidos, en

caso normal (humedad, salitre, contaminación, etc.) o especial (temperaturas elevadas producto del humo de incendios).

- **Reversibilidad del sistema:** La manera de controlar el humo producto de un incendio dentro del túnel es mediante la reversibilidad del sistema de ventilación.

- **Potencia y eficiencia de los ventiladores:** Con todos los puntos expuestos anteriormente, se analizaron distintas curvas de ventiladores reversibles tomando en cuenta la eficiencia y potencia consumida, y por recomendaciones de la empresa METALAIRES C.A, se seleccionaron los ventiladores descritos en la tabla # II.10.

V.6.2.- ACCESORIOS

En el área de la ventilación existe una gama de accesorios que contribuyen al mejoramiento del flujo del aire, reducción de ruidos, seguridad, uniones, etc. Para el sistema de ventilación propuesto se recomienda la instalación de los siguientes accesorios:

- Dampers
- Silenciadores
- Cono en la succión de los ventiladores
- Malla de protección en la succión
- Junta flexible

Sección	Sentido Norte-Sur				Sentido Sur-Norte	
	1 ^{ra} *	2 ^{da}	3 ^{ra}	Extracción	1 ^{ra} *	2 ^{da}
Tipo:	Tuboaxial Reversible	Tuboaxial Reversible	Tuboaxial Reversible	Venaxial Unidireccional	Tuboaxial Reversible	Tuboaxial Reversible
Diametro del impeler [mm]	1.995	1.995	1.995	2.060	1.995	1.995
Diametro del cubo	1.000	1.000	1.000	1.100	1.000	1.000
Caudal (CFM)	100.000	138.300	136.300	154.500	104.200	107.700
Presión Total ("w.g)	2,73	6,56	6,40	3,08	4,83	5,31
Eficiencia (%)	88,0	83,2	83,2	76,0	87,0	87,4
Nº de alabes	16	16	16	6	16	16
Inclinación Alabes	18º	26º	25º	Setting 3,0	16º	17º
Pot. máx. consumida. (HP)	49	173	165	99	91	103
Pot. máx. del motor (HP)	58	207	198	120	110	124
Ruido [Db (A)]	104	112	110	109	106	106
R.P.M.	713	891	891	1160	891	891
Características	575V-3F 60Hz	575V-3F 60Hz	575V-3F 60Hz	575V-3F 60Hz	575V-3F 60Hz	575V-3F 60Hz
Velocidad aire salida [PPM]	2.957	4.090	4.031	4.306	3.082	3.185

*Primera sección a partir del portal Norte

Tabla # II.10

Características de cada ventilador a ser instalado en el túnel Boquerón I.

V.6.3.- SENSORES

La propuesta consta de la automatización del sistema de ventilación. El sistema recomendado es la serie VICOTEC 400, en su versión 404 y 405 de la empresa SICK, las cuales miden conjuntamente CO/visibilidad y CO/NO/visibilidad, respectivamente; (con un rango de medida para el CO de 0 a 300 ppm, NO de 0 a 100 ppm y Visibilidad de 0 a 0,015 m⁻¹) junto con el dispositivo FLOWSIC 200 usado para medir la velocidad y dirección del aire en el túnel (con un rango de medida de -20 m/s a +20 m/s), para garantizar el barrido de los gases contaminantes.

Las respuestas de las mediciones obtenidas por los sensores son enviadas a una unidad evaluadora (VCA 400), la cual las procesa y envía las señales correspon-

dientes a un Controlador Lógico Programable (PLC), quien se encarga de analizar la información y enviar la respuesta inmediata hacia unos variadores de frecuencia propuestos para ser conectados a los ventiladores.

Los variadores de frecuencia alimentan a los ventiladores y los hace funcionar con mayor o menor número de revoluciones por minuto, reflejándose en los caudales, consumiendo sólo la energía necesaria para un escenario de operación en particular. El número de velocidades determinado es cuatro.

Los sensores para la medida de los niveles de gases contaminantes estarán ubicados como lo indica la tabla # II.11.

Sensor	Sentido La Guaira Caracas*	Sentido Caracas La Guaira**	Motivo
VICOTEC 405	1.500 m.	1.200 m	Punto con mayor grado de contaminación
VICOTEC 404	650 y 1.050 m.	600 y 1.600 m.	Puntos de incremento de contaminación
FLAWSIC 400	1.145 m.	900 m.	Puntos Céntricos de circulación

*Medido a partir del Portal Norte.

**Medido a partir del Portal Sur.

Tabla # II.11

Ubicación de los sensores detectores de contaminación y velocidad del aire.

La detección de incendios se realizará mediante el uso de un sensor llamado **FibroLaser II**, el cual consta de un cable de fibra óptica instalado a lo largo de todo

el túnel y una unidad evaluadora. Los tiempos de respuesta dependen del aumento de la temperatura, así: para 5 °C es de 4 min., para 10 °C es de 1 min. y para 20 °C es de 30 seg.

II.6.4.- COSTOS DE LOS EQUIPOS Y ACCESORIOS

Equipos	Cantidad	Total [Bs.]
Ventiladores recuperados	4	51.679.680,00
Ventiladores nuevos	15	606.618.600,00
Piezas de transformación recuperadas	4	1.639.900,00
Piezas de transformación nuevas	19	20.308.555,00
Silenciadores	8	27.967.760,00
Dampers recuperados	19	32.627.275,00
Dampers nuevos	12	25.725.180,00
Accesorios nuevos (cono de succión y mallas protectoras)	19	7.012.629,00
Desmontaje de equipos existentes	19	17.286.704,00
Instalación de dampers en las ventanas posteriores	12	6.850.104,00
Transporte e instalación de equipos nuevos y recuperados	4	37.104.730,00
SUB-TOTAL		834.821.117,00
Más ISV (16,5%)		137.745.834,32
TOTAL		972.566.601,32

Tabla # II.12

Costos estimados para la adquisición, recuperación e instalación de los Equipos de Ventilación.

Equipos	Cantidad	Total [Bs.]
VICOTEC 405 con accesorios	2	32.046.365,50
VICOTEC 404 con accesorios	4	37.261.741,00
FLAWSIC 200 con accesorios	2	4.257.981,20
VCA 400 con software y repetidora	4	13.357.809,50
FibroLaser II	2	99.991.500,00
PLC con software y accesorios	1	396.106,30
Variadores de frecuencia con accesorios	19	144.500.537,25
Transporte e instalación	1	154.886.611,00
SUB-TOTAL		486.698.651,75
Más ISV (16,5%)		80.305.277,55
TOTAL		567.003.929,30

Tabla # II.13

Costos estimados para la adquisición e instalación de Equipos Electrónicos.

Los costos que se presentan en la tabla # II.12 resume los costos estimados asociados a la adquisición, transporte e instalación de los equipos de ventilación, para la fecha del 5 de marzo de 1998. La tabla # II.13 muestra los costos de adquisición, transporte e instalación de los equipos electrónicos para la fecha 24 de Abril de 1998.

II.7.- Reestructuración de las salas de ventilación.

Una de las principales actividades de recuperación que se debe realizar en el sistema de ventilación del túnel Boquerón I radica en la reestructuración de sus salas de ventilación del portal Norte y Sur, la cual consiste en dividir en dos el área común que comparten en la actualidad los ventiladores que surten de aire fresco a ambas

galerías de circulación con el fin de tener dos túneles independientes.

Esta proposición es producto del estudio de los casos de contingencia (exceso de contaminación e incendio) de ambos túneles, de donde al ocurrir alguno de ellos en una de las galerías no debe afectar la actividad de la otra, es decir, si un grupo de ventiladores que surte de aire fresco a una galería, se encuentra en un instante trabajando en reversa (extracción), el aire viciado de ésta no pase a formar parte del aire fresco de la otra que sigue trabajando como inyección.

La reestructuración de cada sala de ventilación de los Portales Norte y Sur consiste en una serie de construcciones de obras civiles e instalación de accesorios de ventilación. En la tabla # II.14 se muestran en detalle las actividades con los costos asociados (14 de abril de 1998).

Actividad	Costo Unitario	Cantidad	Total [Bs.]
Demolición de paredes de bloques de cemento	3.360,00 Bs./m ²	7,00 m ²	23.520,00
Demolición de paredes de concreto armado	5.120,00 Bs./m ²	7,00 m ²	36.352,00
Construcción de paredes de 200 mm de espesor	7.340,00 Bs./m ²	45,6 m ²	334.704,00
Construcción de techo-placa	23.510,00 Bs./m ²	64,32 m ²	1.512.163,20
Remoción de ventanas	3.000,00 Bs./m ²	88,46 m ²	265.380,00
Compra e instalación de portones de acero corredizos	1.250.000,00 Bs./unidad	4 unidad	5.000.000,00
Compra e instalación de chimeneas	5.636.046,00 Bs./unidad	4 unidad	22.544.184,00
Limpieza de las salas de ventilación	500,00 Bs./m ²	600 m ²	300.000,00
SUB-TOTAL			30.016.303,00
Más ISV (16,5%)			4.952.690,00
TOTAL			34.968.993,00

Tabla # II.14

Costos estimados para la remodelación de las salas de ventilación.

II.8.- Operación del Sistema en Caso de Exceso de Contaminación o Incendio.

En la presencia excesiva de gases contaminantes (mayor a 250 ppm) en la galería de circulación de subida, los ventiladores de la tercera sección operarán en reversa, a máxima capacidad, y los ventiladores de las dos secciones restantes así como los de la sala de extracción, inyectarán y extraerán, respectivamente, también a máxima capacidad. Si se presenta en la galería de bajada, operarán en reversa y a máxima velocidad los ventiladores de la sección donde ocurra esta contingencia; la otra sección inyectará y al igual que la sala de extracción, trabajarán a máxima velocidad.

El funcionamiento de las salas de ventilación será como se muestra a continuación:

1) *En la Inyección de aire al túnel:* Mientras los ventiladores funcionen como inyectores, la succión del aire será efectuada en la sala de ventilación, en la cual se mantendrán abiertos unos Dampers a ser instalados en las ventanas ubicadas en la fachada posterior del tercer piso del edificio de ventilación, de manera que circule el aire necesario para la inyección.

2) *En la Extracción del aire del túnel:* Si los ventiladores tienen que extraer, el PLC enviará una señal a los Actuadores para que cierren los Dampers y por la ventana lateral, en la cual se instalará una chimenea, el humo o exceso de contaminación será evacuado, de manera de que no sea introducido como parte del aire fresco por la sala de ventilación de la galería de circulación vecina.

La función de la Sala de Extracción será evacuar el aire del túnel hacia el valle de la montaña, y en caso de un incendio los ventiladores serán desactivados.

El funcionamiento del sistema de ventilación en caso de un incendio dependerá de la ubicación de éste. Consiste en aplicar un efecto «campana de succión» para la extracción del humo, lo cual se puede lograr utilizando en la sección donde ocurre esta contingencia los ventiladores en reversa y a máxima capacidad, y las otras secciones a modo de inyección de manera de inducir un flujo de aire sin excedentes para que no incremente el fuego y contribuya a la rápida evacuación del humo. En las tablas # II.15 y # II.16 se muestra el funcionamiento de los ventiladores según la localización del incendio.

Localización incendio* (m)	1 ^{ra} Sección		2 ^{da} Sección		3 ^{ra} Sección		Sala Extracción	
	Inyecc	Extracc	Inyecc	Extracc	Inyecc	Extracc	Inyecc	Extracc
0 - 500		√	√		√			
500 - 1170	√			√	√			
1170 - 1845	√		√			√		

*Medido con respecto al portal Norte

Tabla # II.15

Funcionamiento de los ventiladores según la localización del incendio
Sentido La Guaira-Caracas

Localización incendio* (m)	1 ^{ra} Sección		2 ^{da} Sección		Sala Extracción	
	Inyecc	Extracc	Inyecc	Extracc	Inyecc	Extracc
0 - 907		√	√			
907 - 1845	√			√		

*Medido con respecto al portal Norte

Tabla # II.16

Funcionamiento de los ventiladores según la localización del incendio
Sentido Caracas-La Guaira

En vista de que el sistema de ventilación es totalmente automatizado, el costo de operación asociado recae principalmente en el consumo eléctrico de los equipos. Para ello se ideó una metodología de cálculo, basándose en tres escenarios de operación: pesimista, probable y optimista, debido a que el sistema se adapta a los requ-

rimientos del túnel, lo cual es aleatorio y por ende, el uso de la capacidad de los ventiladores. En esta metodología se consideraron los horarios de circulación con su estimado flujo de vehículos y probabilidades de tráfico (lento, medio y fluido) anuales. Los resultados se muestran en la tabla # II.17.

Parámetro	Escenario		
	Pesimista	Probable	Optimista
Inyección túnel de subida	80.092.036,00	71.657.027,00	64.008.798,00
Inyección túnel de bajada	32.068.164,00	28.223.648,00	24.408.627,00
Extracción	31.676.900,00	28.014.877,00	24.887.288,00
Equipos electrónicos	2.551.555,00	2.551.555,00	2.551.555,00
Equipo humano	10.547.372,00	10.547.372,00	10.547.372,00
TOTAL	156.936.027,00	140.994.479,00	126.403.640,00

Tabla # II.17

Costos operativos del sistema de ventilación

El costo mostrado en la tabla # II.17 se rige para el mes de enero de 1.998.

II.9.- Otros aspectos

Se elaboró un plan de mantenimiento preventivo con el objetivo principal de indicar las actividades que garanticen el buen funcionamiento y la vida útil de todos los equipos que componen el sistema de ventilación. Para su planificación e implantación se utilizó una metodología adecuada acorde con las condiciones del entorno. Este Plan arrojó un costo anual de Bs. 16.360.779,85 para la empresa encargada de la manutención de la autopista.

Además, se efectuó un plan de implantación para la puesta en marcha del sistema de ventilación, tomando en cuenta la planificación de todas las actividades que requiere la construcción y recuperación de los equipos de ventilación, las remodelaciones de las salas y la compra e instalación de los equipos electrónicos. El tiempo estimado para ello es de 165 días hábiles.

Finalmente se concluyó que la situación actual del sistema de ventilación del túnel Boquerón I es crítica en cuanto a la contaminación existente y el estado deplorable de los equipos de ventilación, para lo cual se recomendó un llamado a los organismos del estado encargados de la manutención de la autopista (M.T.C.) de manera que agilicen de los trámites requeridos en la aprobación y ejecución de ésta u otra propuesta que cumpla con las normativas de calidad en el servicio prestado a la comunidad.

Rapid Prototyping: Una herramienta para el Diseño de Productos *

Ing. Pacheco, Luis

Ing. Pastor, José

INTRODUCCIÓN

Los Ingenieros diseñan nuevos productos los cuales son útiles para ayudar al desarrollo de la humanidad. Éstos usan sus niveles analíticos, su experiencia, e intuición, junto con una lista siempre cambiante de herramientas de diseño para la creación de nuevos productos los cuales son más rápidos, fáciles de usar y más eficientes que los productos existentes. Todo esto es de suma importancia debido a que la compañía que los contrate debe ser competitiva en relación con las demás compañías. Éstos poseen la capacidad de avanzar en las tecnologías aplicadas a los productos que diseñan, también desarrollan nuevas técnicas y tecnologías en las herramientas utilizadas para diseñar. En el auge competitivo existente, debido a la globalización de los mercados, es estrictamente necesario que los Ingenieros tomen las ventajas de las nuevas herramientas diseñadas en el instante en que éstas estén disponibles.

Un nuevo diseño de herramienta ha sido introducido como una ayuda en el diseño y manufactura de nuevos productos, la cual va a cambiar la manera de como estos productos son introducidos o llevados al mercado. Esta nueva herramienta, *Diseño Rápido de Prototipos (Rapid Prototyping o RP)*, permite a los Ingenieros la creación, mediante sus diseños, de prototipos físicos en cuestión de horas. Una gran variedad de dispositivos están comercialmente disponibles, los cuales producen prototipos, ya sean de papel, plástico, cerámica, cera o metal, automáticamente. Los prototipos son usados posteriormente para verificar la forma, precisión o función de sus diseños. La habilidad para verificar rápidamente un diseño, le permite al Ingeniero observar los errores existentes antes del proceso de diseño en sí, para completar más iteraciones del diseño en menor tiempo, y además, para colocar más rápidamente los productos en el mercado con un menor costo de diseño.

1.1- ¿Qué es el Diseño Rápido de Prototipos?²

Es una técnica de Diseño Asistido o Ayudado por Computadora (CAD) la cual permite la creación "automática" de un modelo o prototipo físico proveniente de un modelo sólido de 3 dimensiones en cuestión de horas o días.

Las máquinas de Diseño Rápido de Prototipos (RP) producen un objeto real de 3 dimensiones de un modelo sólido guardado como un archivo electrónico en una computadora.

Este modelo sólido es creado por un Ingeniero o diseñador mediante la utilización de un sofisticado software de Diseño Asistido por Computadora (CAD). El modelo sólido es más que diseñar la pieza, es una representación electrónica en 3 dimensiones del objeto que está siendo diseñado. El diseñador puede ver el modelo sólido a través de la pantalla del computador o crear dibujos en papel del mismo. El modelo puede ser rotado y visto desde cualquier ángulo. La computadora puede crear información del modelo sólido, la cual no estaría disponible en un dibujo. Por ejemplo, el volumen del modelo puede ser determinado automáticamente o la computadora puede chequear las interferencias existentes entre las piezas a acoplar.

Otros términos los cuales describen esta técnica de Diseño Rápido de Prototipos (RP), incluyen a la manufactura de oficina, fabricación automatizada, manufactura sin herramientas, cualquier forma libre en la fabricación de sólidos y la impresión en 3D.

Los procesos del Diseño Rápido de Prototipos (RP) caen en tres categorías generales:

- *Sustractivos*, en los cuales las máquinas de Diseño Rápido de Prototipos (RP) escarban un bloque de material para producir ciertas formas

* Trabajo especial de grado para optar al título de Ingeniería Industrial. Mención Publicación. Tutor Henning Bergold

- *Aditivos*, en los cuales las máquinas de Diseño Rápido de Prototipos (RP) construyen un objeto mediante la unión de partículas de polímeros o capas.

- *Compresivos*, en los cuales la máquina de (RP) transforma un material semisólido o líquido en una forma que posteriormente se solidifique.

1.2- ¿Por qué es importante el Diseño Rápido de Prototipos?²

Cada producto que uno utiliza, toca o ve, ha sido ideado o desarrollado con la finalidad de producir ganancias a las compañías que los produjeron. Para poder recibir estas ganancias, las compañías deben ser eficientes. El costo de manufactura es mantenido en un nivel bajo mediante la producción de productos bien diseñados.

El diseño y desarrollo de un nuevo producto representa una gran inversión inicial, la cual incrementa los costos de manufactura del producto. La manera de cómo inciden estos costos en el precio del producto, dependerá de cuantas unidades la compañía espera vender.

Las técnicas del Diseño Rápido de Prototipos (RP) permite a la Ingeniería del diseño del proceso, progresar mucho más rápido y a un costo más bajo que los métodos tradicionales en la realización de prototipos. Esto hace que los productos diseñados sean más baratos y permite a los productos llegar al mercado de una forma más rápida. Estas dos ventajas de las técnicas de Diseño Rápido de Prototipos (RP) pueden marcar la diferencia entre el éxito y el fracaso a una compañía de manufactura.

1.3- ¿Quién usa RP?¹

Las industrias aeroespaciales, automotoras, electrónicas, de juguetes y de productos de consumo usan extensamente prototipos y modelos.

Alrededor del 10% de todas las plantas de manufactura y oficinas de diseño gastan más de 100.000\$ cada año para el prototipado convencional y rápido. Generando prototipos rápidos tempranamente en el ciclo de desarrollo del producto se puede ahorrar tanto como el 80-90% en costos de trabajo y tiempo en relación con el prototipado convencional.

Las empresas que crean más de doscientos modelos al año pueden justificar la compra de su propio sistema de RP. Luego, las empresas que crean pocos mo-

delos al año se beneficiarían por la utilización de las instalaciones de servicio de RP.

1.4- El Proceso de Diseño en Ingeniería:²

Cuando los Ingenieros crean un producto nuevo, éstos siguen generalmente un plan o secuencias establecidas de pasos en el diseño de ese producto. Este plan varía un poco dependiendo en quien esté diseñando el producto nuevo, las metas que el diseñador tiene para el producto nuevo y el nivel de producción esperado para el mismo. A pesar de estas variaciones, como sea, el formato que se muestra a continuación es generalmente seguido:

1.4.1- EL CONCEPTO:

El diseño de un nuevo producto comienza con el concepto:

- Este puede ser una idea "brillante" para un nuevo dispositivo.
- El concepto de un nuevo producto quizás surja de un problema que necesita ser resuelto.

Las grandes compañías tienen grupos de búsqueda cuya función es la de generar ideas para crear nuevos productos y buscar la forma de mejorar los ya existentes.

1.4.2- DISEÑO PRELIMINAR:

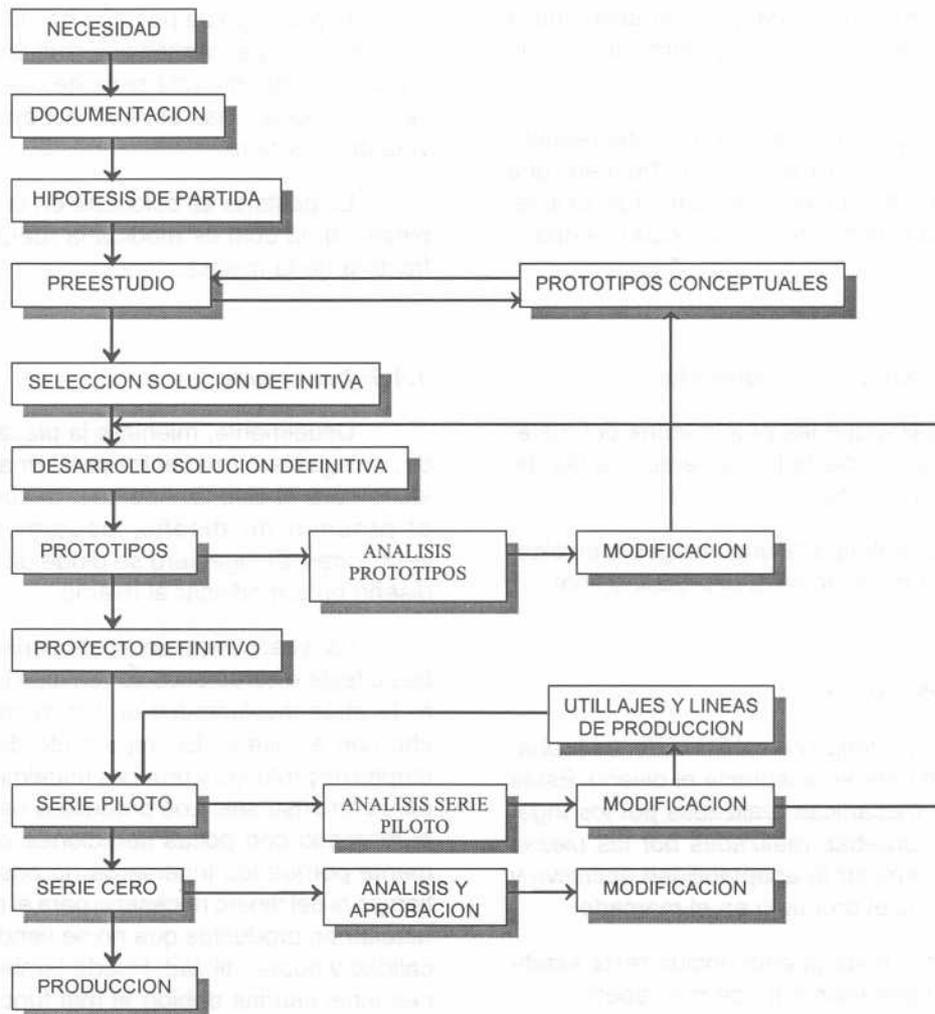
Una vez que el Ingeniero tiene un concepto en mente, la estructura detallada de este dispositivo físico debe ser diseñada para la implementación del concepto. Este proceso resulta usualmente en los dibujos del dispositivo que el Ingeniero cree que aportarán las funciones requeridas.

1.4.3- PROBANDO EL DISEÑO:

1.4.3.1- ANALISIS

El siguiente paso es el de probar el diseño. Esto puede ser hecho mediante la creación de un prototipo físico. Esto casi siempre es costoso y consume mucho tiempo. Por esta razón, los Ingenieros usualmente primero realizan un análisis matemático para identificar los defectos del diseño. Por ejemplo, quizás se realice un análisis de tensiones por elemento finito para determinar si el producto diseñado pueda soportar la carga espera-

(FIGURA 1.1) ESQUEMA DEL DESARROLLO DE UN PRODUCTO



da durante su servicio. Si se encuentran errores a este nivel, el Ingeniero vuelve a la etapa de diseño y modifica al mismo. Después que el análisis del diseño predice que no habrán más problemas, el Ingeniero realiza una prueba física del dispositivo. Para poder realizar esto, un prototipo físico es construido.

1.4.3.2- EL PROTOTIPO FÍSICO:

El Prototipo creado se puede topar con uno o más de los tres requerimientos generales de los prototipos: forma, ajuste y función. Estos requerimientos están descritos en orden jerárquico dependiendo del grado de dificultad.

1.4.3.2.1- Forma:

La forma implica que el prototipo tiene el diseño (forma) general del objeto. Tiene el mismo tamaño y figura, pero su exactitud o precisión no es suficiente para permitir las tolerancias especificadas en el diseño dibujado. Un prototipo que sólo cumpla con esta característica, podrá ser usado para dar una idea a las personas involucradas en el diseño de cómo el producto se verá y se sentirá.

Por ejemplo; El diseño de un estilo nuevo de teléfono pudiera hacer varios prototipos para que las personas de mercadeo puedan sostener el receptor en su oído, toquen los botones y decidir cuál es el mejor diseño que se adapte a sus necesidades.

1.4.3.2.2- Ajuste:

El ajuste implica que no sólo el prototipo debe tener el tamaño y la forma adecuada, pero también que la precisión sea la suficiente para los requerimientos de diseño realizados.

Por ejemplo; El prototipo que permita los requerimientos de ajuste puede ser usado para chequear que los objetos diseñados se acoplen unos con otros. El ajuste de una tapa en una caja puede ser verificado mediante el uso del prototipo.

1.4.3.2.3- Función o funcionamiento:

La función implica que las propiedades del material son similares a las propiedades esperadas a las del producto de manufactura final.

Por ejemplo; El prototipo de una manguera de plástico debe ser idéntica en flexibilidad al producto final.

1.4.4- PROBANDO EL PROTOTIPO:

Una vez que el prototipo ha sido creado, es probado para determinar donde es aceptable el diseño. Estas no sólo son pruebas mecánicas realizadas por los Ingenieros, sino también pruebas realizadas por las piezas interesadas para determinar la adaptabilidad definitiva y que tan comerciable es el producto en el mercado.

Estas pruebas o tests pueden incluir tests estéticos realizados por el departamento de mercadeo:

¿Se ve costoso?

¿El diseño se acopla bien con sus respectivos componentes?

¿Se siente bien en las manos del usuario?

¿Los colores seleccionados son tan atractivos como se esperaba?

Las pruebas o tests pueden incluir chequeos de ajuste por los Ingenieros o el departamento de servicios:

¿El patrón del tornillo o remache del prototipo de pestaña coincide con los hoyos en el bloque del motor?

¿Puede la pestaña ser ensamblada en el bloque del motor sin remover el radiador?

¿Existe un espacio adecuado para operar la herramienta o llave necesaria en la instalación de la pieza?

Las pruebas podrían incluir tests de funcionamiento:

El prototipo de pestaña ha sido instalado en el bloque del motor y el camión que contiene al motor, es puesto a prueba mediante una serie de operaciones, simulando las condiciones más severas esperadas en el tiempo de vida del producto.

La pestaña es colocada en un equipo para probar piezas en la cual es medida la fuerza necesaria para la fractura de la misma.

1.4.5- ITERACIONES:

Usualmente, mientras la pieza está siendo probada, el Ingeniero encuentra problemas o genera mejores ideas para el diseño. Además, después de las pruebas, el proceso de diseño, usualmente requiere más iteraciones. El Ingeniero se dirige de nuevo a la etapa de diseño para modificar al mismo.

Esta secuencia de diseño, análisis, prototipo, pruebas o tests e iteraciones se realizan hasta que el Ingeniero (y otros involucrados en las decisiones) está satisfecho con el diseño. Es importante de reconocer que las etapas de prototipo y pruebas usualmente consumen tiempo y son costosas. Los productos usualmente van hacia el mercado con pocas iteraciones en el diseño simplemente porque los Ingenieros no poseen o disponen del tiempo ni del dinero necesario para el proyecto. Esto puede resultar en productos que no se venden debido a su baja calidad y pobre utilidad. Puede también resultar en lesiones innecesarias debido al mal funcionamiento del producto causado por defectos en el diseño.

La meta del Diseño Rápido de Prototipos (RP), es la de reducir el tiempo y dinero requerido para elaborar un prototipo nuevo, permitiendo la realización de más iteraciones a un diseño en menos tiempo, haciéndolo más seguro y en consecuencia un producto exitoso.

1.5- Prototipado Tradicional^P

Tradicionalmente, cuando un Ingeniero decide que se necesita un dibujo o diseño de algún prototipo, éste manda los dibujos o diseños de la pieza a una "sala de máquinas" o a una "sala de prototipado". Allí el prototipo es realizado por un personal especializado usando varias de las mismas técnicas utilizadas en la manufactura del producto final. Casi siempre la pieza es maquinada en plástico o metal usando tornos, fresadoras y otras herramientas tradicionales de manufactura.

La "sala de máquinas". Es un lugar de trabajo en el cual el metal y otros materiales o sustancias son cortadas, moldeadas, etc., mediante la utilización de máquinas o herramientas.

La sala tradicional de máquinas usualmente contiene herramientas para cortar y dar forma principalmente a los metales. La sala puede trabajar con cerámicas, plásticos y otros materiales, pero la mayor parte del trabajo se hace con metales. La sala usualmente recibe dibujos o diseños de Ingeniería en conjunto con la orden que puede ir desde 1 a 10.000 piezas. Estas piezas pueden volver a ser prototipadas para un nuevo diseño, pero casi siempre son piezas de la producción actual de un producto manufacturado.

La "sala de prototipos". Ésta es un lugar de trabajo en donde los modelos o prototipos son creados por artesanos calificados.

Una "sala de prototipos" difiere de una de "máquinas" en varios puntos. Primero, la "sala de prototipos" es, usualmente, más general. Aquí se trabaja con cualquier material que haga el trabajo, incluyendo madera, espuma (foam), fibra de vidrio, barro y plásticos. Además de las herramientas tradicionales de maquinado, también poseen herramientas manuales especiales, equipos para el moldeo y cocción de las cerámicas, máquinas para la inyección de moldes y máquinas para diseñar rápidamente los prototipos (Rapid Prototyping Machines).

Una segunda diferencia, es que la "sala de prototipos" también acepta diseños o dibujos artísticos o conceptuales. En donde la pieza que produce la persona que maneja la máquina, es exactamente especificada por el diseño y el artesano que realiza los prototipos, puede producir un modelo partiendo de una idea. El artesano puede esculpir un modelo en barro de un avión de juguete, realizar un molde RTV (Goma Vulcanizada a Temperatura Ambiente) del modelo y luego producir 20 aviones idénticos de poliuretano del mismo molde.

La "sala de prototipos" usualmente produce moldes de trabajo, los cuales requieren de la realización de múltiples piezas utilizando varias tecnologías. Los modelos o prototipos son usualmente pintados y terminados para que cumplan con las especificaciones del diseñador.

El rango de modelos producidos en una "sala de prototipos" es mucho más amplio que aquel producido por las "salas de máquinas".

1.5.1- EL COSTO DEL PROTOTIPADO TRADICIONAL

La creación de complejos prototipos requiere de mucho tiempo, algunas veces semanas o meses. Este tiempo es costoso en diversas formas. Primero, los arte-

sanos calificados son costosos. Una "sala" típica de modelado, cobra entre 60 y 70 dólares la hora por la construcción del prototipo. Este proceso de producción puede tomar semanas o meses. Segundo, la espera por la finalización del prototipo, extiende el tiempo en el que el producto podría estar saliendo al mercado. Los Ingenieros y Diseñadores están a la espera de que el producto pueda ser construido y probado. Los excesivos tiempos existentes entre la concepción y la realización del producto pueden causar que el encargado de la manufactura, pierda la ventana de oportunidades que posee en esos instantes. Un competidor quizás penetre primero en el mercado o, avances en el mismo campo o terreno pueden aparecer, haciendo que el producto sea obsoleto antes de ser introducido en el mercado.

2.1- Origen de Rapid Prototyping²

Como es usual en las invenciones, una inquietud individual fue la propulsora para la industria de RP, la cual ya tiene diez años. Su padre, Charles W. Hull, 58 años, todavía trabaja como un viceejecutivo y jefe en la tecnología de la compañía RP la cual éste ayudó a fundar en 1.986, 3D Systems de Valencia, California. Como ingeniero, Hull siempre se había molestado por el largo tiempo que tomaba la realización en plástico de modelos de prototipos. Éstos tenían que ser maquinados a mano. Si se necesitaba más de uno (generalmente en el caso de la industria) los moldes para realizar prototipos plásticos de uretano debían ser maquinados individualmente.

Las bases en la construcción de un mejor sistema estaban dispersas, lo cual hizo que Hull las uniera. Éste estuvo trabajando para una pequeña compañía de California la cual usaba lámparas ultravioleta para endurecer recubrimientos de plásticos fotosensitivos en vidrio y otros objetos; éste también estuvo presente en el surgimiento de CAD y el láser. Repentinamente Hull vio la posible unión entre los dibujos en 3D de las pantallas a computadora, el reemplazo de la lámpara ultravioleta por el láser y su deseo para producir modelos en plástico transparente los cuales pudiesen ser palpados y visto por todos. "Haciendo que esto estuviese en una máquina práctica vino lentamente", recalca Hull, y requirió de varios años de trabajo al estilo Edison en los cuales éste estuvo tardes y fines de semana probando varias combinaciones de materiales y procesos.

³Todos los sistemas de RP&M se basan en la Tecnología de Fabricación por Capas (LMT, Layer Manufacturing Technologies), que consiste a grandes rasgos, en construir una pieza 3D, a base de apilar diversos cortes de la misma en el eje Z. Cada uno de estos cortes o capas, tiene un espesor tan bajo (típicamente del orden de la décima), que puede considerarse que sólo con-

tiene la información 2D de su propio plano. Partiendo del fichero STL, y después de haber orientado y escalado las piezas (en previsión de las contracciones durante y después del proceso), éstas se cortan en capas y se trasladan al sistema de Rapid Prototyping (RP) más conveniente, los cuales podríamos dividir en 3 grupos dependiendo de su finalidad: prototipos conceptuales, formales y de patrón, y funcionales.

2.1.1- PROTOTIPOS CONCEPTUALES:

Las tecnologías para realizar estos prototipos operan normalmente en ambientes de oficina, con polímeros atóxicos. Los resultados obtenidos son de consistencia final muy frágil, obedeciendo a la idea de un trozo de papel para esbozos (en este caso en 3D), que se arruga y tira una vez cumplido su propósito. Los tamaños medios de las piezas realizadas en estos sistemas son pequeños, de 200x200x200 mm aproximadamente.

2.1.2- PROTOTIPOS FORMALES Y DE PATRÓN:

Son los obtenidos en la mayoría de tecnologías de Rapid Prototyping (RP) pueden ser utilizados para validar formas geométricas, así como para ser utilizados de patrón para la obtención de prototipos funcionales con las técnicas de molde en silicona (RTV), Moldes de Arena (Sand Casting), Investment Casting.

2.1.3- PROTOTIPOS FUNCIONALES:

Son los que permiten realizar los correspondientes montajes de las piezas con todos sus componentes, y la comprobación mecánica de su funcionamiento. Sirven también como visuales y de patrón.

A continuación se presenta el esquema teórico del desarrollo rápido de prototipos:

Antes de desarrollar las tecnologías de Rapid Prototyping (RP), es conveniente hacer una explicación de lo que significa Rapid Tooling, RTV, Investment Casting y Sand Casting.

2.2- Rapid Tooling⁴

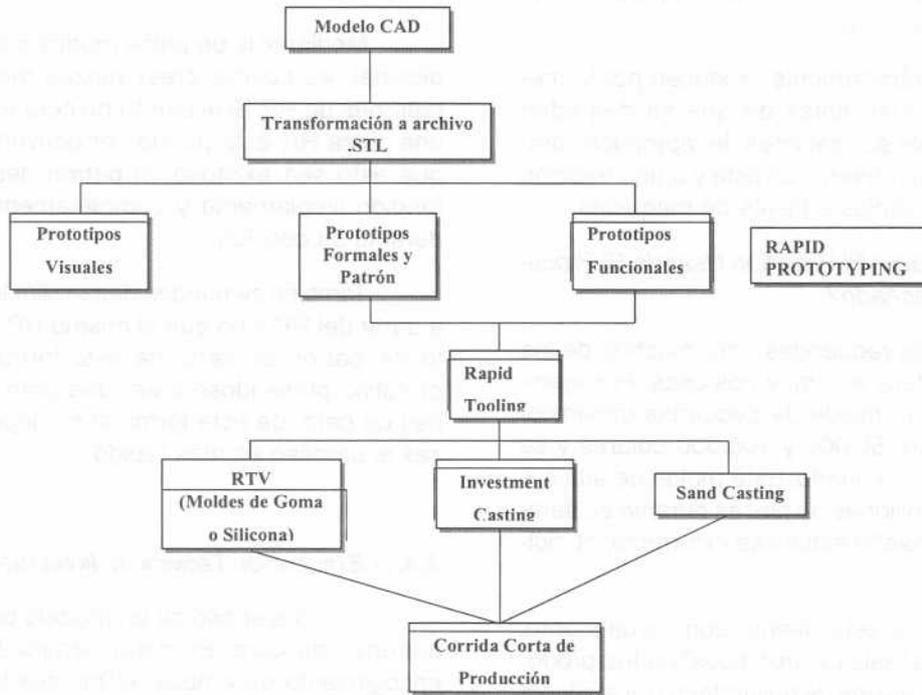
La industria ha tenido conflictos definiendo rapid tooling (RT). En el sentido más amplio, es cualquier mé-

todo o tecnología que permita producir o manufacturar piezas rápidamente. Esta descripción está bien para algunos, pero otros creen que carece de significado y deja a las personas con muchas interrogantes. El término Rapid Tooling surge de la tecnología RP y de sus aplicaciones. Consecuentemente muchos de los negocios de RP están de acuerdo que RT significa "RP- Driven Tooling"(Maquinado manejado por RP). Esto significa el usar RP para producir, primero patrones maestros en la realización de moldes, o segundo directamente moldes. Regularmente esto es lo que viene a la mente cuando las personas oyen el término Rapid Tooling. Las compañías que producen moldes rápidamente usando máquinas de control numérico creen que RT incluye CNC, particularmente maquinado a alta velocidad. "Que pienso yo" dice Terry Wohlers. "Bueno, yo prefiero definir RT como digitally-driven tooling (Maquinado manejado digitalmente). Esto incluye los procesos de manejo por RP, como también las máquinas de alta velocidad de Control Numérico", Wohlers Agrega. "Ambos son digitalmente manejados, esta es la llave para hacerlo rápido."

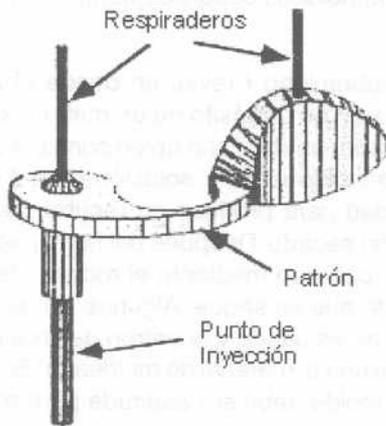
2.3- Soft Tooling o RTV (Room Temperature Vulcanizing Rubber)²

Usualmente se requiere más de un prototipo. Las pruebas de Ingeniería quizás requieran la destrucción del prototipo. Quizás sea más conveniente hacer todas las pruebas en un momento determinado. El departamento de mercadeo quizás desee 20 o 30 piezas para mandarlas a sus clientes potenciales. Además también es cierto que el producir múltiples piezas por medio de máquinas es muy costoso. La solución a esto, es casi siempre el moldeado por medio de la goma vulcanizada a temperatura ambiente como el material del molde.

Usando esta técnica, un prototipo inicial es realizado mediante algún proceso (puede ser mediante la utilización de máquinas o por Rapid Prototyping (RP)). Después un forro o envoltura es construido, en el cual se ubicará el molde. Una manguera o bebedero de molde es añadido, por el cual se va a surtir la mezcla al molde y unas vías de ventilación son añadidas para dejar que el aire se escape del molde. El patrón es suspendido dentro del forro o envoltura, usualmente a través de los tubos o mangueras utilizadas para la ventilación o el llenado de la mezcla, y posteriormente, la goma RTV, es mezclada y vertida en la envoltura. En un período corto de tiempo, la goma se vulcaniza y se convierte en un estado sólido pero un poco flexible.



(Figura 2.1) Esquema teórico del desarrollo rápido de prototipos

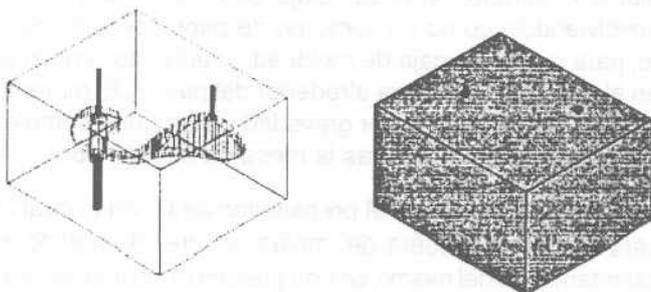


Una vez que la goma esté lista o curada, el molde RTV es cortado en dos piezas, permitiendo que el patrón, bebedero y mangueras de ventilación sean removidas. Algunas veces, esto se hace después de remover el molde de la base, la cual es posteriormente desechada. O también puede que la base o envoltura, se haga en dos partes, permitiendo que las dos mitades del molde se encuentren permanentemente en la base o envoltura. Esto hace que el molde de goma sea más firme y duro.

(FIGURA 2.5) MOLDE RTV + PROTOTIPO



(FIGURA 2.3) PROTOTIPO PATRÓN. (FIGURA 2.4) BASE Y CUBO DE RTV



Después de que el molde ha sido terminado, las dos piezas son fijadas y los componentes de uretano o epoxy son mezclados y vertidos en el molde para crear el prototipo de la pieza deseada.

Estos moldes prácticamente producen por lo menos 25 piezas moldeadas antes de que se degraden significativamente. Estos son capaces de reproducir complejos componentes de manera correcta y a una fracción del costo de múltiples copias a través de máquinas.

¿Por Qué No Hacer El Prototipo Usando El Proceso De Manufactura Deseado?

Las herramientas requeridas para muchos de los procesos de manufactura son muy costosas. Por ejemplo, la producción de un molde de pequeñas dimensiones, podría costar entre 50.000 y 100.000 dólares y se requieren meses para terminarlo. Este molde de alta calidad, podría producir millones de piezas durante su tiempo de vida, pero si el diseño estuviese incorrecto, el molde sería inservible.

Dos soluciones a este dilema son, usualmente, puestas en práctica. La "sala de prototipos" podría producir moldes RTV y emitir piezas de poliuretano o si el cliente requiere idénticas propiedades que los moldes por inyección, la "sala" quizás realice un molde barato de aluminio y moldee la pieza por inyección. Este molde de aluminio es mucho menos costoso que la realización en grandes producciones, debido a que los materiales a utilizar son menos costosos, el metal blando es mucho más rápido para maquinar y otros rasgos encontrados que no toma en cuenta el molde de producción. El molde de Aluminio puede producir cientos o miles de piezas dependiendo del plástico usado y de la geometría del molde.

2.4- Investment Casting²

Los procesos de investment casting tradicionalmente comienzan con un patrón de cera. Este patrón es idéntico a la pieza deseada excepto a que ha sido corregida de su encogimiento el cual ocurre durante el proceso de moldeo. El patrón es sumergido repetidamente en un líquido de polvo cerámico, haciendo que se construya un casco sólido de cerámica verde (sin cocer). Luego es puesto en un horno y encendido. En éste, la cera se derrite y se cae del molde con lo que el casco cerámico se sinteriza en un molde duro y de alta temperatura.

Para moldear la pieza metálica el molde de cerámica es usualmente precalentado y luego llenado con metal fundido. Después de que el molde ha sido enfriado y solidificado, la capa cerámica es rota y cualquier exceso de metal es removido. Una ventaja de este proceso es que existen pocas limitaciones en el contorno de la pieza.

Debido a que el molde es destruido cuando la pieza es removida, no existen problemas en la geometría de la pieza asociada con la remoción del molde de la misma.

Mediante la pequeña modificación del proceso tradicional, es posible crear piezas metálicas a partir de patrones de RP. Si el patrón de cera es reemplazado con una pieza RP, ésta puede ser convertida en metal. Para que esto sea exitoso, el patrón debe ser quemado o fundido limpiamente y completamente fuera del molde durante su cocción.

También se pueden desarrollar los patrones de cera a partir del RP y no que el mismo RP sirva como sustituto del patrón de cera, de esta forma no se dañaría el prototipo pudiéndose crear una gran cantidad de patrones de cera, de esta forma si se necesitan muchas piezas el proceso es más rápido.

2.4.1- EXPLICACIÓN TÉCNICA DE INVESTMENT CASTING⁵

1. El desarrollo de un modelo para el moldeo de patrones de cera. El metal terminado debe permitir el encogimiento de ambos, el moldeo de cera y posteriormente el de metal. La cera es inyectada bajo presión en el molde a la temperatura de fusión de la cera. Plásticos de poliestireno son también usados, pero requieren de más altas presiones y temperaturas que los moldes de hierro o acero. Los puntos de inyección en el molde deben ser ensamblados separadamente para el moldeo.

2. Recubrimiento Previo, en donde el arreglo de cera es vertida en un depósito de un material de recubrimiento refractario, un depósito típico consiste de un flúor de sílica suspendido en una solución de etil silicato de cierta viscosidad para producir un recubrimiento uniforme después del secado. Después del hundimiento, el ensamblaje es recubierto mediante el rociado de arena de sílica y dejando que se seque. Algunas veces el recubrimiento previo no es usado y el patrón de cera es directamente cubierto con el material de moldeo. En este caso, la mezcla del molde debe ser aspirada para remover las burbujas de aire que se puedan concentrar junto al patrón o en el patrón. El ensamblaje del recubrimiento de cera es luego recubierto por el molde. Esto se hace mediante el vertido del ensamblaje de cera en una mesa, envolviéndolo como un contorno de papel, pero de acero, para crear una caja de moldeo, vertiendo la mezcla en el molde de envoltura alrededor del patrón. El material del molde se deposita por gravedad y se bordea completamente el patrón mientras la mesa de trabajo vibra.

3. El encerado y el precalentamiento, en el cual la cera es derretida fuera del molde endurecido debido al calentamiento del mismo en una posición invertida, la cera

quizás sea recolectada y reusada. Luego el molde es calentado a una temperatura deseable para el vertimiento de una aleación y diseño de moldeado en particular. El quemado y el ciclo de precalentamiento elimina completamente la cera y el gas formado en el molde.

4. Vertido: cuando el molde está a la temperatura deseable el material es vertido por gravedad en el bebedero del molde. Presión de aire quizás sea aplicada luego a este bebedero para asegurarse del llenado en las cavidades del molde. Este vertido también es realizado en una centrífuga para llenar finas secciones.

5. Operaciones de Limpieza se realizan después del enfriamiento del molde.

2.5- Sand Casting

Es el tradicional proceso de moldeado por un bloque de arena, donde el proceso consiste en colocar una pieza en un bloque de arena previamente compactado y forzando a la pieza a encajar para después terminar de formar con la arena un molde duro y compactado, después se saca la pieza que ha servido de macho para hacer el patrón y se vacía el molde con el metal requerido y de esta forma se obtiene la pieza metálica. Este proceso es mucho menos preciso que el de Investment Casting, pero su realización es menos compleja y costosa. A continuación se muestra un cuadro comparativo entre ambas técnicas.

(FIGURA 2.7) Cuadro comparativo entre Sand Casting e Investment Casting

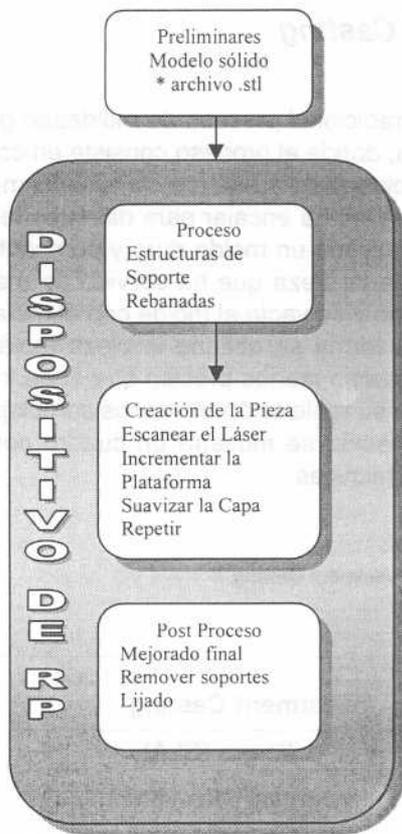
Aspectos	Sand Casting	Investment Casting
Materiales RP	Fotopolímero (SLA) Policarbonato (SLS)	Fotopolímero (SLA) Investment Wax (SLS)
Escogencia de Metales	Amplia	Amplia, incluyendo la dificultad para forjar y maquinar aleaciones
Complejidad	Moderada	Alta
Sección Mínima	3/32 de pulgada	0.01 pulgadas
Tolerancias	1/16 a 1/8 pulg./pie	0.005 pulg./pie
Suavidad Superficial	250-300 micropulgadas	90-125 micropulgadas
Costo de Maquinado	Bajo	Moderado
Costo de M.O.D.	Alto	Muy Alto
Costos de Acabado	Alto	Bajo

Tecnologías del Diseño Rápido de Prototipos (RP)

Aquí serán introducidas una serie de tecnologías que permiten la producción automática de prototipos de piezas directamente de un modelo sólido. Todas éstas son sistemas comerciales, los cuales están disponibles en el mercado actual. A excepción de la tecnología BPM (Ballistic Particle Manufacturing), ya que su fábrica salió del mercado en el transcurso del presente año.

3.1- Estereolitografía

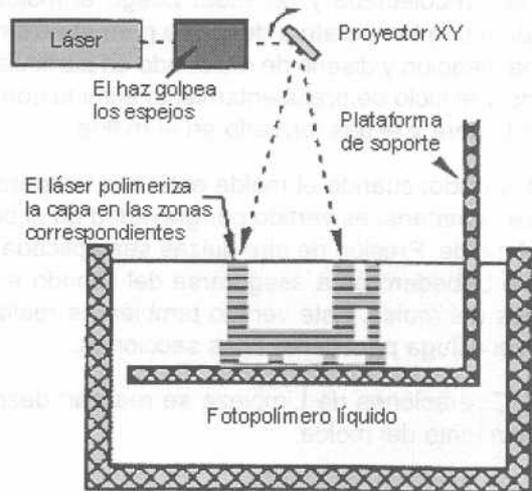
La implementación de Estereolitografía por 3D Systems fue el primer sistema de RP comercialmente introducido y todavía es el líder del mercado. Un sistema esquemático del proceso de producción del prototipo es mostrado a continuación.



(FIGURA 3.1) ESQUEMA DEL PROCESO DE PRODUCCION DE PROTOTIPOS

Primero, un modelo sólido electrónico de la pieza es creado usando software CAD. Existe una gran variedad de modelado de sólidos por medio del software de CAD, Cada uno usando archivos de formato diferente para representar la pieza. Para asegurarse que sus máquinas fuesen compatibles con todos estos softwares, 3D Systems formuló un archivo de formato estándar de estereolitografía (* .stl) y lo distribuyó de forma masiva. Por esta razón la mayoría de los softwares de CAD que tienen la capacidad para crear modelos sólidos también tienen la capacidad de convertir estos modelos en formato * .stl.

Después que el modelo sólido es creado se guarda en el formato *.stl y de esta manera es introducido en el sistema de Estereolitografía. El sistema de Estereolitografía crea el prototipo mediante la acumulación de una serie de capas formadas por secciones 2D. El sistema del software genera una serie de cortes en secciones paralelas colocadas a una distancia equivalente al grueso deseado en cada capa. La máquina usa una plataforma móvil suspendida en una batea de ftopolímoro líquido.



(FIGURA 3.2) GRAFICO DEL PROCESO DE ESTEREOLITOGRAFIA

El ftopolímoro es un líquido relativamente de baja viscosidad hasta que es expuesto a la luz ultravioleta. La luz ultravioleta hace que las moléculas del ftopolímoro se polimericen, uniéndose todas para formar una red. El resultado final es que el líquido se transforma en un sólido. El rayo proveniente del láser ultravioleta puede ser dirigido a la batea por un sistema de espejos el cual es controlado mediante un computador.

Para crear una pieza la plataforma móvil es colocada justo por debajo de la capa de líquido de ftopolímoro, permitiendo solamente una fina capa (desde .004 pulgadas hasta .006 pulgadas) de líquido sobrante por encima de la plataforma. La energía del láser, enfocada en un espectro muy fino, es proyectada en la superficie del ftopolímoro, trazando los bordes a partir del fondo de la pieza. El área sólida de la sección cortada debe ser trabajada por el rayo haciendo que la superficie completa del sólido sea completada cuando se completa la proyección, la plataforma móvil baja en el grosor de la capa siguiente. Un mecanismo de frotado es usado para asegurarse de que el líquido de polímoro fluya por encima de la superficie en un grosor uniforme controlado. Una vez que el líquido en la superficie de la capa ha sido colocado en un grosor uniforme, el próximo corte de sección es proyectado por el láser. Este proceso es repetido hasta que cada corte de sección ha sido proyectado. Luego la plataforma sube y el prototipo sólido es removido de la batea.

Mientras el láser proyecta los cortes de las secciones, éste pasa sobre áreas donde se encuentra una capa de polímero sólido justo por debajo de la capa de líquido y proyecta las áreas donde solamente existe líquido por debajo de la superficie. Cuando una capa sólida existe directamente debajo de una capa líquida, las dos capas adyacentes son apiladas mientras la capa de superficie se polimeriza uniéndose con la capa del nivel más bajo. Cuando solamente existe líquido por debajo de la capa anterior, la intensidad del rayo debe ser controlada cuidadosamente para asegurarse de que el polímero es solidificado solamente en el espesor deseado.

Típicamente las partes no salen del tanque completamente perfectas. Después de removerlas del tanque, el exceso de fotopolímero es removido mediante el sumergido de la pieza en un baño de solvente, después la parte es perfeccionada en un horno o mediante la exposición en una lámpara de rayos ultravioleta. Las estructuras de soporte son ahora removidas y la parte es lijada para el acabado de la superficie.

3.1.1- PROBLEMAS CON LOS SOBRESALIENTES

Una de las dificultades que ocurren en el uso de la técnica de 3D systems resulta del hecho que la parte sólida se apoya o descansa en un baño líquido mediante su construcción. A medida que los cortes de las secciones cambian, finas capas de polímeros solidificados pueden estar flotando en la superficie del líquido. Si la pieza no tiene una superficie plana, tendrá que ser construída comenzando de una superficie curva. Esto no será muy estable. Además es necesario crear estructuras de soporte que aguanten las partes laterales sobresalientes en su lugar mediante el proceso de construcción de la pieza.

3.1.2- APLICACIONES

- Piezas usadas para pruebas funcionales.
- Pruebas para pre-series de producción.
- Manufactura de modelos para medicina.
- Forma, ajuste y función para pruebas de ensamblaje.

3.1.3- VENTAJAS

· El sistema de Estereolitografía de 3D systems es el líder en el mercado de RP hoy en día. Como resultado este proceso está más disponible que algunos de los pro-

cesos de la competencia ya que fue el primer sistema introducido, tiene más años de desarrollo.

· El sistema basado en fotopolímero produce partes de plástico las cuales poseen excelentes propiedades mecánicas. Las partes no son porosas, éstas pueden ser lijadas o taladradas. Las propiedades mecánicas medidas se aproximan a aquellas partes plásticas realizadas por tecnologías de manufactura convencional.

· Produce prototipos de gran precisión (0.002 mm de grosor de capa).

· Posibilidad de la manufactura de piezas las cuales serían imposibles de producir convencionalmente en un sólo proceso.

· Puede operarse continuamente sin atención por 24 horas.

· Cualquier forma geométrica puede ser realizada virtualmente sin limitación.

3.1.4- DESVENTAJAS

· Necesita secuencias sofisticadas de proceso.

· Necesidad de tener estructuras de soporte.

· La precisión no se encuentra en el rango para la manufactura de piezas mecánicas.

· Areas restrictas de aplicación debido a las propiedades de los materiales.

· Requiere mano de obra para el postprocesado y para una limpieza especial.

3.1.5- SISTEMAS DISPONIBLES

· 3D Systems, USA: SLA 190, 250, 350, 400, 500.

· CMET , Mitsubishi, Japan: SOUP 600, 850.

· D-MEC, JSR/Sony, Japan: SCS 1000 HD.

· Electro Optical Systems, Germany: Stereos 400, 600.

· Fockele & Schwarze, Germany: Laser Modeling System.

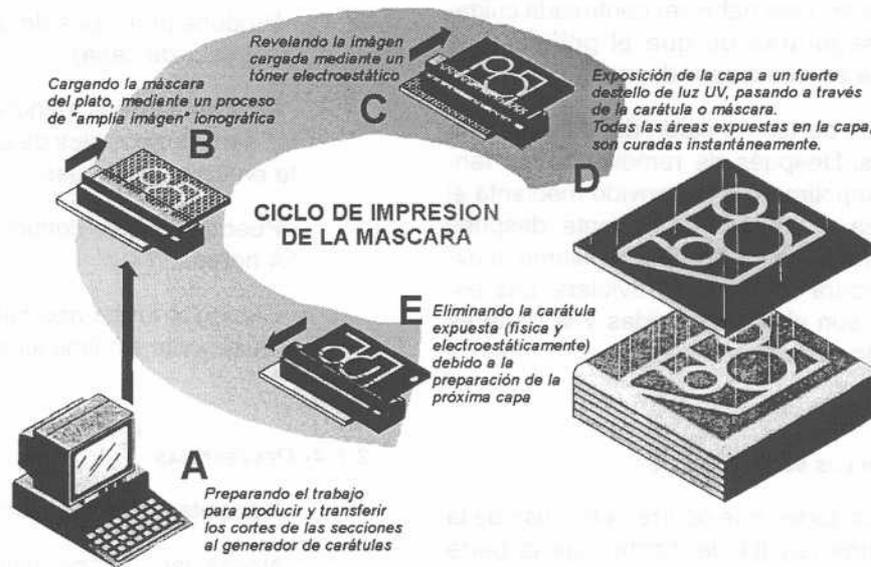
· Mitsui, Japan: Colamn.

· Teijin Seiki Co. Japan: Soliform 300, 500.

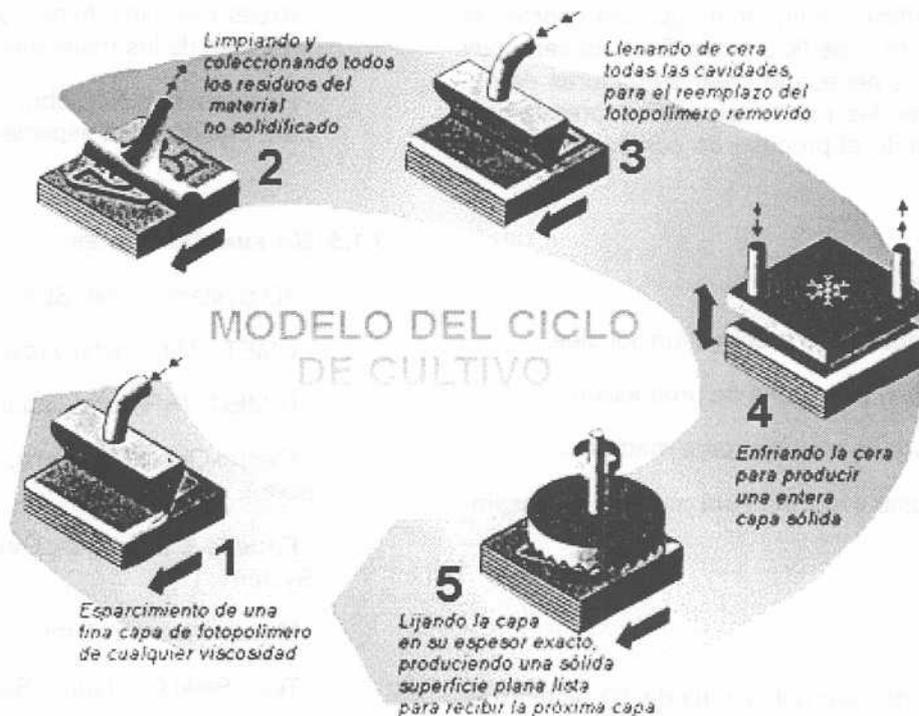
3.2- Solid Ground Curing (SGC)

3D Systems tiene varios competidores en los cuales sus procesos son parecidos a los de Estereolitografía descritos anteriormente. Una notable excepción es el sis-

tema "Solider" de Cubital. Este sistema usa cera, además del fotopolímero para proveer un soporte sólido completo para las capas de plástico durante su construcción. El proceso "Solider" sigue el esquema que se muestra a continuación.



(FIGURA 3.4) CICLO DE IMPRESION DE LA MASCARA



(FIGURA 3.5) CICLO DE CULTIVO

- Alta uniformidad en la precisión de las piezas.
- Rápida y eficiente en costo para fabricar piezas complejas, de paredes gruesas y voluminosas.
- Usa dispositivos de luz ultravioleta (no hay láser que reemplazar).
- La habilidad para crear piezas agrupadas permite al sistema "Solider" producir más piezas durante la corrida de producción (para el mismo volumen de trabajo) que sería posible si cada parte fuese requerida para apoyarse o descansar en la plataforma de construcción.
- Después de que el prototipo ha sido completado puede ser prensado, taladrado, lijado o pintado.
- Complejas Estructuras curvas no requieren soporte y además no requieren que se remuevan las estructuras de soporte ni tampoco el lijado para remover los defectos dejados por los soportes.
- Debido al más completo curetaje de cada capa durante el proceso de construcción, las piezas de SGC tienen una tendencia reducida a encojarse o distorsionarse.
- Grandes superficies planas pueden ser creadas fácilmente.
- Los procesos SGC son capaces de realizar piezas muy complejas.

3.2.3- DESVENTAJAS

- Piezas un poco bastas.
- Es el dispositivo más caro y el de mayor tamaño.
- Es muy complejo de manejar, necesita de gran preparación y aprendizaje de personal

3.2.4- SISTEMAS DISPONIBLES

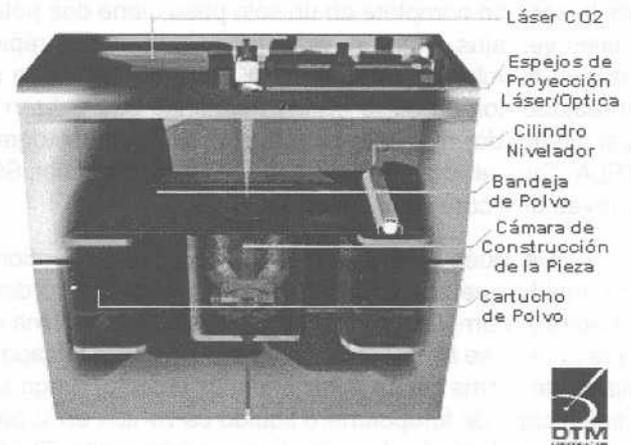
- Cubital, Israel: Solider 4600, solider 5600.

3.3- Selective Laser Sintering (SLS)

El método de SLS tiene un concepto similar al de Estereolitografía, reemplazando el fotopolímero líquido con un polvo fundible en caliente. Así como en Estereolitografía el prototipo es construido por una secuencia de secciones creadas por capas de la pieza generada en un modelo sólido de CAD, en este caso la pla-

taforma móvil va bajando y es cubierta con unas nuevas capas de polvo en vez de polímero líquido, el esquema de SLS es enseñado abajo.

The Sinterstation® 2500 System Process Chamber



(FIGURA 3.7) GRAFICO DEL PROCESO DE SLS

Primero, una fina capa de polvo es depositada en la plataforma de construcción dentro de un volumen cilindro de construcción. Luego, el computador controla el láser proyectando las secciones de la primera capa en la superficie del polvo. La velocidad de proyección y la fuerza del láser son ajustadas para que la energía del láser aumente la temperatura del polvo justo al punto de fusión hasta unir las partículas. Después de que el láser ha proyectado las capas, una sección sólida es proyectada en el polvo. El polvo adicional es proveído por unas reservas y una rueda distribuye una nueva capa de polvo. Este proceso es repetido capa por capa, hasta que la pieza es completada. Finalmente la plataforma es levantada, el polvo sobrante es desechado de la pieza y el proceso es completado. El resultado de las piezas es poroso y tienen una superficie de acabado ordinario.

Para evadir problemas serios de combado, la cámara de construcción es mantenida a altas temperaturas. A estas temperaturas, el polvo es combustible. Por esto es necesario purgar la máquina con Nitrógeno para crear una atmósfera inerte.

3.3.1- APLICACIONES

- Modelos de Representación Visuales.
- Prototipos fuertes y funcionales.

- Para crear moldes metálicos (mediante el uso de cera).
- Corridas cortas y Soft Tooling.

3.3.2- VENTAJAS

· Una ventaja del proceso SLS es que permite el uso de cualquier polvo que sea capaz de fundirse. Además, diferentes polímeros son comúnmente usados, así como las ceras, policarbonato, PVC, nylon y virtualmente cualquier material cuya viscosidad disminuya por efecto del calor. Grandes esfuerzos han sido realizados para usar metales y cerámicas en polvo. Otra ventaja resulta del hecho que el polvo sin sinterizar en cada capa provee un soporte para la pieza que está siendo realizada. Por esto el soporte no es tan rígido y seguro como el de cera usado por el sistema Cubital, ya que las piezas de SLS son usualmente construídas sin ninguna estructura de soporte.

· Es la tecnología que mejor se acopla a las aplicaciones de manufactura.

· Las piezas fabricadas con esta tecnología no necesitan de etapas de postcurado, a menos que se trabaje con cerámicas.

· Producir de polvo a pieza, se lleva generalmente un sólo día de proceso.

· Su avanzado software permite el corte concurrente del modelo sólido mientras se realiza el procesado del objeto.

3.3.3- DESVENTAJAS

· Durante la solidificación, puede ocurrir que en el contorno se endurezca polvo adicional. Esto resulta en una apariencia basta en la superficie de la pieza.

· La Necesidad de proveer una atmósfera inerte continua de Nitrógeno para asegurar la sinterización del material.

· Los gases tóxicos emitidos en el proceso de fusión deben ser manejados cuidadosamente (especialmente para PVC).

· La rugosidad es más visible cuando las piezas contienen superficies de pendientes graduales y por esto, el efecto de escalera es creado capa por capa en el proceso.

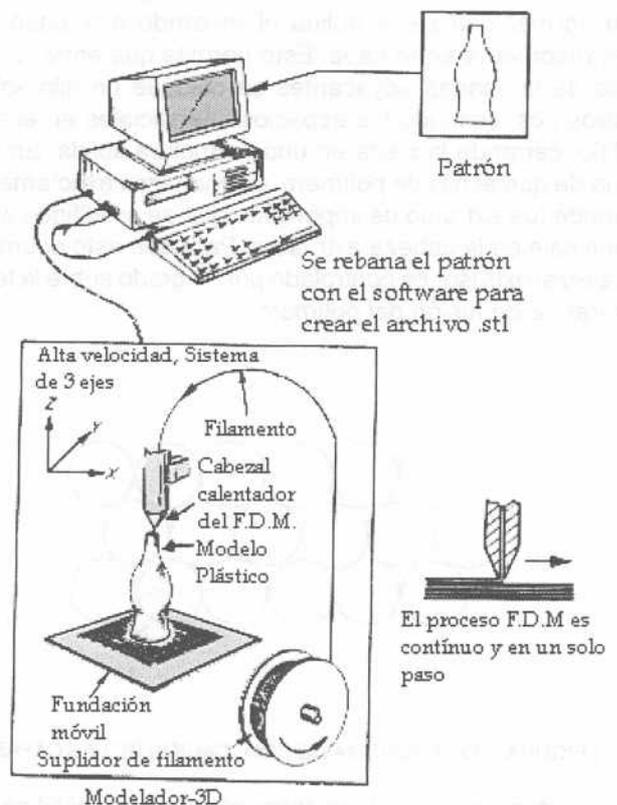
3.3.4- SISTEMAS DISPONIBLES

- DTM Corp., USA: Sinterstation 2000, Sinterstation 2500
- EOS, Germany: Eosint Plastic, Metal, Sand.

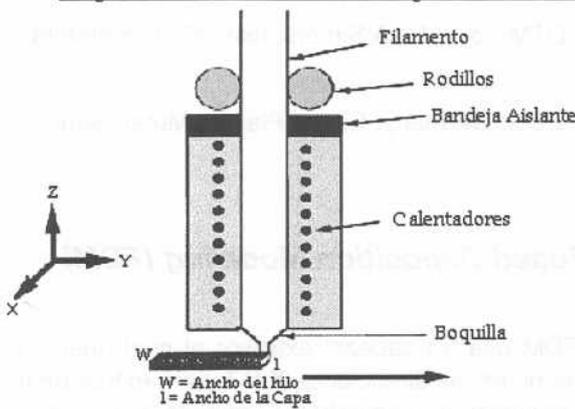
3.5- Fused Deposition Modeling (FDM)

FDM usa un cabezal extrusor el cual puede ser posicionado en las direcciones X,Y,Z para extruir un fino hilo de polímero termoplástico. El cabezal extrusor "dibuja" la área sólida de cada sección, dejando un fino rastro de plástico que instantáneamente se solidifica. Este fino rastro (tan pequeño como 0.002" de grosor por 0.01" de ancho) mientras está siendo extruído, se apila al plástico de la capa inferior.

Siguiendo con la técnica, resulta muy similar a los sistemas descritos anteriormente, la pieza es descompuesta en capas y el cabezal extrusor dibuja una capa a la vez, construyendo la pieza desde el fondo hasta la parte superior.



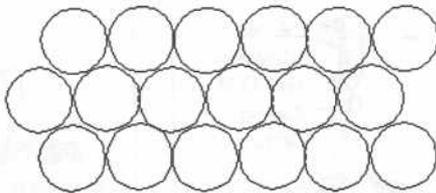
Deposición de material en el proceso F.D.M.



(FIGURA 3.11) DEPOSICION DE MATERIAL EN EL PROCESO FDM

El fino hilo extruído tiene un cierto espesor y si este hilo pasa arriba de otro, el grosor total será duplicado. Esto tiene importantes consecuencias: cuando el cabezal extrusor está dibujando una capa, ninguna de las líneas se deberán solapar o intersectar.

Esta falta de intersección resulta en capas que no son realmente superficies sólidas sino largos hilos continuos formando cada una de las capas. De manera de formar una pieza sólida el recorrido o el paso del extrusor varía entre capa. Esto permite que entre los hilos de las capas adyacentes se coloque un hilo sobre otros dos, evitando los espacios intersticiales en el modelo, cerrando la pieza en una estructura sólida. En forma de que el hilo de polímero permanezca exactamente donde fue extruído es importante que se solidifique apenas sale de la cabeza extrusora. Para que esto ocurra el cabezal extrusor es controlado por un grado sobre la temperatura de fusión del polímero.



(FIGURA 3.12) ESQUEMA DE COLOCACION DE LAS CAPAS

A pesar de todo el termoplástico se solidifica inmediatamente, no es práctico la extrusión de una capa

en voladizo sin soporte afuera en el espacio. Por esta razón el proceso FDM usa estructuras de soporte como las discutidas en la Estereolitografía.

Este sistema usa un segundo cabezal para extruir una sencilla capa de material entre la pieza y la estructura de soporte. Las bajas propiedades mecánicas de este nuevo material permite que el soporte pueda ser fácilmente removido sin dañar la superficie de la pieza. Como lo observado en los otros proceso de RP, FDM es capaz de producir un amplio rango de piezas.

También el material de construcción es usualmente termoplástico. Las propiedades materiales de la pieza no son tan altas como la que esto implica. Esto es debido al resultado de la técnica de construcción. El hilo de polímero del cabezal extrusor se coloca con el polímero en la capa inferior, pero no se acopla tan bien con los hilos de polímeros laterales. En efecto la parte es usualmente porosa, con pequeñas grietas entre los hilos de los polímeros.

3.5.1- APLICACIONES

- Prototipos visuales.
- Aplicaciones y modelos de forma, ajuste y función para posteriores procesos de manufactura.
- Modelos para Investment Casting y para moldeo de inyección.
- Los ingenieros de diseño y manufactura usan los sistemas Stratasys como componentes periféricos de los sistemas de CAD, en un amplio espectro de aplicaciones, a través de muchas industrias. Cualquier industria que manufacture un producto tangible se puede beneficiar de esta tecnología. Las industrias que han incorporado RP y el modelado en sus ciclos de desarrollo de productos, incluyen las automovilísticas, las aeroespaciales, las consumidoras de producto, electrónicas, médicas y otras.

3.5.2- VENTAJAS

- FDM, el cual es implementado por Stratasys, se asemeja más a la máquina de copiado en 3D, conocidos como "3D printers" que a los sistemas discutidos previamente, en que es mucho más práctico para el ambiente de oficina. Es una unidad conveniente de escritorio.
- El polímero termoplástico no posee problemas de seguridad.
- No existen químicos nocivos, entre otros.

- El sistema no requiere un láser, lo cual reduce el costo del mismo y provee seguridad y confiabilidad.
- Puede producir prototipos funcionales de ABS.
- Creación rápida y económica de piezas.
- Puede producir grandes piezas.
- El sistema no desecha material durante o después de la producción del modelo y por lo tanto, no requiere limpieza posterior.
- Los materiales pueden ser cambiados rápidamente.

3.5.3- DESVENTAJAS

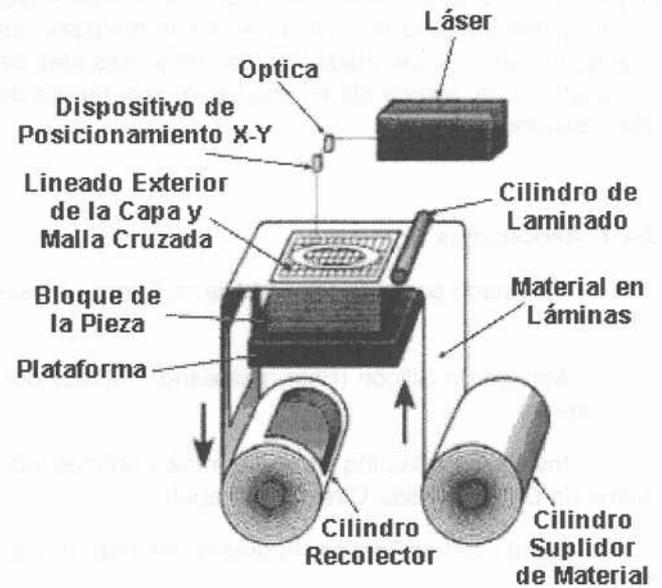
- Precisión restringida debido a la forma del material utilizado: un hilo de 0,05 pulgadas de diámetro.

3.5.4- SISTEMAS DISPONIBLES

- Stratasys, USA: 3-D Modeller, FDM 1650, FDM 2000, FDM 8000, Genisys.

3.4- Laminated Object Manufacturing (LOM)

Este proceso es el opuesto a los conceptos manejados anteriormente. Cada uno de los procesos anteriormente señalados construyen una pieza mediante la adición de material a la misma. Fotopolímeros sin curar o polvo sin sinterizar puede ser reciclado para el siguiente prototipo. Usando LOM las secciones son cortadas de finas hojas de materiales de construcción, produciendo sobras que no pueden ser reutilizadas. Un esquema de este proceso se muestra a continuación:



(FIGURA 3.8) GRAFICO DEL PROCESO DE LOM

Aquí un rollo continuo de material de construcción es indexado a una mesa de construcción. Cada capa es colocada sobre la capa anterior por un cilindro de laminación. Una vez que la capa ha sido colocada, la parte de la sección es cortada mediante el láser. Se hace notar que el láser solamente se requiere para el corte del borde de la pieza, lo cual hace el proceso potencialmente mucho más rápido que los procesos donde se utiliza el láser para fabricar toda la pieza, en los cuales se debe proyectar la superficie completa del sólido.

Mientras cada capa es colocada en la parte posterior, ambas, la parte de la sección y el contorno del volumen construido, son cortados del rollo de material. Como resultado, cuando la parte es completada, ésta se encuentra en un bloque sólido de material de construcción. Para solucionar este problema, las líneas del contorno externo son cortadas para que el exceso de material pueda ser removido.

El material de desecho en las secciones huecas interiores es solucionado mediante el trabajado de estas áreas para crear pequeñas partículas que puedan ser removidas. El material de construcción comúnmente usado en LOM es papel de construcción ordinario. El adhesivo es el fino delineado de plástico usado para proteger el papel a prueba de agua. En este caso, el cilindro de laminado calienta el papel colocando las capas derritiendo el plástico. El adhesivo es un termoplástico (el cual se funde cuando se calienta) y se cura a un estado rígido. Esto resulta en prototipos que poseen una textura y propiedades muy similares a la madera.

Materiales alternativos han sido investigados incluyendo el plástico y películas metálicas, y finas hojas con propiedades cerámicas/polímeros son fundidas, las cuales pueden ser calentadas en un horno después de su construcción, resultando en una pieza de cerámica de alta resistencia.

3.4.1- APLICACIONES

- Moldeado por Inyección (1^{ra} Pieza; Forma, Ajuste y Función).
- Moldes de Silicón (Para moldeado o Maquinado Secundario).
- Investment Casting (Herramientas y Moldes Indirectos de Cera, Pérdida Directa de Papel).
- Sand Casting Tooling (Impresión de Patrones en Arena).
- Modelos Artísticos (Esculturas, Bustos, Arte Moderno y Réplicas).
- Mobiliario (Modelos en Escala Metal/Madera, Oficina y Casa).
- Modelos Arquitectónicos en Escala (Iglesias, Librerías, Altas Elevaciones, etc).
- Moldes y Molduras Realizadas a la Medida al Estilo Colonial/Victoriano (Restauración).
- Mercado (Todas las Industrias, Aumentar el Valor de Presentaciones al Cliente).
- Medicina (Modelos de CAT, MRI, X-Ray; Huesos y Organos).
- Prótesis (Miembros y Uniones Artificiales).
- Dental (Reconstrucciones, Réplicas Dentales a Partir de Rayos-X).
- Paleontología (Crear y Usar Archivos de Huesos en 3D Para Moldes de Silicón).
- Cemento/Concreto (Formas, Moldes).

3.4.2- VENTAJAS

- LOM es otra técnica la cual no requiere de la creación de estructuras de soporte. Cuando la pieza es terminada, ésta se encuentra esencialmente encerrada en un bloque de madera. Actualmente el operador de LOM posee un poco de dificultad al remover el material de desecho de paredes delgadas de la estructura y los interiores

de las estructuras huecas. El volumen de construcción de las máquinas más grandes de Helisys, da como resultado una de las más grandes capacidades en cuanto a dimensiones de las actuales máquinas comerciales.

- Fácil reemplazamiento del papel, plástico y materiales compuestos .
- Tabla X,Y mejorada con alta precisión en el mecanismo de posicionamiento.
- Un buen valor por pulgada cúbica del área de construcción.
- El proceso es mucho más rápido que las técnicas de los demás fabricantes.
- El proceso no produce virtualmente esfuerzos internos ni deformaciones.

3.4.3- DESVENTAJAS

- La estabilidad de los objetos está limitada por la fuerza de apilamiento de las capas pegadas.
- Como el proceso no se adapta bien para la manufactura de piezas con finas paredes en la dirección "z", entonces, el rango de aplicación es aproximadamente restringido para las piezas complejas.
- Piezas huecas, como las botellas no pueden ser construídas.

3.4.4 SISTEMAS DISPONIBLES

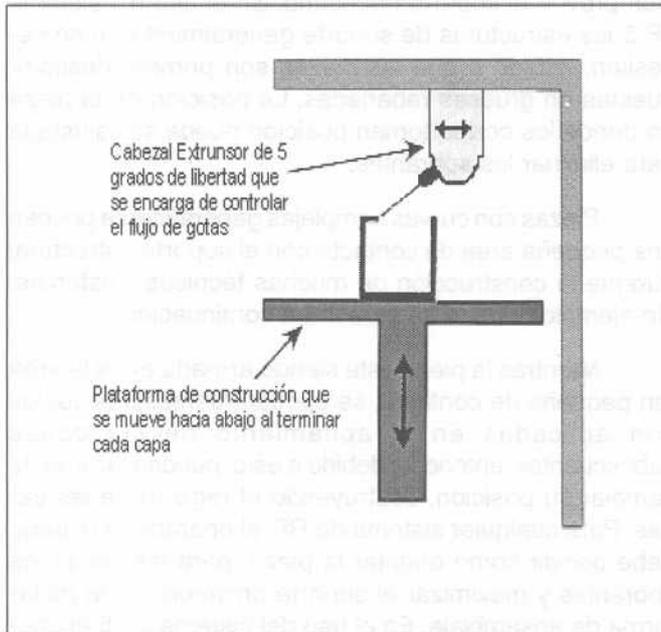
- Helisys, USA: LOM 1015, 2030.

3.5-BALLISTIC PARTICLE MANUFACTURING (BPM)

Esta técnica penetró en el mercado en 1995. La máquina es producida por BPM technologies Inc. que es similar a las máquinas de Sanders en el sentido de que ambas máquinas depositan pequeñas gotas de líquido plástico que se solidifican cuando chocan contra una superficie. La única diferencia de la máquina BPM es que el cabezal de inyección de tinta no solamente se mueve en las direcciones X, Y, Z con respecto a la plataforma de construcción, sino también en ángulos controlados en los cuales las pequeñas gotas son lanzadas a un objetivo.

Esta técnica penetró en el mercado en 1995. La máquina es producida por BPM technologies Inc. que es similar a las máquinas de Sanders en el sentido de que ambas máquinas depositan pequeñas gotas de líquido plástico que se solidifican cuando chocan contra una su-

perficie. La única diferencia de la máquina BPM es que el cabezal de inyección de tinta no solamente se mueve en las direcciones X, Y, Z con respecto a la plataforma de construcción, sino también en ángulos controlados en los cuales las pequeñas gotas son lanzadas a un objetivo.



(FIGURA 3.16) GRAFICO DEL PROCESO DE BPM

BPM usa estructuras de soporte, pero éstas son realizadas por el mismo termoplástico usado para la pieza (La máquina BPM tiene un sólo cabezal de inyección de tinta. Las pequeñas gotas son depositadas en una forma que los puntos de contacto entre la pieza y el soporte son perforados para un fácil desprendimiento.

3.5.1- APLICACIONES

· El termoplástico puede ser usado como la cera en Investment Casting.

3.5.2- VENTAJAS

- El bajo costo.
- El "Personal Modeler", que es el nombre de la máquina que comercializa la compañía está listado en el rango de los \$30,000 a los \$35,000 lo cual es significativamente menor que cualquiera de los fabricantes mencionados anteriormente.

· Similar a la técnica FDM, la máquina BPM es compatible en un ambiente de oficina.

· El material no es tóxico.

3.5.3- DESVENTAJAS

- La máquina es lenta.
- El acabado superficial es basto.

3.5.4- SISTEMAS DISPONIBLES

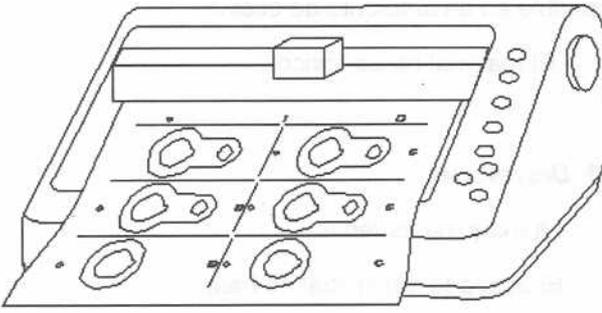
· BPM Technology, Inc. USA: BPM.

3.6- JP Systems 5

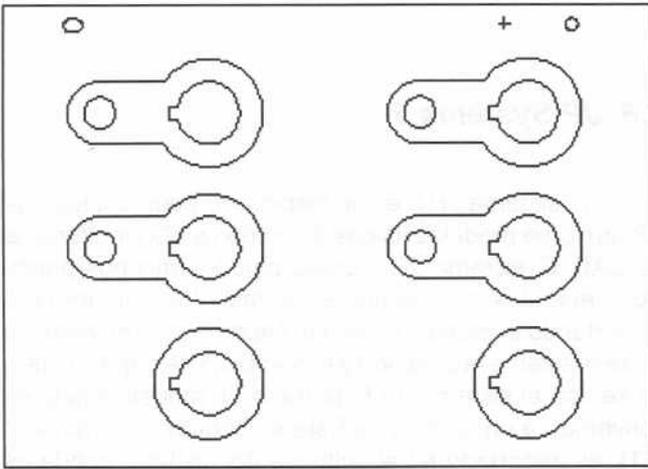
El sistema JP 5 es un dispositivo poco costoso de RP que crea modelos físicos de modelos 3D electrónicos de CAD. El sistema JP 5 opera bajo los mismos principios generales que los procesos descritos anteriormente, cortando el modelo en varias capas y construyendo la pieza mediante la creación y ensamblaje de capas. Cuando se usa el sistema JP 5, primero un modelo sólido es convertido a un archivo de Estereolitografía. El archivo *.STL es importado en el software del sistema donde es proyectado, orientado y cortado. Luego cada sección es cortada de una hoja de material de construcción (usualmente papel). Usando un plotter común y corriente. Las secciones son registradas y laminadas en conjunto manualmente formando el modelo físico.

Una diferencia fundamental con respecto a los otros métodos es el uso del método de apilado secuencial de capas. El sistema JP 5 crea primero todas las capas y luego apila las mismas en un proceso completamente por separado. Esto y la naturaleza del material de construcción permite una nueva flexibilidad en la construcción final del proceso.

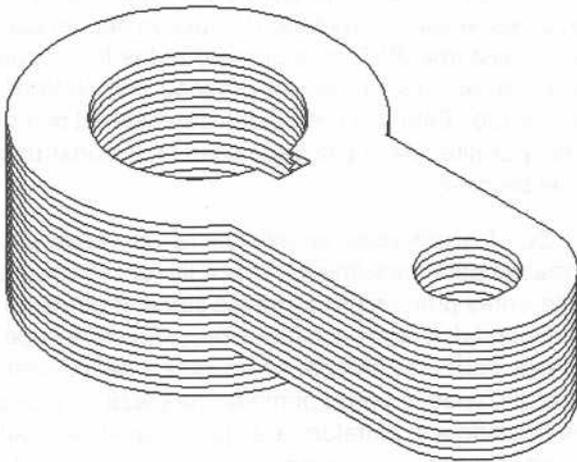
Con los procesos en existencia las capas deben ser creadas secuencialmente, una a la vez. Muchas piezas diferentes pueden ser armadas simultáneamente en la misma plataforma de construcción, pero cada capa de una pieza debe ser creada en un orden secuencial. El sistema JP 5 puede cortar primero una pieza en gruesas capas dejando a la plataforma de la máquina de ensamblaje con diferentes secciones de una sola pieza. Ahora estas secciones son cortadas al grosor del material de construcción.



(FIGURA 3.18) UN EJEMPLO DEL PRINTER JP5



(FIGURA 3.19) LAMINAS TERMINADAS DE JP5



(FIGURA 3.20) PIEZA ENSAMBLADA DE JP5

Las técnicas de RP tradicionales poseen varios métodos para trabajar las zonas en voladizo de la pieza durante la construcción de la misma. Casi siempre una estructura de soporte es creada en los sistemas de Estereolitografía. En algunos sistemas el material en exceso que se encuentra en los alrededores de cada sección provee el soporte necesario. En el uso del sistema JP 5 las estructuras de soporte generalmente no se necesitan, debido a que las piezas son primero descompuestas en gruesas rebanadas. La posición de la pieza en donde los cortes toman posición puede ser ajustada para eliminar los sobrantes.

Piezas con curvas complejas generalmente poseen una pequeña área de contacto con el soporte estructural durante la construcción de muchas técnicas existentes. Un ejemplo de esto se muestra a continuación.

Mientras la pieza está siendo armada en esta área tan pequeña de contacto, se ejercen fuerzas, las cuales son aplicadas en el apilamiento de las capas subsecuentes, entonces, debido a esto, pueden fácilmente cambiar su posición, destruyendo el registro de las capas. Para cualquier sistema de RP, el operador o usuario debe decidir como orientar la pieza, para minimizar los sobrantes y maximizar el soporte proveído por la plataforma de ensamblaje. En el uso del sistema JP 5 el operador tiene la flexibilidad de reflejar cada ancho de la sección construyendo cada sección de arriba hacia abajo o viceversa. Además cuando se hace una esfera el primer ancho de sección se construirá de arriba hacia abajo, suministrando una gran área de contacto entre la plataforma de ensamblaje y la pieza. Este reflejo de una de las secciones es corregido durante el ensamblaje del grosor de las secciones.

3.6.1- APLICACIONES

- Estrictamente para usos visuales y mayormente educativos.

3.6.2- VENTAJAS

- El sistema JP 5 fue creado como una alternativa de bajo costo en relación a las técnicas de RP mencionadas anteriormente. Estas máquinas producen modelos precisos de prototipos rápidamente, partiendo de una gran variedad.

- El costo inicial de la máquina y el costo de producir una pieza típica es de 10 a 20 veces menor que el de las técnicas existentes de RP. Asumiendo que el usuario ya posee un computador y un software de CAD con el equipo y el software requerido para operar un sistema JP

5, debe de tener un precio de alrededor de los cinco mil dólares.

- Requieren alrededor de 1\$ o 10\$ en materiales de construcción y una o diez horas del tiempo del operador para su construcción. Además las capas deben ser ensambladas manualmente usando el proceso de construcción de dos pasos haciendo que las piezas puedan ser producidas tan rápido como los procesos automáticos.

- El sistema JP 5 esta hecho con la intención de ser una herramienta educativa. El dispositivo usa el mismo método de construcción de capa por capa empleado por muchos de los costosos sistemas. Éste requiere que el operador cree un modelo sólido y convierta el modelo a un formato *.STL. El operador debe seleccionar una orientación apropiada de corte, después de esto el prototipo es ensamblado capa por capa. Además aprendiendo a crear un prototipo usando un sistema JP 5 permite al estudiante un entendimiento básico de las ventajas, limitaciones y función de los sistemas discutidos anteriormente.

3.6.3- DESVENTAJAS

- Como es un modelo de bajo precio y acabado basto por la técnica básica que utiliza, es un sistema que su única aplicación es de caracter educativo y visual, ya que funciona bajo el mismo principio de las máquinas de RP, pero no sirve para moldeado (Investment Casting, Sand Casting, entre otras) ni provee gran ayuda visual.

- Ensamble manual de las capas, hace la producción del modelo algo engorroso.

3.6.4- SISTEMAS DISPONIBLES

- Schroff Development Corp, USA: JP System 5.

3.7- 3D PRINTERS:

Recientemente introducidos, son una nueva generación de máquinas de RP, que algunos se refieren como 3D Printing.

Esta clase de máquinas está enfocada hacia la Ingeniería de Diseño para el modelado conceptual y también para la temprana revisión y aprobación del diseño. Estas amigables máquinas de oficina se encuentran al lado de las estaciones de trabajo de CAD, fotocopadoras de oficina y máquinas de Fax.

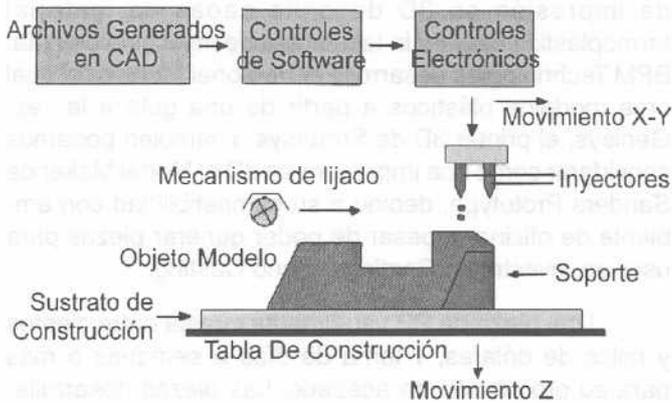
3D Systems ofrece su Actua 2100. Este sistema de impresión en 3D deposita capas de material termoplástico usando la tecnología de inyección de tinta. BPM Technologies desarrolló el Personal Modeler el cual crea modelos plásticos a partir de una gota a la vez. Genisys, el printer 3D de Stratasys. Y también podemos considerar como una impresora en 3D al Model Maker de Sanders Prototype, debido a su compatibilidad con ambiente de oficina, a pesar de poder generar piezas para usar en Investment Casting y Sand Casting.

Una pieza de RP usualmente cuesta entre cientos y miles de dólares, y toma de días a semanas o más para su producción de acabado. Las piezas desarrolladas por los printers 3D generalmente cuestan por debajo de los 50 dólares y toman menos de un día o dos en producirse. Los printers 3D son diseñados para la rapidez y el fácil uso. Pero no tienen la libertad de escoger entre una gran variedad de materiales. Los printers 3D disponibles hoy en día ofrecen un sólo tipo de material, pero muchos diseñadores quieren sacrificar la flexibilidad por tan significativo ahorro de tiempo y costo. Se debería de pensar en esto como un modelo basto que ayudaría a los diseñadores a iterar más rápidamente y avanzar en el diseño antes de ir a otras opciones más costosas de prototipado.

Generalmente se divide a los dispositivos de RP en dos grandes grupos. Un grupo produce prototipos de baja calidad como ayuda visual (forma) y algunos de ajuste. El segundo grupo produce prototipos de gran calidad para patrones de maquinado y exámenes para ensamblajes. El primer grupo construye modelos más rápido que el segundo.

3.7- 3D INKJET PRINTING

Sanders Inc. ha tomado ventajas de la tecnología de la inyección de tinta para producir un bajo costo relativo de dispositivos de RP para escritorio. El dispositivo usa dos cabezales de inyección de tinta. Uno depositando pequeñas gotas de plástico fundido y otro depositando gotas de cera fundida. El dispositivo imprime capa por capa, usando el plástico para el modelo y la cera para proveer soporte. Las capas son de aproximadamente 0.025" de espesor. Después de que cada capa es depositada, un dispositivo de lijado es usado para despegar el tope de la superficie de éstas, produciendo una superficie plana y un grosor conocido. Cuando la pieza es completada el soporte de cera es disuelto químicamente.



(FIGURA 3.14) GRAFICO DEL PROCESO DE 3D INK JET PRINTING

3.7.1- APLICACIONES

- Patrones listos para el uso directo en Investment Casting. El material de construcción es ideal en la quema del mismo para las cáscaras de Investment Casting debido al bajo coeficiente de expansión.

3.7.2- VENTAJAS

- El dispositivo de Sanders tiene muchas de las mismas ventajas que las máquinas de FDM, entre las cuales se encuentran; higiénica y pequeña. Es relativamente compatible con un ambiente de oficina. El precio de este sistema es como mucho, la mitad que el de la máquina más pequeña SLA de 3D Systems.

- No existen desechos de la quema que causen contaminación.

- Alta resolución y calidad en imágenes 3D.

- La mayor ventaja de este dispositivo es la habilidad de producir excelentes superficies de acabado. La posición vertical de la prensa es precisa en una 0.0001", esto permite la creación de muy finas y precisas capas. El grosor usual de una capa es de 0.002", pero la máquina es capaz de realizar capas de aproximadamente 0.0004" de espesor. A este grosor de capa la máquina es

muy lenta, pero puede producir partes con mejor superficie de acabado que cualquier técnica conocida. Todas las técnicas producen partes con una superficie diferente, la cual tiene que ser lijada perfectamente si el acabado de la superficie es crítico. La máquina de Sanders es capaz de producir directamente un acabado sin defectos visuales. Como resultado, el dispositivo está acaparando nichos de mercado en el área de modelado de joyas y pequeños objetos.

- Importa archivos de datos .STL, .HPGL, .DXF, Alias .OBJ.

3.7.3- DESVENTAJAS

- Piezas de tamaño limitado.

- Velocidad limitada.

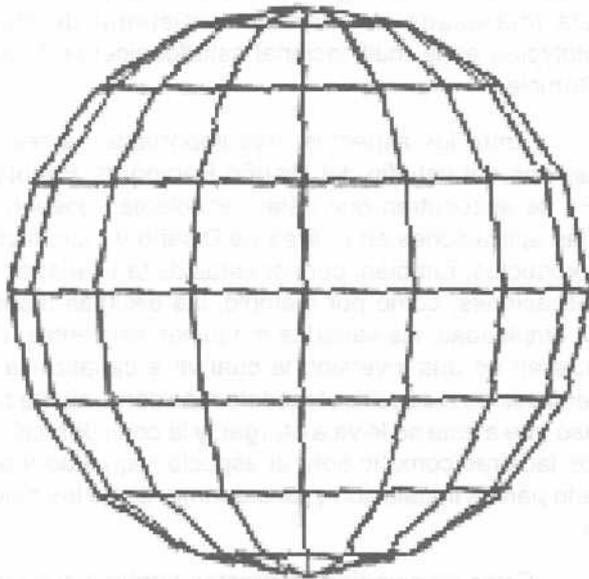
3.7.4- SISTEMAS DISPONIBLES

- Sanders Prototype Inc. (SPI) USA: Model Maker II 3D, Model Maker 6B.

4.1- El Formato de Estereolitografía²

Cuando el primer dispositivo comercial de RP fue introducido por 3D Systems, ellos tuvieron que sobrepasar una barrera significativa. Existían muchos softwares de CAD competitivos que podían proveer modelos sólidos para el prototipado. Cada software tenía un único formato de archivo para guardar las especificaciones de la pieza. Mientras que ya existían formatos estándar para el intercambio de información gráfica, las implementaciones de éstos no eran perfectas y comúnmente necesitaban de un operador con experiencia de CAD para corregir y perfeccionar los modelos después de que éstos eran transferidos.

Las diferencias en los archivos de piezas producidos por diferentes software de CAD son el resultado de diferentes modelos usados de algoritmo, diferentes metas funcionales para los programas y diferentes historias de desarrollo.



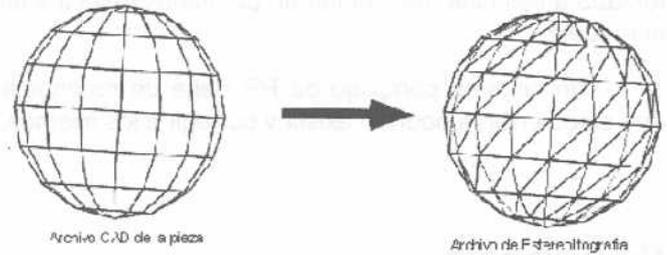
(FIGURA 4.1) EJEMPLO DE ESFERA EN CAD

El número de fases que representa la esfera pueden ser controladas por el diseñador mientras son creadas, pero después de su creación la esfera es almacenada como una lista de polígonos y debido a esto los números de fases no pueden ser cambiadas. Mediante la definición de lo interno y lo externo, el modelo toma el concepto de volumen sólido y por esto el software está en capacidad para calcular la masa de la pieza, los momentos de inercia y otros atributos de un objeto sólido.

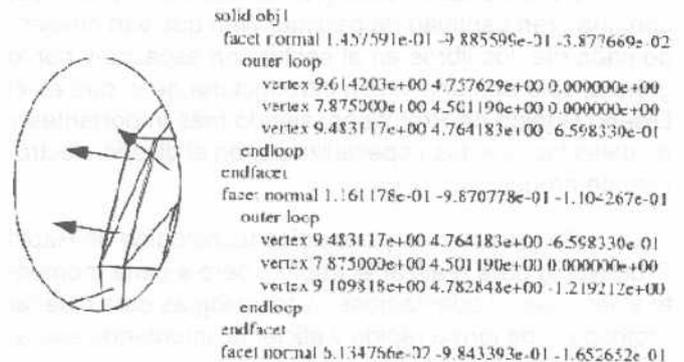
4.2- El Archivo de Esterolitografía: Un formato estándar para RP.

A pesar que los archivos de formato de las piezas para los diferentes sistemas de CAD eran muy diferentes y todavía era deseable que la nueva máquina trabajara con cualquiera de los softwares. Es por esto que para resolver este problema, 3D Systems desarrolló un nuevo formato estándar de archivo que permitiera a la máquina importar a los mismos de cualquier software que usara este formato. Ellos nombraron a este formato especial, el formato de Esterolitografía. A los archivos guardados en este formato se les da convencionalmente una extensión .STL y son referidas como un archivo *.STL.

Bajo el formato *.STL las piezas se aproximan a una lista de triángulos las cuales se asemejan a la superficie de la pieza.



La superficie de la esfera ha sido seccionada en triángulos. Asociados a cada triángulo se encuentra un vector el cual apunta en una dirección perpendicular al plano del triángulo, apuntando hacia la parte externa de la pieza. Además este vector define la aproximación de la pieza *.STL como un sólido y no una superficie.



(FIGURA 4.2) TRANSFORMACION DE CAD A .STL

El formato de Esterolitografía resulta en una aproximación de la pieza en donde el tamaño de los triángulos controlan la precisión de la representación de la pieza. En algunos softwares de CAD el operador posee una flexibilidad para ajustar el tamaño de los triángulos y además la precisión del modelo. Otros sistemas dan una precisión ya estandarizada.

De forma que exista una representación matemática correcta de un sólido, los triángulos deben de producir un volumen completo encerrado. Esto es realizado para muchas de las piezas por todos los sistemas de CAD. Sin embargo, hay algunas excepciones, en las cuales la representación del *.STL es incompleta. A continuación se muestra una figura. En la cual el modelo esférico, en el formato *.STL, presenta algunos triángulos perdidos.

Pareciera que el sistema de CAD produjese dos aproximaciones de mitades de esferas y agrupadas las mismas para formar un esfera. Como sea, los puntos de los triángulos definiendo el borde de las mitades, no fue

forzado a coincidir, resultando en pequeños defectos en el modelo.

Un sistema complejo de RP debe de reconocer que estos errores podrían existir y corregir a los mismos.

CONCLUSIONES

- La meta del Diseño Rápido de Prototipos (RP), es el de reducir el tiempo y dinero requerido para realizar un prototipo nuevo, permitiendo la realización de más iteraciones a un diseño en menos tiempo, haciéndolo más seguro y en consecuencia un producto exitoso.

- La recopilación bibliográfica obtenida es extensa, con una gran cantidad de páginas Web que van creciendo cada día, los libros en el sector son escasos y por lo general sólo dan una visión introductoria de lo que es el Diseño Rápido de Prototipos, siendo más importantes y actuales las revistas especializadas en el diseño electrónico de productos.

- Se tomaron las principales tecnologías de Rapid Prototyping para realizar el trabajo, pero a cada momento salen nuevas adaptaciones y tecnologías para diseñar prototipos, de forma rápida y eficiente, intentando abaratar costos en la producción y diseño.

- Los países industrializados son los más desarrollados en estas técnicas, siendo los Estados Unidos el padre de la tecnología y el que tiene más fabricantes distintos, luego le siguen Japón, Alemania, Francia e Israel. El mercado ha crecido continuamente durante los 10 años que llevan comercializados y se pronostica que este crecimiento continúe, aunque los inversionistas en la bolsa piensan lo contrario.

- El Rapid Prototyping es utilizado con tres motivos fundamentalmente, como ayuda visual para mercadeo o diseño, para pruebas de ajuste y su principal uso como patrón para generar moldes y obtener corridas cortas de producción de materiales distintos a los ofrecidos por los fabricantes para RP.

- En Venezuela, obtener información sobre la cantidad de productos que se diseñan como propios en el país es muy difícil de recopilar, la falta de empresas que se encarguen del diseño de nuevas piezas es limitada y no se consiguió información sobre alguna compañía o alguien que fabrique prototipos de forma tradicional para saber cual es su mercado.

- Es factible colocar un sistema de Diseño Rápido de Prototipos en cualquier compañía que diseñe al menos 100 productos que necesiten pruebas al año, lo cual

es muy difícil de conseguir, la única compañía en Venezuela interesada en montar un sistema de Rapid Prototyping es la multinacional estadounidense Procter & Gamble.

- Entre los aspectos más importantes a resaltar obtenidos del estudio del Diseño Rápido de Prototipos (RP), se encuentran que éstas tecnologías poseen variadas aplicaciones en el área de Diseño y Manufactura de productos. También, por ser éstas de tan variadas especificaciones, como por ejemplo, las distintas tecnologías empleadas, las variadas máquinas existentes, etc., requieren de una inversión la cual va a canalizar a los Inversionistas a adquirir el modelo más conveniente para el uso que a éste se le va a otorgar, y la consideración de otros factores como lo son, el espacio requerido y adecuado para la instalación y funcionamiento de las máquinas.

- Estas tecnologías se prestan también al análisis de la futura implantación de unos talleres de servicio o Service Bureaus, los cuales actuarían en carácter de Outsourcing a las compañías que requieran de estos servicios aquí en Venezuela.

- El Diseño Rápido de Prototipos, ayuda a los Diseñadores o Ingenieros a observar en una etapa prematura, la forma y funcionamiento de los productos a desarrollar, dando una enorme ventaja dentro del proceso de desarrollo de los mismos, permitiendo así, obtener una ventaja competitiva en relación a las demás compañías, lo cual hoy en día es muy crucial debido a la globalización existente, lo cual hace que los fabricantes, necesariamente deban mantenerse al tanto de las nuevas tecnologías que se desarrollan continuamente.

- Ahora con RP, tanto los clientes como los Diseñadores o Ingenieros, pueden evaluar rápidamente de una forma real, tanto al diseño como al proceso, antes de que el producto entre en las etapas de procesado final (la producción en serie de los mismos) u otras grandes inversiones en tiempo y costo.

- Aunque las piezas desarrolladas por RP no pueden ser usadas para manufacturar directamente a las mismas, éstas son muy útiles para ayudar a los procesos de manufactura por medio de procesos de moldeado dentro de la rama de Rapid Tooling.

- A nivel académico, ésta tecnología es de gran ayuda al estudiante de Ingeniería Industrial debido a que el desarrollo de productos es una de las ramas mayormente utilizadas y en la cual el Ingeniero está en la capacidad de desarrollar su creatividad e inventiva.

- Del desarrollo de esta tesis surgieron unos importantes contactos entre las distintas compañías fabricantes de las máquinas de Rapid Prototyping y los Service

Bureaus con la UCAB, lo cual es de suma importancia debido a la posibilidad de la futura implantación de esta herramienta en la Universidad, ya que entonces, se requeriría de más información acerca de esta materia.

·Es de hacer constar que esta tesis está realizada para fines académicos, es decir, para fines de consulta o para el posible desarrollo de esta tecnología en la UCAB.

NOTAS

¹THOMAS, Charles "An Introduction to Rapid Prototyping"

² THOMAS, Charles "An Introduction to Rapid Prototyping"

² WHOLERS, Terry "Origins of RP"

³ CLUA, Xavier "Prototipos Rápidos: La Respuesta a Nuestros Tiempos"

⁴WHOLERS, Terry "What is Rapid Tooling?"

⁵ HOSNI, Yasser; Jamal Nayfeth; Ravindram Sundaram "Investment Casting Using Stereolithography: Case of Complex Objects"

La Ingeniería Concurrente. Filosofía de trabajo del siglo XXI *

Ing. Mariela Matute

Ing. Patricia Paz

La riqueza de un país es el reflejo de sus avances en el sector manufacturero. Sin embargo, la creciente competencia internacional y los cambios tecnológicos están forzando a que las compañías manufactureras introduzcan nuevos productos y actualicen los ya existentes para mantenerse en el mercado.

Es un hecho que las compañías buscan nuevas técnicas para mejorar la calidad de los productos, reduciendo los costos de producción y el tiempo requerido para introducir los nuevos productos al mercado, con la meta de satisfacer las demandas de los clientes.

La Ingeniería Concurrente (IC) apoya el trabajo en equipo y considera simultáneamente, durante la etapa del diseño, todas las actividades del ciclo de vida del producto (CVP), desde su concepción hasta su reciclaje y desecho, con énfasis en lo que el cliente espera.

La correcta implantación de la filosofía de la Ingeniería Concurrente es primordial, ya que el 80% del costo de manufactura se determina durante el diseño del producto.

El enfoque de la Ingeniería Concurrente ha sido implantado exitosamente en E.U.A., Europa y Japón. Esta metodología esta siendo adoptada en varios países en desarrollo como Corea del Sur, Singapur, Brasil y Hungría. La industria Venezolana debe conocer y aplicar estas tecnologías avanzadas para mantener y mejorar su posición en el mercado mundial, especialmente ahora con la globalización. Por lo mismo, las universidades deben introducir en sus programas de ingeniería temas relacionados a la Ingeniería Concurrente y a sus tecnologías mas relevantes. El sistema educativo Venezolano tiene que tomar la responsabilidad de dar al estudiante los conocimientos y el entrenamiento necesarios para apoyar a la industria del país.

La Historia de la manufactura, desde la segunda Guerra Mundial ha tenido grandes avances y cambios revolucionarios, los cuales han influenciado a su vez en la ingeniería, llevando al mundo de hoy a la era de la información y tecnología, así como lo hizo el cobre, el hierro y el renacimiento, en las eras pasadas. La evolución de la humanidad ha obligado que en esta era se realice un nuevo cambio, quizás menos significativo que muchos otros en la historia como fue la Revolución Industrial o la producción en masa pero si de igual importancia para la competitividad de las empresas manufactureras, que se encuentran ahora en un mundo globalizado en donde cada vez es más difícil sobresalir y sobrevivir dentro del mercado; donde los consumidores cada vez exigen productos más a su medida, a menor costo y de mejor calidad y donde la tecnología avanza tan rápidamente.

Durante la década de los 80 se produjeron varias iniciativas de mejoras enfocadas hacia el manejo de materiales y la función de manufactura. Algunas iniciativas fueron orientadas a mejorar la gerencia de procesos y en fortalecer a los empleados. JIT, Kanban, y los círculos de calidad son ejemplos de iniciativas enfocadas en el proceso. Otras fueron enfocadas básicamente en tecnologías que soportan o automatizan el negocio o el proceso de producción. MRP, Códigos de barra y CIM son ejemplos de iniciativas enfocadas basándose en la tecnología, las cuales estuvieron de moda en U.S.A durante la década de los 80.

Numerosas empresas manufactureras experimentaron grandes beneficios de la implantación de estas técnicas. Los ciclos de tiempo en la producción fueron drásticamente reducidos, los inventarios fueron manejados con niveles bajos, y la calidad del producto fue claramente mejorada en muchos segmentos de la industria.

* Trabajo especial de grado, para optar al título de Ingeniero Industrial. Mención publicación. Tutor: Ingeniero Vicente Napolitano. UCAB/1998

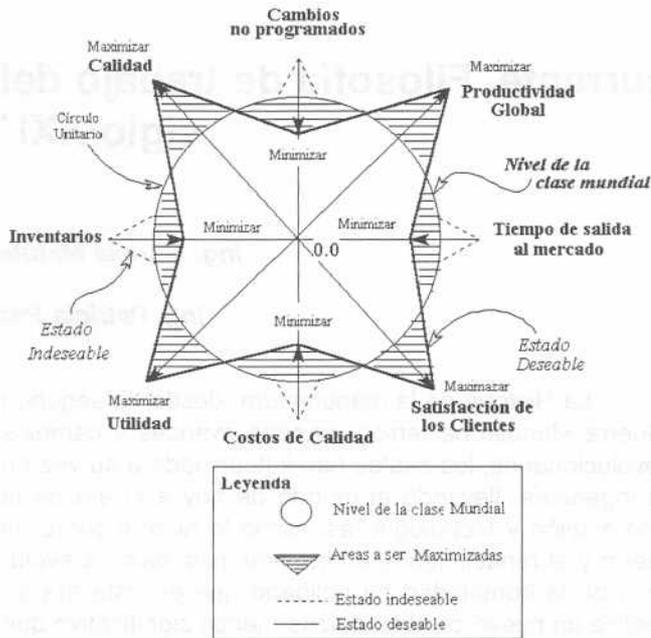


Figura 1

Los indicadores positivos de mejoras mostrados en la figura #1 han sido algunos de los más difíciles de apreciar. Los gerentes de producción y materiales, y los técnicos más preparados están ahora en las calles, buscando trabajo. Todos los días están ocurriendo uniones, adquisiciones, y bancarrotas de compañías que suplían tecnologías en estas áreas. Compañías con gran fama como Prime Computer, Cullinet, Computer Partners, Automatix, Apple y otro gran número de corporaciones como éstas, se encuentran reestructurándose o disminuyendo su tamaño (venta de acciones). En muchas de las firmas contadoras como Booz-Allen Company, "el desarrollo de sistemas" se ha re-enfocado y transformado en "sistemas de integración". En casi todos los segmentos de la industria, cuyo negocio es la producción de bienes (manufactureras), los cambios significativos fueron evidentes.

Usuarios en todos los sistemas funcionales y manejo de la data del producto son ejemplos de los próximos pasos en las tecnologías. Usuarios en Ingeniería Concurrente y Diseño de Manufactura son ejemplos de iniciativas de mejoras que atrapan ambos, el proceso y el ambiente tecnológico.

Una de las principales tendencias en la manufactura es la participación constante de los grupos de producción, planificación de materiales y apoyo de ingeniería, desde el inicio, en el desarrollo de nuevos productos, para asegurar que se administren eficazmente los productos durante sus ciclos de vida, el cual se refiere a todas aquellas actividades por las que el producto pasa

desde la determinación de especificaciones, las fases de diseño, planificación del proceso, manufactura, inspección, mercadotecnia y desecho o reciclaje.

Una estrategia para conseguir un diseño integrado del producto y de su proceso de fabricación y de servicio es la *Ingeniería Concurrente (IC)*.

El término IC, también se refiere al equipo de diseño que utilizan varias empresas. Es evidente, como lo dan a entender estos términos, que se requiere interacción continua y acciones en paralelo desde el diseño del producto hasta el proceso de producción. Es necesario que otras áreas, como mercadotecnia y compras, participen e interactúen en todas las fases de diseño y desarrollo: sus ideas son fundamentales para la planificación de la producción, la capacidad de producción y la disponibilidad de componentes y materiales. La secuencia que va desde el diseño del producto hasta su entrega al mercado no es una serie de pasos consecutivos. La interacción continua durante todo el proceso asegurando que se libere al cliente un producto bien diseñado, a un precio competitivo y a tiempo.

La consecución de este objetivo ayudará a los diseñadores, desde el inicio, a que tengan en cuenta todos los elementos del ciclo de vida del producto, desde el diseño conceptual hasta su disponibilidad, es decir, las necesidades del mercado que van a cubrir, los requisitos de calidad y costos, los medios y métodos de fabricación y la venta y el servicio necesarios para garantizar la satisfacción del cliente.

Esta forma de trabajar, como ya se mencionó, requiere de la cooperación entre todos los departamentos de la empresa y sustituye al clásico entorno de trabajo de desarrollo y fabricación del producto, basado en acciones secuenciales, por otro entorno de trabajo *concurrente, simultáneo* y en equipo desde el mismo instante en que se inicia el proceso (desde que nace la *idea!*).

También se conoce por otros nombres, como son los de Ingeniería Simultánea, Equipos de diseño, Ingeniería Total o Desarrollo Integrado del producto, pero el de Ingeniería Concurrente recoge mejor esta concepción de cooperación para un objetivo común.

LA FILOSOFÍA DE LA INGENIERÍA CONCURRENTE

La filosofía de la Ingeniería Concurrente o Simultánea, ha sido propuesta como un medio potencial para incrementar las prácticas en el desarrollo de productos, envolviendo simultáneamente todas las X-habilidades (tales como funcionalidad, confiabilidad, manufacturabilidad,

mercabilidad, etc.) concernientes a nuevos productos en busca de reducir el tiempo y los costos, de desarrollo de productos para así lograr alta calidad y valor.

$$IC \Leftrightarrow [\text{consideración } \forall \text{ X-habilidades}]$$

La alta competitividad en el mundo de los mercados, ha forzado a las compañías a mirar nuevos medios para incrementar la calidad de los productos, disminuir los costos de producción y reducir el tiempo de introducción de los mismos en el mercado. IC parece ser la clave para lograr y mantener una ventaja competitiva a través de desarrollar alta calidad, productos altamente funcionales que son producidos eficientemente a través de una sinergia entre los productos y el diseño de procesos integrados, al mismo tiempo, también se consideran múltiples factores del ciclo de vida tales como funcionalidad, servicio, manufactura, mercadeo y reciclaje.

El objetivo de esta filosofía está enfocado en el incremento de la calidad, reducción del costo de ciclo de vida, y por último reducción de los tiempos de desarrollo, lo cual, a su vez es el fin de las industrias en general.

Ampliamente IC es un reto gerencial para organizar la información entre las diferentes partes involucradas, lograr revisiones tempranas en el diseño por el equipo de desarrollo, aplicación de la ingeniería y el despliegue de la función de calidad.

IC ha sido definida por Winner¹ como un enfoque sistemático de la integración del diseño concurrente de productos y sus procesos relacionados, incluyendo manufactura y otros departamentos. Este enfoque orienta a que los empleados consideren todos los elementos del ciclo de vida del producto desde la concepción hasta la posventa, incluyendo calidad, costo y requerimientos del usuario.

$$IC \Leftrightarrow // f(\text{CVP})$$

Cleetus² ha propuesto otra definición; IC es un enfoque sistemático del desarrollo integrado del producto, que se enfatiza en responder a la expectativas de los consumidores y a la incorporación de valores de cooperación (compartiendo de tal forma esa decisión), haciendo el producto por medio de intervalos de trabajo paralelo en todas las perspectivas del ciclo de vida, sincronizados por cambios comparativamente breves al producir el consenso.

$$IC \Leftrightarrow // [f(\text{CVP}) + \text{consenso} + \text{cooperación}]$$

Muchas compañías manufactureras comenzaron a ver los grandes beneficios que pueden alcanzarse al implementar IC, sin embargo, las industrias se han visto frecuentemente forzadas a adoptar métodos prácticos para resolver problemas inmediatos. El uso de la alta tecnología de información ha pasado a jugar un rol secundario en la implantación de IC en la industria. Los beneficios organizacionales han tomado prioridad al igual que el uso de metodologías formales, tales como el diseño para el ensamblaje y manufactura, un rango de técnicas de calidad de ingeniería para manejar sistemas de intercambio complejo, encontrar el diseño óptimo y los parámetros del proceso de producción. Esta es la situación actual, pero es común que las compañías al volverse más experimentadas en IC comiencen a darle mayor importancia a los métodos de información sofisticados.

Las iniciativas académicas se han enfocado en desarrollar aplicaciones de software que den soporte a la implantación de técnicas para mejorar procesos específicos y en desarrollar estructuras que permitan capturar e intercambiar la información. La meta de tales investigaciones tecnológicas dirige a mediano plazo con la intención de mejorar la comprensión de las técnicas futuras de soporte para IC y para suavizar la transición de las técnicas actuales a las futuras.

Como se ha visto, desde 1988 han surgido muchas interpretaciones de IC en la literatura y en los grandes centros de Investigación; mencionando algunos de estos conceptos se puede demostrar que definitivamente IC es una filosofía de trabajo, tal como la define:

Aparicio J.M., 1996

IC es la filosofía con la cual todos las actividades del ciclo de vida del producto son consideradas en la fase de diseño. Ésta es realizada por un equipo de trabajo multidisciplinario de expertos, con el objetivo de identificar y prevenir problemas en las fases siguientes del ciclo de vida. Buscando incrementar la calidad de los productos y disminuir el tiempo de desarrollo de los mismos.

$$IC = \text{Min} \int_0^{\text{CVP}} (T) d\text{CVP}$$

CALS³, 1991

IC es un enfoque sistemático del diseño de producto que considera todos los elementos del ciclo de vida, desde la concepción hasta la distribución/venta....IC define simultáneamente el producto, los procesos de ma-

1 et. al. 1988

2 CERG 1992, Ashley 1992

3 Oficina Computer-Aided Acquisition and logistics suport

nufactura y todos los demás requerimientos de los procesos que conforman el ciclo de vida, así como el soporte logístico. IC no es una eliminación arbitraria de la fase de la existencia, secuencia, planeación de los procesos de ingeniería, sino el deseo de que las características del pre-diseño duren hasta las fases finales, para obtener un diseño definitivo posible de ser producido, a un menor costo que el diseño secuencial.

IC \Leftrightarrow [diseño robusto por un costo efectivo + diseño simultáneo]

Ellis, 1992

IC es un ambiente de ingeniería de diseño en el cual la tecnología de diseño asistido por computadora es utilizada para fijar e incrementar la calidad de productos, no sólo durante las actividades de la fase de diseño, sino a lo largo de todo el ciclo de vida.

IC \Leftrightarrow Máx f (calidad)

O mejor dicho:

$$IC \Leftrightarrow \int_0^{CVP} (Q) dCVP$$

La visión estrecha de IC es "Diseño Integrado del Producto y del Proceso". La visión amplia es "Integración de la empresa".

IC \Leftrightarrow [integración diseño del producto y del proceso a lo largo de toda la empresa]

Finalmente se puede resumir el concepto de IC en:

$$IC = \text{Mín} / \text{Máx} \int_0^{\text{Empresa}} (F) dCVP$$

Donde F puede ser tiempo, costo y/o calidad.

IC es una iniciativa de mejora que se enfoca en hacer Reingeniería a la función de desarrollo de producto para aumentar la velocidad, eficacia, y calidad.

Las metas están bastante claras:

- Elevar las ventas y ganancias de los nuevos productos

- Reducir el nuevo tiempo de entrada al mercado del producto

- Reducir los costos

- Mantener o aumentar la calidad del producto

- Tomar ventaja del conocimiento y la experiencia

Desde una perspectiva del alcance del proyecto, la aplicación de programas de IC es finita y manejable:

- Llevar a cabo los cambios del proceso dentro de 1-2 años

- Involucrar a las personas con nuevos productos

- Enfocar las mejoras del proceso

Si se siguen estos tres principios básicos de alcance del proyecto, los esfuerzos de desarrollo concurrente del producto rendirán los beneficios esperados dentro del período de tiempo planeado. Muchas compañías se enfocan en soluciones basadas en tecnologías para resolver los problemas. Casi por definición, el desarrollo, la aplicación, y el entrenamiento para las soluciones basadas sólo en tecnología excederán los 2 años.

IC, es el proceso de diseñar un producto usando todos los insumos y evaluaciones simultáneamente y al principio durante la etapa de diseño, para asegurar que se cumplan las necesidades de los clientes internos y externos.

Por tradición, las actividades durante el desarrollo del producto se manejan en forma secuencial, y no concurrente. Así el departamento de mercadotecnia identifica una idea de producto; después, el ingeniero de diseño crea y construye algunas unidades prototipo; el departamento de compras pide presupuestos a los proveedores; después, el departamento de manufactura produce unidades, etc.

Un contraste mayor entre la ingeniería tradicional y la concurrente se presenta en la tabla # 1. La ingeniería concurrente no es un conjunto de técnicas; es un concepto que permite a todos los que afecta el diseño: 1.- tener acceso temprano a la información del diseño; 2 - tener la habilidad de influir en el diseño final para identificar y prevenir problemas.

IC ha proporcionado drásticos beneficios, por ejemplo, 50% menos cambios de ingeniería, 40-60% menos tiempo desde la concepción del producto hasta colocarlo en el mercado, 75% de reducción en pérdidas y retrabajo, y 30-40% de reducción de costos de manufactura

	Tradicional	Concurrente
<i>Organización</i>	La ingeniería está separada de la manufactura y otras funciones; en los objetivos funcionales	Equipo multifuncional con énfasis énfasis en el objetivo del equipo
<i>Programación de insumos de otras funciones y proveedores</i>	La mayor parte una vez que ingeniería terminó el diseño.	Simultánea con la creación de las características de desempeño del diseño
<i>Frecuencia y programación de los cambios del diseño</i>	Gran número de cambios, muchos de los cuales ocurren después de las pruebas o durante la producción	Menor número de cambios, la mayoría de los cuales ocurren antes de terminar el diseño
<i>Sistemas de información</i>	La transferencia de conocimientos entre funciones y los cambios de diseño están ambas sujetos a retrasos de los sistemas administrativos	Sistemas computacionales mediante los cuales todas las funciones tienen acceso inmediato a los cambios de diseño y otra información
<i>Localización física de las funciones</i>	Casi siempre en lugares separados	Con frecuencia se localizan en un área

Tabla # 1

Ingeniería Concurrente versus Ingeniería Secuencial

INGENIERÍA DE DISEÑO TRADICIONAL Vs CONCURRENTE

Al comienzo de la era de la información, existía una fuerte creencia en que el control del flujo de información era el componente clave para el éxito, es por eso, que se exigía poner a la organización para controlar el flujo de información. El producto era hecho a través de una ingeniería basada en secuencias. Durante esta era del control, el desarrollo de líneas de productos parecía ser la forma correcta de hacerlo. El diseño de productos y el desarrollo de procesos fueron obtenidos en fases, estas fases tenían un orden consecutivo y estaban segmentadas con grandes brincos. Las tareas tales como definición de especificaciones, definición de productos y procesos, distribución y soporte fueron ampliamente identificadas. Las últimas fases se terminaban antes de iniciarse las primeras, por ejemplo, los requerimientos precedían a la definición del producto. Los ingenieros de diseño (basándose frecuentemente en dibujos) dominaban

las primeras etapas del diseño conceptual y las preliminares al desarrollo. Los expertos en mercadeo le suministraban las necesidades a los diseñadores, quienes determinaban las especificaciones del producto.

En la mayoría de los procesos secuenciales de ingeniería, era habitual que el departamento de investigación de mercado determinara las necesidades de los consumidores y realizara la proyección de las ventas para dárselas a planeación. El departamento de planificación desarrollaba los requerimientos técnicos para el producto y mandaba esas especificaciones al grupo de ingeniería de producto. Este grupo después diseñaba y desarrollaba el producto. Luego el prototipo era entregado a manufactura en donde los ingenieros podían iniciar el proceso de producción a gran escala. De esta manera, pocas veces se lograba la producción del producto definitivo, ya que se generaban muchos cambios en ingeniería para reparar los problemas que se presentaban, pero, debido a la presión del tiempo sólo se ponía atención al problema que aparentaba ser mayor. Algunos de éstos problemas se listan a continuación:

- Diseños de productos inapropiados para producirse.
- Falta de equipos adecuados de manufactura.
- Las grandes tolerancias ocasionaban trabajo extra y gran cantidad de piezas defectuosas.
- Problemas con el ensamble de las partes.
- Incompatibilidad de los equipos, herramientas, ensambladoras automáticas, etc. existentes.

Se medía cada etapa por medio de los errores, cambios y correcciones que se hacían en la misma. Existían largos períodos de negociación para resolver los problemas pertinentes a la producción lo que traía como consecuencia un largo tiempo unitario de producción. Después de un tiempo los expertos de procura debían participar en el proceso para garantizar la disponibilidad de las partes y materiales necesarios para el proceso de ensamble. Finalmente, el personal de mercadeo y ventas se involucraba para introducir el producto en su mercado objetivo. Los análisis para remediar los problemas de diseño no son hechos automáticamente, por lo tanto no son la manera para prevenirlos antes de que ocurran. Si se necesita un cambio de diseño, el proceso se repite desde el inicio nuevamente. Las dificultades ocurren como resultado de un proceso de ingeniería en serie. Aquí cada fase de diseño se inicia cuando la previa es terminada; durante este proceso, la información incompleta es pasada a una nueva fase y enriquecida con datos nuevos solo para ser pasada a la etapa siguiente. El proceso es análogo a un equipo de relevo que tiene que correr "x" kilómetros entre los esfuerzos colectivos de "n" corredores. Cada corredor llega hasta un poste equidistante (x/n km.). Cada corredor comienza de una posición estacionaria. El primero arranca y pasa el objeto al segundo, al final de x/n Km., el segundo al tercero, el tercero al cuarto y así sucesivamente. El último corredor termina la carrera.

Si v_i es la velocidad máxima en la que el corredor i puede llegar comenzando desde su posición estacionaria, entonces

El promedio de la velocidad para alcanzar la meta desde su posición inicial estacionaria es

$$= v_i / 2 \text{ Km / hora; para } i = 1, n$$

El tiempo necesario para finalizar la carrera puede ser calculado de la siguiente manera:

El tiempo que se toma un corredor para atravesar x/n Km = $(x/n) * (2/v_i)$.

El total del tiempo tomado por todos los corredores para finalizar la carrera de relevo será la suma de los

tiempos individuales. Si nosotros llamamos a este tipo de carrera como una carrera de relevo secuencial, el tiempo total, T , es:

$$T = \sum_{i=1}^n \frac{x}{n} \times \frac{2}{v_i}$$

En un proceso de ingeniería secuencial, pasa lo mismo que en una carrera de relevo, excepto cuando el corredor es reemplazado por un grupo de expertos disciplinarios; la distancia a ser atravesada es reemplazada por el trabajo a ser terminado; las zonas de relevo son reemplazadas por las fases del ciclo de vida para el desarrollo del producto; la velocidad del corredor es reemplazada por el tiempo para completar una fase, la garrocha por las revisiones del diseño al completar cada fase; y la carrera completa es sin duda alguna el diseño y desarrollo de un producto. El tiempo total del ciclo es usualmente un múltiplo de la suma del de cada fase. Este tipo de enfoque es también conocido por otros nombres, incluyendo por supuesto Ingeniería Secuencial, Lineal o de fases y el método chimenea. Entonces de ahora en adelante denotaremos este proceso como IS, donde el tiempo total del ciclo sería:

$$T_{IS} = [T_{\text{requerimientos}} + T_{\text{def.producto}} + T_{\text{def.proceso}} + T_{\text{manejo,logistica,soporte}}] * R_{\text{factor}}$$

Donde, $T_{\text{requerimientos}}$, $T_{\text{def.producto}}$, $T_{\text{def.proceso}}$ y $T_{\text{manejo,logistica,soporte}}$ representan el tiempo necesario para culminar una fase particular. R_{factor} es equivalente al factor repetición. En IS, no existe un diseño consistente, análisis, y metodologías documentadas para conducir el negocio. En el último minuto ingeniería cambia originando costos más altos en la ingeniería del producto, debido a la falta de tiempo en el análisis de las consideraciones para la manufactura durante las primeras fases del desarrollo del producto. La preparación de la data para el análisis frecuentemente es muy larga, y con el tiempo los resultados son encontrados, el diseño muchas veces es cambiado haciendo poco uso del análisis. El resultado de IS tiende siempre a ser un diseño más largo y el ciclo, está constituido por tareas innecesarias, para obtener un producto de calidad.

Esto muestra cambios en la última parte del ciclo de producción, ingeniería; diseños con excesivos números de piezas, grandes quejas por parte del consumidor, confusiones en la manufactura, muchas pérdidas y retrabajo, excesivo campo de soporte y servicios, y solo apreciaciones marginales del consumidor o satisfacción, comparada con un producto de la competencia. Como resultado, el valor de R_{factor} para IS usualmente se encuentra por encima de dos.

$$R_{\text{factor}} \gg 2.0$$

En los años recientes, las computadoras han sido extensivamente usadas en el ciclo de un producto. El desarrollo del producto es ahora frecuentemente llevado a cabo con la ayuda de herramientas de computación tales como CAD, CAM, CAPP, etc. Estas herramientas automatizan el proceso manual discreto de diseño de producto sin afectar la naturaleza lineal inherente al proceso. Aunque se pensó que esto podría disminuir el tiempo del ciclo de desarrollo e incrementar la comunicación entre el diseño y la manufactura, esto no ha ocurrido, porque se han automatizado las funciones en una fase, sin afectar el proceso secuencial de transmitir la información enriquecida de una fase a otra. Un tiempo significativo es perdido en mantener la naturaleza secuencial del proceso y desempeñar el control de las interfaces o la integración de la información entre las fases, creándose una proliferación de islas de departamentos debido a la estructura funcional de la organización. La ausencia de iniciativas por parte de la gerencia para la cooperación y la cultura inflexible de la organización para cambiar, tienen impedido la obtención de mejoras en eficiencia y productividad. El impacto de la automatización en el ciclo de desarrollo del producto ha tenido, como resultado, muy poco, gracias a la resistencia al cambio en el proceso global.

El enfoque secuencial para el diseño, desarrollo, manufactura y mercadeo del producto tiene muchos otros defectos:

- Está basado en la premisa de que una nueva fase no puede comenzar antes de que la vieja sea completada y aprobada. Esto usualmente se traduce en un largo ciclo de desarrollo del producto.
- Las sugerencias de estructura secuencial originan que una porción significativa (50-80%) del costo de manufactura puede ser incurrido antes de que Ingeniería participe en el diseño del producto.
- Debido a la pérdida de tiempo, el producto final puede llegar a estar obsoleto al entrar al mercado y no cumplir con las expectativas del cliente en el nuevo entorno.

En los 90's, ha emergido un nuevo enfoque que se concentra en el tiempo como variable crítica del ciclo de vida del diseño del producto.

El departamento de desarrollo de producto analiza el tiempo de duración del ciclo a lo largo de toda la organización con la meta de eliminar tareas no necesarias logrando una reducción del tiempo y el mismo producto final o servicio. Este nuevo enfoque se centra en las tareas que dan valor agregado al ciclo, desde Ingeniería hasta la Manufactura, y desde la orden del cliente hasta la entrega. Esta gerencia de proceso es lo que comúnmente referimos como IC. En IC, las tareas y las fases se

ejecutan en paralelo con el feedback de cómo y cuándo son necesitadas. Cada área del ciclo tiene su propio momento y espacio particular dentro del proceso global. Esta serie de pequeños momentos usando solapamientos de semieclipses. La IC poco a poco acerca estas figuras, es por ello que ahora se solapan, IC es análoga a una variación de la carrera de relevo en serie descrita anteriormente. Pero aquí no es esencial que un corredor pueda comenzar solo después de que el corredor anterior haya finalizado; el corredor puede comenzar antes de su posición y así tener cierta velocidad antes de que su pareja le entregue la garrocha, por lo tanto ambos deben tener la misma velocidad en el punto de encuentro. A través de este camino, la velocidad se aproxima a ser constante. Si v_i es la velocidad máxima de cada corredor, el tiempo T para el relevo en serie y el relevo concurrente puede ser calculado como se muestra a continuación:

La velocidad promedio para la carrera es igual a $\sum v_i/n$ y el tiempo, los corredores se toman para atravesar un total de

$$x \text{ millas} = \frac{x \times n}{\sum v_i} \quad \text{unidades de tiempo}$$

Si $v_i = v_0$, que es lo mismo para todo $i=1, n$; entonces, no es difícil mostrar que un relevo concurrente puede ser 50% más eficiente que uno secuencial. Si v_i es una velocidad linealmente incrementada desde 1 hasta n Km/hora, eso es:

$$v_1 = 1 / v_2 = 2 / v_3 = 3 / \dots / v_n = n$$

$$\text{entonces} \quad T_{\text{secuencial}} = \left[\frac{2x}{n} \right] \times \sum \frac{1}{i}$$

$$T_{\text{concurrente}} = \left[\frac{2x}{(n+1)} \right]$$

Finalmente, no es sorpresa, que el tiempo acumulado que se toma una carrera concurrente para completar todas las fases y tareas es mucho más pequeño que en IS. R_{factor} usualmente oscila de 0.25 a 0.75.

$$R_{\text{factor}} \approx 0.5$$

La palabra Ingeniería en IC es usada en un sentido general. Esto significa que incluye la participación del

personal de todas las disciplinas requeridas, ingenieros o no ingenieros. El proceso total, desde el desarrollo de producto hasta producción en masas y ventas, envuelve muchos no ingenieros, incluyendo técnicos desde la procura, mercadeo y departamento de ventas. Por eso, en IC, la mayoría de las partes envueltas en la obtención del producto para mercaderarlo contribuyen al desarrollo del mismo. En contraste con la tradicional secuencial, lineal, iterativa (incontrolada) y prácticas departamentales, el enfoque IC requiere un equipo paralelo, interactivo y multidisciplinario para el desarrollo del producto y su proceso.

Así como los procesos manuales son medidos por las habilidades de los obreros, músculos, rapidez, en IC los procesos se miden por el trabajo en equipo (economía de la cooperación) para manejar información y tomar decisiones con basamento. En vez de usar fuerzas humanas (poder físico), IC esta dirigida hacia la utilización del poder intelectual de los equipos. Estos equipos no están constituidos solo por humanos, sino por todas las partes involucradas para lograr la realización del producto.

LAS 7 TS DE IC

Las fuerzas que influyen el dominio de IC se han dividido según Prasad⁴ en siete agentes, comúnmente llamados *las 7 Ts*: talentos (talents), tareas (tasks), equipos (teamwork), técnicas (techniques), tecnología (technology), tiempo (time) y herramientas (tools) (ver figura # 2).

- La mayor eficiencia del trabajo en equipo se logra con la distribución de las tareas.
- El mejor aprovechamiento de los talentos es mediante la composición de equipos, utilizados para la solución de los problemas.
- Las técnicas afectan el proceso fijado y la manera que dirigimos el negocio. Las técnicas simultáneas de la ingeniería substituyen «las paredes del diseño secuencial» por un diseño simultáneo.
- La tecnología es el mecanismo impulsor para la competitividad. Los ejemplos de tecnologías populares en IC son el rapid prototyping, visualización, gerencia de datos del producto, diseño para la X-habilidad, multimedia, el intercambio electrónico de datos -EDI.

· Las herramientas incluyen el software, hardware, y las redes que hacen a IC práctica en el mundo de hoy, de corporaciones multinacionales y virtuales.

· Desde el punto de vista del tiempo, IC es una iniciativa del desarrollo de productos que tiene la meta de reducir la longitud del diseño del producto y la duración del ciclo de vida, permitiendo que los equipos de ingenieros desarrollen los módulos del diseño en paralelo con sus perspectivas⁵.

· Los talentos y el entrenamiento juegan un papel importante en IC.

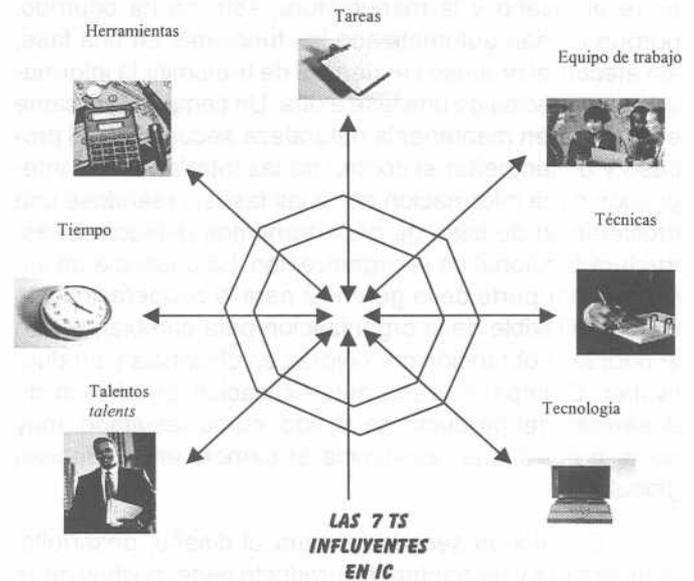


Figura 2

GRUPO DE TRABAJO BAJO AMBIENTE IC

Un efectivo equipo es como una grandiosa orquesta sinfónica, un grupo diverso de especialistas se reúnen e inspiran para lograr un set común de metas consistentes. El ambiente cooperativo para la implementación de IC está constituido por cuatro equipos simultáneos: el equipo lógico, el equipo del personal, el equipo virtual y el equipo tecnológico, tal como se muestra en la figura # 3.

La organización de estos cuatro equipos que se solapan en un gran grupo de trabajo, logrando que este trabajo simultáneo sea mayor que la suma de los trabajos de los grupos individuales.

Equipo IC = ∪ [Equipo Lógico, Equipo del Personal, Equipo Virtual, Equipo Tecnológico]

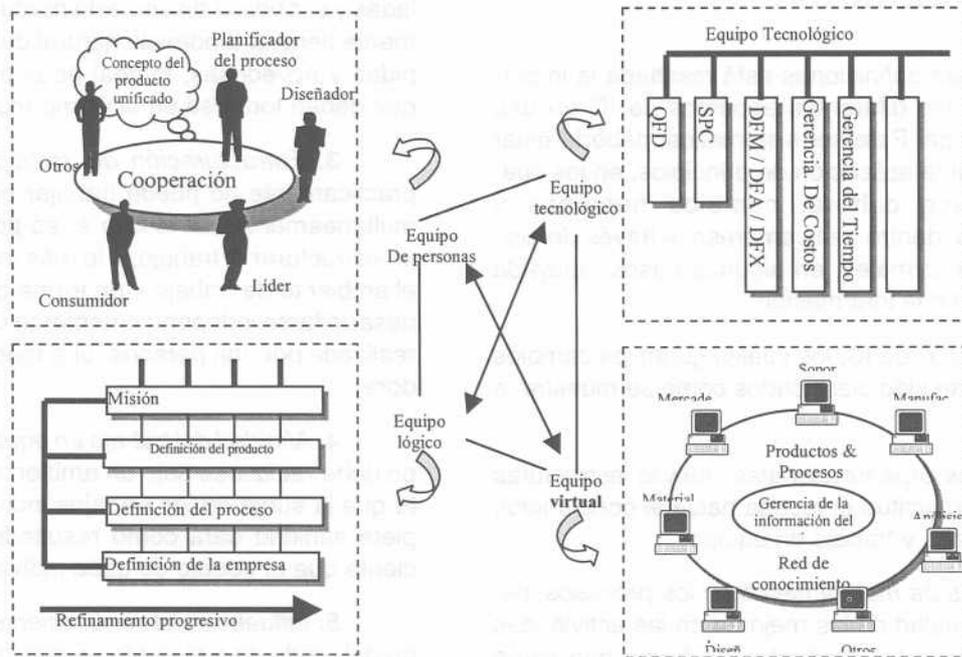


Figura 3

MATRIZ DEL EQUIPO

En la matriz del equipo, tal como se muestra en la figura # 4 se observan una serie de funciones que interactúan entre sí, cada celda de la matriz representa un nodo el cual requiere de comunicación, representada por las líneas horizontales y verticales. Las funciones afines son agrupadas y en cada grupo se selecciona un líder, la comunicación entre los diferentes grupos se realiza a través de estos líderes, adicionalmente se reagrupan los diversos líderes afines y entre ellos se selecciona un supervisor, el supervisor de cada nuevo grupo mantiene comunicación con los otros y el portavoz final, es el denominado líder del proyecto.

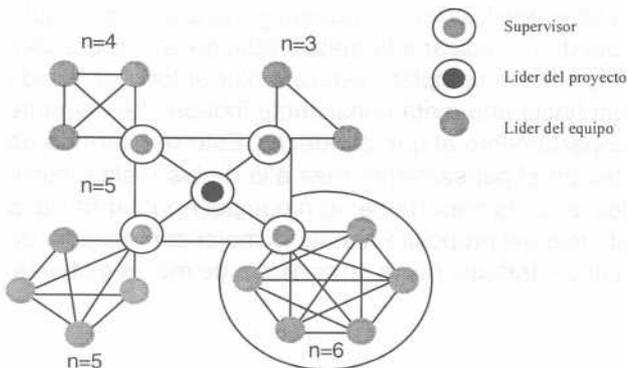


Figura 4

AXIOMAS DE IC

1. Direccional la logística y la ingeniería al mismo tiempo que se evoluciona el diseño, no después que el diseño ya está listo.
2. Comenzar el análisis desde el principio del proceso conceptual o teórico, basando dicho análisis sobre toda la información disponible en ese tiempo (nunca atrasar el análisis porque no hay la suficiente data).
3. No esperar que la base de datos esté completa para obtener la data y/o la información necesaria para hacer el diseño y soportar las decisiones.
4. Usar rápidos, simples, fáciles y baratos PC para operar las bases logísticas, los modelos de costos y las otras herramientas del sistema.
5. Proveer, rápida y fácilmente, las respuestas a las preguntas de la gente de logística, los ingenieros de diseño y los otros participantes del equipo de IC. Las decisiones se requieren en el diseño para soportar el proceso de planificación (no después del hecho).

PRINCIPIOS GENERALES DE IC

En todas las definiciones está resaltada la importancia de dirigir los diferentes aspectos de IC en una manera sistemática. Para ser sistemática, debería estar caracterizada por la aplicación de principios, en los cuales se introduce cultura, cambios humanos y organizacionales dentro de la empresa, a través del uso de metodologías formales, en algunos casos, apoyada en la tecnología de la información.

Los principios de IC, los cuales guían los cambios empresariales han sido clasificados como se muestra a continuación⁶:

- *Principios organizacionales:* nuevas estructuras organizacionales, actitud enfocada hacia el consumidor, disciplina, liderazgo y trabajo en equipo.

- *Principios de mejoramiento de los procesos:* desarrollo y continuidad de las mejoras en las actividades del ciclo de vida de los productos de forma que estén integradas y ocurran concurrentemente cuando sea posible.

- *Principio de la gerencia de información:* los más altos niveles de integración de información y conocimiento, realizando la comunicación de la información y el conocimiento, y la gerencia de recursos (conocimiento de las personas, información tecnológica, etc.).

Estos principios ayudarán a asegurar que todos los aspectos sean considerados durante la implantación y operación de IC.

PRINCIPIOS BÁSICOS DE IC

La regulación del tiempo es una consideración muy importante en IC. Aproximadamente el 80% del costo de desarrollo del ciclo de vida está dado por decisiones tomadas durante el primer 20% del proyecto⁷. IC está fundamentada en ocho (8) principios básicos:

1. *Descubrimiento temprano del problema:* Los problemas descubiertos en las primeras fases del proceso de diseño (particularmente durante el primer 20 % del tiempo del ciclo) son mucho más fáciles de resolver que aquellos problemas descubiertos en las etapas siguientes.

2. *La toma de decisiones a tiempo:* La "ventana de oportunidades" que afecta el proceso de diseño es mucho más amplia en las primeras etapas del proceso que

en las últimas (cuando algunas decisiones están congeladas y cuando el diseño está maduro). El equipo comúnmente tiene la tendencia natural de tomar decisiones rápidas y novedosas, lo cual es bueno, excepto aquellas que deben tomarse en el último momento.

3. *Estructuración del trabajo:* la mente humana prácticamente no puede trabajar en múltiples tareas simultáneamente. En lo que sí es poderosa la mente, es en estructurar el trabajo, o lo más importante, estructurar el ambiente de trabajo – de forma que cada tarea pueda desarrollarse independientemente de cualquier otra o ser realizada por una persona, una máquina o una computadora.

4. *Afinidad del trabajo en equipo:* El trabajo en equipo debe realizarse bajo un ambiente de confianza, puesto que la suma de los trabajos individuales en una completa afinidad dará como resultado una tarea más eficiente que el trabajo de cada individuo por separado.

5. *Influencia del conocimiento:* el dominio del diseño del producto a menudo es muy largo. Es posible crear un propósito general automatizado o un sistema basado en el conocimiento, el cual usará apropiadamente las herramientas y reglas sobre el manejo del conocimiento (principalmente computarizado) para guiar la toma de decisiones. La interconexión o vinculación de herramientas de soporte a decisiones con apoyo humano basado en conocimiento, continuará siendo el método más viable para resolver problemas complejos.

6. *Comprensión común:* el equipo trabajará mejor si conocen lo que los demás miembros están haciendo. Esto incluye comprensión de todas las interacciones operacionales importantes.

7. *Propiedad:* el equipo trabajará entusiastamente haciendo un buen producto si se les permite la toma de decisiones durante la creación del diseño y si se les da propiedad sobre lo que producen.

8. *Constancia del propósito:* Muchos departamentos tienen la tendencia de hacer que su departamento luzca bien ante los otros –creando ganancias falsas- aunque pueda perjudicar a la meta global de la corporación. La corporación completa estará mejor si todo el mundo trabaja hacia una meta consistente independientemente del departamento al que obedezca. Esto requiere de un cambio en el pensamiento más allá de las metas individuales de cada departamento o equipo. Apuntar hacia la constancia del propósito resulta la mejor contribución de cada uno – trabajar hacia un conjunto de metas globales.

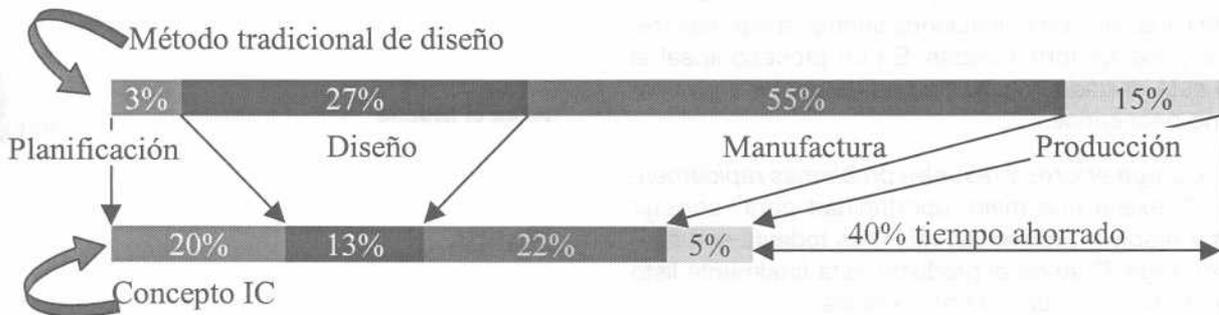
⁶ Painter et al. 1991, Linton et al 1991

⁷ DARPA 1997-98

BENEFICIOS DE LA INGENIERÍA CONCURRENTE

Los productos se apoderan del mercado rápidamente a menor costo, superior calidad cuando ésta se incluye en el diseño del mismo, en vez de controlarse en la línea de producción. Los proveedores y subcontratados se benefician también, así como los proyectos se ejecutan a tiempo obteniéndose el éxito del producto. Muchas X – Habilidades del desarrollo de producto (como calidad, mantenimiento, manufactura, etc.) son encontradas

en el producto. En un reciente estudio la DOD investigó sobre proyectos de Ingeniería Concurrente en Aergot Ordinance, AT&T, Boeing, Deere S Company, ITT, Mc Donnell Douglas, Hewlett-Packard y otras. Ellos encontraron que precisamente se estaban tomando las decisiones por el equipo de IC resolviendo los problemas y mejorando la eficiencia y calidad. Los resultados obtenidos de la implantación de IC en las ocho áreas beneficiadas son mostrados por medio de barras azules y blancas en la figura # 5.



Fuente: US Air Force R&M 2000 Process Study Report (Oct.1987)

Figura # 5

Boeing redujo el tiempo de su ciclo de desarrollo de conflicto en un 40%-60%. AT&T redujo su tiempo de proceso a través de un nuevo switch digital miniprogramable en 46%. Deere Company redujo el tiempo de desarrollo de productos para la construcción de equipos en un 60%, el costo de manufactura en 30%-40% y el costo en desperdicio y retrabajo en casi un 75%. Mc Donnell Douglas redujo el costo de retrabajo en 29% y el costo de desperdicio en un 57%. Una típica distribución de ahorros en el tiempo del CVP se muestra en la figura # 6.

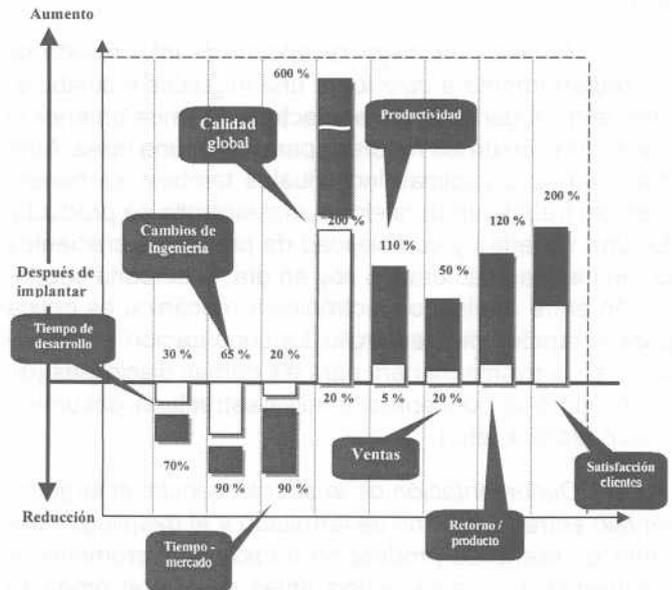


Figura # 6

Otros beneficios de la Ingeniería Concurrente son:

- *Racionalización:* el enfoque concurrente asegura que el diseño será racional para la capacidad del sistema de manufactura en el cual se convertirá de un intento a una realidad. El equipo se enfocará en una meta común en vez de metas conflictivas entre departamentos.

- *Trabajo en paralelo:* la principal ventaja de IC es que muchos procesos ocurren al mismo tiempo, lo cual es preferible a que ocurran uno después del otro.

- *Reduce el tiempo perdido en comunicación:* desde que el equipo multifuncional ha tenido el mismo objetivo, han estado más abiertos y dispuestos a comunicarse entre ellos, las comunicaciones tienden a ser más frecuentes y menos formalizadas. En un proceso lineal el equipo está dividido. Mucho tiempo es gastado en conflictos no necesarios.

- *Corrige errores y resuelve problemas rápidamente:* con IC existe una mejor oportunidad para corregir errores y resolver problemas, mientras todavía son fáciles de corregir. Cuando el producto está finalmente listo para la producción, hay menos cambios.

- *Flexibilidad para acomodar cambios:* cuando un trabajo es hecho en paralelo, provee al equipo la flexibilidad para acomodar los cambios y habilidad para adoptar rápidamente la situación o el requerimiento cambiado. Esta habilidad, en cualquier ciclo del producto provee un suave flujo de información a lo largo de toda la organización.

- *Provee una mejor recepción de información de un departamento a otro:* logra una inigualable colaboración entre ingeniería y manufactura. Permite obtener la concentración de los recursos para lograr una tarea. Además, varias disciplinas individuales también se benefician del trabajo en paralelo en el desarrollo de producto. En una variedad y complejidad de productos crecientes como los manufacturados hoy en día, la cercana cooperación entre el diseño electrónico y mecánico es crítica para la rapidez del desarrollo. La cooperación es importante en la misma manera para las demás disciplinas (diseño industrial, conceptual, análisis estructural, documentación técnica, etc.).

- *Documentación de la obsolescencia:* el largo intervalo entre el sistema desarrollado y el despliegue durante el diseño de producción tradicional incrementa la posibilidad de obsolescencia antes de que el producto esté listo para salir al mercado. En IC debido a que el tiempo para entrar al mercado es reducido, el efecto de obsolescencia sobre los costos es frecuentemente minimizado. Como resultado, IC no sólo obtiene ahorros en el

costo de desarrollo debido a la eficiencia, productividad y a los tiempos cortos, sino también reduce los costos no necesarios como clasificación de partes, herramientas, inventario, equipos de soporte, etc.

- *Reduce las curvas de aprendizaje:* un grupo multifuncional pueden ayudarse entre sí aprendiendo más rápido.

- *Mejor uso de los recursos técnicos adicionales:* al realizarse un proyecto más rápido la compañía puede usar todos los recursos utilizados en el mismo para el próximo proyecto.

IC en el Mundo



HONDA

Honda a finales de 1970 introdujo su propio sistema de Ventas-Ingeniería-Desarrollo (SED) para desarrollar productos. En esa época no se conocía IC como una metodología, sin embargo actualmente HONDA no la llama así.

En ese tiempo HONDA era una pequeña empresa de autos la cual sólo producía dos tipos de coches y camiones para carga ligera. Tenía reputación de fabricar motos lo cual hacía que la confiabilidad de sus autos no se consideraba importante.

El objetivo de la empresa al implantar este sistema era poder responder rápidamente a los requerimientos del cliente y a los movimientos de sus competidores, así como mejorar la calidad de sus productos.

Diez años más tarde gracias a su sistema SED, logró asegurar una buena reputación como fabricante de automóviles de excelente calidad. Su producción se duplicó a dos millones de autos anuales; un tercio de esa producción era realizada fuera de Japón.

En Estados Unidos tenía registros entre los mejores autos vendidos en el país entre los años 89-90. En la actualidad produce nueve diferentes tipos de autos.

El sistema SED de honda funciona la siguiente forma: las ventas y los servicios funcionan como portavoz de los clientes, quienes interpretan las especificaciones del producto. Los miembros del equipo de desarrollo, trabajan básicamente en la calle, y observan cómo la gente siente las decisiones de diseño que afectan a sus consu-

midores. Por último el equipo de trabajo visita las diferentes distribuidoras para observar los problemas generados.

NISSAN

En 1987 Nissan adoptó IC luego de perder su posicionamiento en el mercado automotor. Estableció una oficina de estrategia de productos y mercado, para determinar las tendencias de la demanda con responsabilidad de realizar la planeación de líneas de productos, capacitación y comercialización. Nissan posee como fuerza de trabajo dos equipos, uno para la planeación del producto y otro para la comercialización del mismo. El equipo de trabajo incluye miembros de producción, control de calidad y pruebas. Adicionalmente otros expertos en el ciclo de vida del producto se pueden incluir eventualmente durante el desarrollo del proyecto.

Nissan por otro lado, posee un programa para explicar a sus proveedores cómo ellos desarrollan sus productos y cómo se encuentran involucrados los proveedores en el proceso. Para responder de forma rápida a los cambios del mercado adoptaron IC en sus plantas fuera de Japón, con énfasis en que sus proveedores deben ser flexibles de forma de crear un ambiente capaz de manejar los frecuentes cambios. En 1988 estableció un centro de IC con miembros de departamentos diferentes.

XEROX

A mediados de 1970 Xerox luego de dominar al mercado de la xerografía, empieza a perder mercado gracias a la competencia de compañías japonesas como Canon y a la baja calidad de sus productos. La xerografía cambió la forma en que operaban los negocios por lo que el crecimiento del mercado fue rápido, entonces Xerox necesitaba responder rápidamente a estos cambios pero con una calidad mejorada de sus productos. Xerox acostumbraba apresurar el diseño del producto hacia producción para poder igualar a la competencia, pero los resultados que obtuvo fueron rodeos del departamento de producción y muchas quejas por parte de los consumidores.

Fue así como inició su versión de IC en 1980 y lo denominó "Proceso de Entrega del Producto" (PDP) en el que el ingeniero de producción trabajaba conjuntamente con el diseñador; por lo que cada componente de la copiadora producida en los 70 fue rediseñada. Para conocer los problemas y alcanzar metas, envió un grupo de ingenieros de diseño y manufactura a visitar a los clien-

tes e incluso repuso partes mal diseñadas por versiones mejoradas. Gracias al PDP, las ventas de productos Xerox aumentaron del 50% al 90%.

VOLKSWAGEN

En 1987 la administración de Volkswagen tomó la decisión re-ingeniar todo su sistema. El equipo de diseño debía tener miembros de investigación y desarrollo, ingeniería de manufactura, compras y mercadotecnia. Encontró que la aplicación de IC no puede hacerse tan sólo confiando en la comunicación electrónica, pues el ingeniero tradicional pasa su información sólo cuando ha terminado su trabajo, mientras que los ingenieros de las aplicaciones de IC podrían trabajar con datos incompletos. Puesto que dentro del equipo de diseño se encuentran representantes del departamento de compras, pueden tomar la decisión de "hacer o comprar" lo más rápido posible dentro de la etapa de diseño. Cerró su departamento de Control de Calidad ya que cada departamento es responsable de su calidad.

Volkswagen utiliza un sistema CAD avanzado de la compañía Control Data que permite a varias actividades de ingeniería ser realizadas simultáneamente, por ejemplo, los estilistas pueden trabajar con el diseño del cuerpo, mientras que los ingenieros realizan simulación de la aerodinámica, esfuerzo torsional, examen de choque, etc.

La implantación de IC redujo el tiempo de entrega en el mercado de 48 a 32 meses.

BMW

En BMW muchos aspectos son semejantes a los de Volkswagen, con la diferencia de que BMW construyó primero un centro multidisciplinario de investigación y desarrollo. En este centro se encuentran los departamentos de Investigación y Desarrollo, Planeación Técnica, Tecnología de producción, Aseguramiento de Calidad, Análisis de Valor, Control de costos, Compras, Logística, Patentes y Personal.

IC EN USA

La excelencia manufacturera japonesa hizo a la industria automotriz de USA darse cuenta de la necesidad

de cambio. Se hicieron varias investigaciones y la solución encontrada fue IC.

A mediados de 1980 las compañías automotrices como Chrysler, Ford y GM adoptaron IC. Ford reaccionó al cambio gracias a la eficiencia de la producción japonesa, ya que el 25% de sus acciones en Mazda les dio una visión de cómo trabajaban los japoneses.

La implantación de IC en USA no tuvo el éxito esperado como sucedió en Japón, ya que la fuerza de trabajo no estaba acorde con la estructura organizativa existente. La participación de los proveedores en la fuerza de trabajo hacía el trabajo menos cooperativo, por no ser considerados como verdaderos socios. Fue luego de cinco años, cuando se alcanzó una verdadera IC. En consecuencia se produjo un aumento de los proyectos de hardware y software de IC de 18 M\$ en 1990 y 90 M\$ en 1995.

OTRAS EMPRESAS

Matsushita Electric Industrial, la gran compañía tras el nombre de Panasonic, ha estado muy cerca a aplicar IC por completo. Los vendedores trabajan directamente con el departamento de desarrollo de producto, y por eso la voz del cliente es fuertemente escuchada. Al igual que la mayoría de las corporaciones japonesas, Matsushita está enfocada en disminuir el tiempo del ciclo de vida del producto. Existiendo un considerable solapamiento en el periodo de transición entre la fase de laboratorio a la producción.

En el caso de un proyecto para construir controles industriales, los ingenieros de producción comenzaron a diseñar sus equipos sólo después de dos meses de trabajo de los diseñadores del producto. La planta se construyó en seis meses, y el equipo de manufactura fue desarrollado sobre un periodo de doce meses (incluyendo el tiempo de construcción de la planta). La consolidación del proceso de manufactura continuó por otros doce meses, periodo en el cual la producción piloto se llevó a cabo. Estos controles están constituidos por una hoja de metal que sostiene un ensamble de piezas electrónicas. Matsushita opera seis días para realizar un ciclo, con los primeros dos días para la venta y la administración. En el tercer día, con información de CAM es verificada y la programación de la producción es determinada. La producción se realiza el quinto y el sexto día, y el ensamble es transportado inmediatamente.

No es sólo en las industrias de electrónica y automóviles en donde IC tiene sentido. Algunas compañías aeroespaciales, como Northroc, han adoptado IC. Aunque los productores pueden ver los beneficios

substanciales de IC, tienen otro incentivo: el hecho de que el Departamento de Defensa (DoD) de USA está demandando su uso. Este es el movimiento más dramático que en USA ha orientado a las industrias a la implantación de IC.

Otras empresas que se pueden mencionar:

- Black & Decker (Towson, Maryland)
- Arms Company (Illion, New York)
- Du Pont
- Delco Remy: un set de 30000 equipos eléctricos para US Industry.
- Procter & Gamble (Cincinnati, Ohio)

HERRAMIENTAS ASOCIADAS A IC

Desde hace una década o quizás dos, los avances en el diseño y desarrollo del producto, incluyendo tecnologías de manufactura, han sido revolucionarios. Diseño/Dibujo Asistido por Computadora - CAD; Manufactura Asistida por Computadora - CAM; Ingeniería Asistida por Computadora - CAE; Planeación del Proceso Asistida por Computadora - CAPP; Ensayo Asistido por Computadora - CAT; Control Numérico computarizado - CNC; y Manufactura Integrada por Computadora - CIM, han ayudado a reducir los ciclos de desarrollo de producto y a la vez reducen la enorme variabilidad inherente al proceso de producción. Estas y otras ventajas en automatización y sistemas integrados originan reducciones de costos que tradicionalmente eran asociados con economías de escala (Manufactura en lotes).

Herramientas de computación \cup (CAD, CAM, ...)

Es también necesario entender e implantar ideas tecnológicas como rapid prototyping, rapid inch-up, scale-down, y product churnig.

Herramientas Tecnológicas \cup (RP, ...)

Estas no son fórmulas que aseguran el éxito de IC. No se debe esperar que con sólo el uso de estas herramientas se logra la realización industrial. Éstas son como herramientas flexibles dentro de una caja de herramientas. Ellas tienen el potencial para reducir el tiempo del ciclo y por eso pueden ser usadas en un proceso de IC. Se deben tener las herramientas adecuadas para automatizar y efectivamente capturar un proceso IC consistentemente. Las mayorías de las técnicas que siguen la filosofía IC son fáciles de aplicar y sin ellas las herramientas no lograrían el beneficio esperado. Dichas técnicas son:

1. Despliegue de la función calidad - QFD.
2. Matriz de selección de Pugh.
3. Matriz de concurrencia.

CONCLUSIONES

A primera vista, la migración desde el ambiente actual de desarrollo de productos, que consiste en islas de automatización, hasta sistemas simultáneamente integrados, puede parecer una tarea imposible. Pero cuando se aplican las técnicas básicas expuestas en este artículo para la planificación y ejecución del proyecto, el reto se vuelve más manejable, esencialmente cumpliendo con cuatro pasos: establecer objetivos, entender el negocio, establecer un plan de cambio e implantar el equipo concurrente de trabajo.

Claramente se observa que todas las perspectivas del mercado apuntan hacia una misma dirección, y a pesar de las múltiples fuentes de información utilizadas

en este caso de estudio se llegó a la misma visión. Como se discutió, la industria manufacturera enfrenta hoy el reto de competir más efectivamente para mejorar la calidad del producto con costos más bajos, tiempos más reducidos, así como una mayor repuesta a los súbitos cambios en la demanda del mercado, justamente esto es logrado con la implantación de IC.

Muchos de los métodos tradicionales para fabricar y diseñar un producto también enfrentan retos, las compañías deben descubrir que, para lograr estas metas deben cambiar los métodos secuenciales por concurrentes.

NOTAS

- 1 et. al. 1988
- 2 CERG 1992, Ashley 1992
- 3 Oficina Computer-Aided Acquisition and logistics suport
- 4 1996, "Concurrent Engineering Fundamentals"
- 5 Pennell y Slusarczuk, 1989
- 6 Painter et al. 1991, Linton et al 1991
- 7 DARPA 1997-98

La Ingeniería Industrial y el Ambiente

III CONGRESO VENEZOLANO
DE INGENIERIA INDUSTRIAL Y
PRODUCCION CIUDAD GUAYANA, 30 OCTUBRE 1997

Conferencista : ING^o JOSEBA A. LASCURAIN

I.C, I.I, M.Sc., P.T

ANTECEDENTES

Puede decirse que el proceso desarrollo de la ingeniería industrial en Venezuela se inicia con relativo ímpetu a partir del año 1958 y de la década de los años sesentas, con el empeño en promover la creación de industrias substitutivas de productos que se importaban, especialmente de Norteamérica, y con un marcado énfasis en las industrias Tradicionales: Industrias de Alimentos e Industrias Textiles, en las Industrias Intermedias: Industrias Químicas, Derivados de Petróleo y Carbón y las Industrias Metálicas Básicas y las Industrias Metalmeccánicas: Maquinaria e Industria del Transporte incluyendo la Industria Siderúrgica de Venezuela y la industria de Metales no ferrosos como Aluminio Alcasa ^{1,2}.

Entre las metas propuestas para el V Plan de la Nación se encontraban las de incentivar la demanda interna de productos químicos, especialmente los fertilizantes, con una tasa promedio de crecimiento, a partir de 1975 del 18,1% la más alta en las Industrias Intermedias para el período 1975-1980, como consecuencia de una disminución en el abastecimiento externo de 7,5% y un incremento interanual de las exportaciones del 19,6% en ese mismo período ³.

En cuanto al avance en la diversificación de los productos derivados del petróleo, las importaciones presentaban una situación de dependencia tecnológica. La actividad refinadora de petróleo fue en cierta forma conservadora, siendo la tasa de crecimiento promedio esperada en el período 1975 a 1980 tan solo un 0,3%, alcanzando en el año 1980 un valor de 3.811 MM Bs. , a precios de 1980, debido a la disminución en las exportaciones del 40,6%. Esta disminución tuvo como causa la imposición de políticas reguladoras en el uso de los recur-

sos naturales energéticos y de conservación y aprovechamiento, en términos del mayor beneficio.

Poblaciones y vecindades propicias para tales desarrollos como Cagua y Valencia y su orillar en torno al lago del mismo nombre, ofrecían exoneraciones de los impuestos municipales hasta por diez años a los industriales que se asentaran en sus predios, sin prever los daños al ambiente que esas mismas industrias generarían, como el almacenamiento de agua disponible en el subsuelo, ni se planificaron dentro de la distribución espacial de los terrenos, la sectorización de las mismas, en función del tipo y características de los contaminantes descargados por los equipamientos industriales.

El crecimiento industrial ha sido expansivo y poderoso. Así lo pueden reseñar los cronista de esta hermosa y bien planificada Ciudad Guayana. Yo mismo viví la experiencia de diseñar y supervisar la construcción de gasoducto Anaco-Puerto Ordaz ; obra pionera en aquel entonces , que atraviesa el gran río Orinoco y transmite aún hoy día gas natural a un significativo número de industrias de alto consumo energético en este complejo industrial.

Qué me iba a imaginar yo al terminarse la obra, en la cual se tuvo que intersectar la laguna rebalsera, al sur de la Isla Pancho Cierro del río Orinoco, para continuar el avance de la línea hasta la estación terminal de medición y distribución industrial de gas en la zona, afectando a una población de nativos que vivían de la pesca en ese mismo lugar, que con el transcurrir de los años, esa laguna se convertiría en un descargadero de residuales del procesamiento de la bauxita, con potencial para contaminar substancialmente al magno río Orinoco, con caudales hasta de 38 millones de litros/segundo ⁴.

Reencuentro, por otra parte, que el número de industrias de alimentos existentes en el país, según el censo industrial de 1963, era de 3.030. Pero las industrias de alimentos realmente controladas en la Sección de Industrias de Alimentos de la Dirección de Malariología y Saneamiento Ambiental del Ministerio de Sanidad y Asistencia Social para el año de 1969 no eran más que 1.963. En el Cuadro 1 se presenta la distribución de las industrias según el tipo, en Venezuela, para el año 1969⁵.

En el contexto de lo narrado hasta ahora, debo recalcar que ya se mantenía a través del Ministerio de Sanidad y Asistencia Social un marcado interés en preservar la salud de la ciudadanía a través de programas de salud pública ambiental y ocupacional directamente encaminados a controlar todo tipo de descargas al ambiente que afectaran : agua, aire, suelos y, también, se controlaban los procesos en instalaciones industriales que afectaran a la población obrera contra radiaciones ionizantes, ruido, calor, emisiones gaseosa tóxicas, etc., creando las primeras regulaciones sanitario-ambientales de ese decenio. El Cuadro 2 presenta la Lista de Reglamentos y Normas desarrolladas para el Control de Industrias de Alimentos. Como dato curioso de aquel entonces hay que notar que se hicieron los «Requerimientos mínimos Necesarios en el Equipo de una Refinería»⁶.

Mediante el Decreto N° 884 del 14 de noviembre de 1962 se reglamentaron las labores cooperativas a desarrollar por el MSAS con Gobernaciones Estadales, Municipalidades e Institutos Autónomos⁷. Entre las variadas actividades de carácter sanitario-ambiental que se realizaban por períodos anuales con los estados fue la de la asesoría, administración, recolección, transporte y, disposición final de materiales desechados en programas de aseo urbano y domiciliario de ciudades y el control de murinos para la Industria arrocera.

La población estimada para 1971 era de 10.910.00 habitantes aproximadamente, de los cuales 3.620.000 formaban la población económicamente activa. De esta población económicamente activa 598.000 personas estaban empleadas en la industria manufacturera, 222.000 en la industria de la construcción y 700.000 en la agricultura. O sea, en grupos tradicionalmente considerados los de mayor exposición a riesgos ocupacionales (es decir : ambientales) . Hoy día (1997) estas cifras se han desarticulado en un amplio abanico de múltiples actividades humanas donde los riesgos a la salud física y a la mental se han desplazado hacia las primeras causas de muerte (cáncer, accidentes viales, alcoholismo, desnutrición, demencia y otros) y donde también se puede calcular la probabilidad de muerte de un ciudadano por distintas causales conociendo las características del entorno del área donde trabaja y vive.

Deberíamos aplicar estos índices en nuestros estudios ambientales y que estos índices sean del conocimiento público.

En 1963 la distribución espacial de los establecimientos industriales era de 138.243, en todas las actividades económicas, y de estas, el 28,5 % estaban situadas en la Zona Metropolitana de Caracas. En el sector de la industria Manufacturera, existían en el país 22.206 establecimientos, de los cuales el 38,1 % se encontraban en la Zona Metropolitana de Caracas .La Zona Central el 11,5 % y el resto del país el 21,4%. Por otra parte el 87,2% de las industrias manufactureras empleaban menos de 9 obreros en 1963 y el 98,7 % empleaba menos de 100 trabajadores⁸.

En cuanto a la formación de ingenieros industriales en Venezuela, este proceso se inicia en la Universidad Católica Andrés Bello de Caracas en el año 1959, por iniciativa de los recordados profesores Dres. Santiago Vera Izquierdo,, Alfredo Anzola Montaubán y Blas Lamberti, quienes presentaron y recibieron la aprobación del primer pensum de estudios de Ingeniería Industrial de la UCAB (En ese año se llamó: Ingeniería de Ciencias Técnicas Industriales) que en muchos aspectos contiene directrices académicas de orientación europea.

Era tan desconocido el ámbito de trabajo del ingeniero industrial en nuestro país como actividad profesional, que en varias ocasiones en los años 1974 y 1975 me tocó, al inicio de clases, como Decano de la Facultad de Ingeniería de la UCAB dictar cursos de orientación profesional a estudiantes que deseaban conocer para qué servía la carrera de Ingeniería Industrial.

Ahora bien, tratando de unir el ejercicio profesional de la carrera con el aspecto «Ambiente» que nos toca desarrollar en esta oportunidad, nada mejor que recordar de esos años setentas, que los egresados de las aulas de la UCAB, con el título de Ingeniero Industrial se esperaba fueran :

profesionales en los cuales cito: «con el conocimiento de las Ciencias Matemáticas, Físico-Químicas, Económicas, Gerenciales y las Técnicas que se derivan, ganadas por el estudio, experiencia y práctica, las aplique con juicio y como medio para desarrollar y utilizar económicamente los materiales, maquinarias y equipos. la armonía del conjunto *hombre-industria-ambiente*, y *las fuerzas de la naturaleza* para el progresivo bienestar del conglomerado nacional y de la humanidad en general; con la ayuda del pensamiento creador, *el sentido de protección y mejoramiento del ambiente*, el aprovisionamiento de los elementos necesarios para la vivienda, alimentación, vestido, industria, transporte y comunicaciones, y el de proporcionar las estructuras necesarias para el uso y bienestar del hombre y por el hombre”.

(Aprobado por el Consejo de la Facultad de Ingeniería en su Reunión N° 9 de fecha 25 de Abril de 1977).

¿Puede haber una definición más precisa que interprete la formación en la carrera de Ingeniería Industrial Venezolana y su íntima relación con el Ambiente y el Desarrollo Económico deseado?

DE SU EVOLUCIÓN

Pasando ahora a los orígenes y evolución en Venezuela del concepto de reorganización sanitaria atado al *Ambiente o Medio Ambiente*, como se decía en la década de los años setentas, se puede señalar que el mismo ya aparecía dentro de la concepción filosófica atinente a los beneficios derivados de la simbiosis *salud-saneamiento-ambiente* del ministro Dr. Arnoldo Gabaldón, al crear durante su mandato en el Ministerio de Sanidad y Asistencia Social, según Decreto 406 del 6 de Diciembre de 1960, la *Dirección de Malarialogía y Saneamiento Ambiental*.

Me atrevo a señalar que pocas veces en la historia de la administración pública nacional, hayan podido tan pocos hombres, lograr alcanzar objetivos tan elevados en salud pública, salud ocupacional y ambiental, y con una relación beneficios/costos tan altos, como los que se logró en los 16 años del corto período de vida de actividades de saneamiento - ambiental del lapso 1960 a 1976. (p. e Desplazando de las primeras posiciones epidemiológicas los índices de muertes en edad infantil, en el medio rural, por causa de enfermedades de origen hídrico y enfermedades de origen biótico). Protesto el año 1976 como fecha de nacimiento del MARNR y muerte de la DMSA-MSAS ya que el MARNR se llevó lo mejor de la DMSA-MSAS y nos dejaron morir como el Samán de Güere.

(Para mayor información se recomienda leer del Dr Arnoldo Gabaldón en: *Una Política de Salud. Tomo I. MSAS. Caracas pags. 409 a 413 " Estados Unidos obra en forma similar a Venezuela "*).

Saneamiento Ambiental : término que de hecho estaba destinado a menguar y/o liquidar en el lexicón de la OMS y del MSAS de Venezuela, como consecuencia de la repercusión originada por las recomendaciones del I Congreso Mundial del Hombre y del Ambiente auspiciado por la Organización de las Naciones Unidas en Estocolmo, Suecia en el año 1972.

La más importante consecuencia de la conferencia fue la creación del United Nations Environmental Programme (UNEP) en el cual, el mayor enfoque ha sido el lograr un consenso científico sobre los mayores even-

tos ambientales del planeta y los estudios necesarios para lograr un "desarrollo sostenible" aumentando los estándares de vida sin destruir el ambiente.

Para la fecha de su creación en 1972 solamente 11 países mantenían en sus gobiernos ministerios/secretarías del Ambiente.

En 1982 el número había crecido hasta 106, incluyendo a Venezuela en el año 1976, cuando se promulgan las Leyes Orgánicas del Ambiente y de la Administración Central, en esta última creando el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR).

Posteriormente, en 1983 se promulga la Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio, recibiendo el MARNR nuevas competencias en la planificación y administración de los usos del territorio Nacional

En el siguiente espacio los invito a que tratemos de pensar con claridad y respondamos a las siguientes 4 preguntas que se hacen para entender el conflicto y la superimposición de leyes atinentes al " Ambiente" en Venezuela :

(1) Qué es el Ambiente según el MARNR? (Ley Orgánica del Ambiente)

(2) Cómo entiende el ciudadano lo que se desea conservar, defender y mejorar? (Ley Orgánica del Ambiente)

(3)Cómo se ordena el territorio en concordancia con la Estrategia de Desarrollo Económico y Social a largo Plazo de la Nación?(Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio)

(4)Qué caracteriza a un daño ambiental y cómo se mide en cada caso?(Ley Penal del Ambiente)

Khalil Gibran dice en "El Profeta" : De las Leyes

Un jurista dijo : Maestro, ¿Qué dices de nuestras leyes ?

Y él contestó:

Os complacéis estableciendo leyes,

sin embargo, os deleita más violarlas,

A semejanza de los niños que, jugando en la playa, construyen torres de arena, para luego destruirlas entre risas.

Pero, en tanto construís vuestras torres de arena,

el océano acarrea más arena a la playa,

*Y cuando las derrumbáis, ríe con vosotros
el océano.*

*En verdad, el océano ríe siempre con el
inocente.....*

Poeta del siglo XX

RESPUESTAS

(1) No existe ninguna definición de "Ambiente" en la Ley Orgánica de la Administración Central, Ley Orgánica del Ambiente, Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio y Ley penal del Ambiente, que son los cuatro (4) pilares fundamentales sobre los cuales se apoyan las acciones del MARNR .

En septiembre de 1978, dos años después de su nacimiento, el MARNR, en colaboración con el (UNEP) adoptó una definición operativa que no la entiende casi nadie. Parece tomada de las novelas de ciencia ficción. Esta es la perla:

>>Cito>> "Ambiente es un conjunto de elementos animados e inanimados, naturales y artificiales, cuya dinámica sobre un espacio determinado nos interesa en función de la satisfacción de las necesidades básicas de la población presente y futura que en él asienta".

Me entiende usted amable escucha?. ¿Cuáles son las implicaciones económicas para toda persona natural y Jurídica que quiera invertir en el desarrollo industrial del país, cuando los decretos, reglamentos y normas que de ellos se derivan utilizan, luego, una terminología, con consecuencias penales, ambiguas, imprecisas, sin poderlas verificar por mediciones precisas,, sujeta a multitud de interpretaciones, dependiendo del concepto y/o conocimiento que tenga el funcionario de turno sobre el fondo científico del tema a tratar.

2) El objeto de la ley se complica más al notar en el Capítulo I, Artículo 3º que a los efectos de esta Ley, la conservación, la defensa y el mejoramiento del ambiente comprende 11 actividades donde, identificadas, se utilizan indefiniciones etimológicas en las siguientes conjunciones de vocablos: valores del ambiente, equilibrio ecológico, problemas relacionados con el ambiente . Pero se derrama el vaso de agua cuando se incluye, agotado el vocabulario auto-interpretativo, en las actividades relacionadas con el ambiente, la siguiente antítesis: >> Cito>> "Cualesquiera otras actividades que se consideren necesarias al logro del objeto de esta ley ".

Si retornamos la pregunta al origen :Cuál es el objeto de la Ley ?, resulta que no hay ley porque no hay objeto definido. Es decir, no se define qué es Ambiente; luego no hay objeto; luego no hay ley !!!!!.

*Parece que nos encontramos sumergidos, desde
hace 21 años, en el remolino turbulento de una gran falacia .*

3) El objeto de la Ley Orgánica para la Ley de Ordenación del Territorio está claramente definido en el Título I. Disposiciones Generales. Artículo 1º. Donde la secuencia se complica es en el Artículo 2º cuando al final del mismo artículo dice: >>Cito>>....."y uso de los recursos naturales y la protección y valorización del *medio ambiente*, como objetivos fundamentales del desarrollo integral "

Si hacía siete años atrás (16 de Junio de 1976) se legislaba en la Ley Orgánica del Ambiente sobre la indefinición del término *Ambiente*, cómo se debe entender en la Ley de Ordenación Territorial (11 de Agosto de 1983) que se estuviera legislando como objetivo fundamental la protección y valorización del *medio ambiente* ?.

4) Para responder a esta pregunta hay que ampliar un poco el tema, porque esta parte corresponde al uso y abuso del Reglamento de la Ley Orgánica del Ambiente sobre Estudios de Impacto Ambiental en Venezuela, desde su origen, como Decreto Nº 2.213 el 23 de Abril de 1992, hasta la versión más reciente constituida por el Decreto Nº 1.257, 13 de Marzo de 1996. Normas sobre Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente.

Como en el auditorio debe haber ingenieros y profesionales de las ciencias ambientales, que deben haber participado profesionalmente en estudios de efectos susceptibles de degradar el ambiente, por actividades industriales de variable naturaleza, a fin solicitar las aprobaciones correspondientes, debo pedirles que se fijen en el sustancial cambio que ha tomado el nombre: Por un lado Reglamento, por otro lado Normas. Por lo más lejano y confuso: Estudios de Impacto Ambiental, y por lo más reciente y más realista: Evaluación Ambiental.

La Industria petrolera nacional, desde mediados de los años setentas se hizo pionera de los estudios de Impacto Ambiental (EIA) . Es la industria que más experiencia ha tenido en todo el territorio nacional en establecer las líneas bases de parámetros ambientales que permiten luego comparar los efectos de sus instalaciones sobre el aire, el agua, el suelo, sonido, radiaciones, tóxi-

cos, flora, fauna, socio-económico y estéticos en grandes áreas del país, consumiendo inmensos recursos para satisfacer las demandas del MARNR. en muchas ocasiones no tan bien justificadas. Por lo demás no existe ninguna otra industria en el país que le haya dado mayor importancia y cuente con tanto dinero para pagar los estudios ambientales pertinentes.

Después de casi una década de experiencias con la Industria petrolera, el Instituto de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Simón Bolívar pudo definir tres niveles de alcances, dependiendo de las necesidades de la industria, y los aplicó satisfactoriamente cubriendo con metodologías robustas las expectativas y necesidades de las partes involucradas. Así:

Primer nivel. Diagnóstico Acelerado de los problemas asociados actuales y futuros de la infraestructura existente para generar medidas correctivas de necesidad inmediata.

Segundo Nivel. Haciendo uso de la experiencia probada de sus especialistas en proyectos similares o parecidos, de proyectos en pleno desarrollo se hace el Diagnóstico Comparativo para establecer medidas preventivas incorporables a la ingeniería de detalle, así como las medidas mitigantes y correctivas por efectos acumulados.

Tercer Nivel. Con la participación temprana del equipo de trabajo en el proyecto de la obra, haciendo uso de un Diagnóstico Precoz, se incorporan muchas soluciones, medidas mitigantes y correctivas de carácter ambiental que son previamente consultadas con la industria, sus asesores contratados y reforzadas por la opinión de especialistas del MARNR.

Son varias las metodologías que se han empleado desde su inserción reguladora en la Ley del Ambiente, y muchas las quejas y reclamos a sus distintos requerimientos. Nunca se sabrá cuántos millones de Bolívares se gastaron innecesariamente en años de aplicación incierta, de una reglamentación tan compleja como la referida a los Impactos Ambientales.

—Pero, dice Juan sin Miedo, quién tiene una pregunta simple en sus labios: ¿Qué es un Impacto Ambiental según la Legislación Venezolana?. Respuesta: no está definido!!!. Entonces: ¿Cómo legislamos lo que de dicha idea, ideario o sueño, se concatena o resulta?. Respuesta: Con inconsistencias, confusiones, derroche de dinero, e injusticias. Ante lo contundente de las respuestas y su irremediable asombro, este sujeto preguntó en el diccionario y lee:

>>Cito>> Impacto. (DEl. lat. *impactus*) *m.* Choque de un proyectil en el blanco //2. Huella o señal que en él deja (España: D de la LE).

—Juan sin Miedo que había estudiado ingeniería sabía que para generar una huella o señal en un blanco (léase Ambiente) el blanco debe deformarse y según las leyes de Robert Hooke, para deformarse se requiere la acción de un esfuerzo, y un esfuerzo es una fuerza por unidad de área, y ambas requieren un coeficiente que las enlace (Por qué no llamarlo un Módulo de Elasticidad Ambiental!!!). ¿Y el área será físicamente una superficie plana o un fractal?.

¿Y los efectos sobre los medios socio-económicos y los estéticos se pueden seguir llamando Impactos Ambientales?.

—Meditaba Juan sin Miedo. Caramba!! : El que inventó el vocablo debió ser un genio publicista, porque la palabra realmente nos hace evocar imágenes virtuales de cosas que no existen, que no son como parecen ser, que nos cuesta mucho dinero demostrar su valor, y que en multitud de casos no sirven para mucho en nuestro medio !!.

—¿Qué está pasando aquí?— se pregunta Juan sin Miedo. ¿Será que la segunda ley de la termodinámica (Entropía) está dechada de malas noticias técnicas en los laboratorios de mis cordilleras, llanos y mares?. O bien según dice James Gleick >>Cito>> “La complejidad florece en nuestro mundo, y quienes recurren a la ciencia para entender de modo general los hábitos de la naturaleza quedarán más satisfechos con las leyes del caos”.? (CAOS, pag. 308).

Hay por lo menos tres interpretaciones (D.J. Morris 1993) del término Estudio de Impacto Ambiental según (Lincoln-Smith, 1991). Primera: A priori se puede referir a la predicción de cambios en entes naturales en respuesta a una perturbación, o a la predicción de costos (económicos, sociales, ambientales, estéticos) resultantes de esos cambios. Segunda: También puede incluir la medición de los cambios que actualmente ocurren cuando la perturbación se verifica. Por último, la tercera, es una interpretación combinada las dos anteriores, en un proceso formal en la que la predicción se enmarca dentro de una hipótesis ensayable, y el monitoreo de los cambios subsecuentes proporciona los resultados del ensayo (Hilborn & Walters, 1981. Fairweather, 1989. Peterman, 1990. Lincoln-Smith, 1991). Todo lo aquí indicado requiere una extensa explicación, de manera que por la brevedad del tiempo lo dejamos así, sin mayores detalles. En otra ocasión será!!..

DEL AMBIENTE Y SU ENCUENTRO CON EL SIGLO XXI

La Pontificia Academia de Ciencia, el Director General de la UNESCO, 1500 científicos del mundo, unas 12 academias de ciencias nacionales y 99 premios Nobel suscribieron un documento titulado *Warning to Humanity* (1992) donde declaran :

>>Cito>> “ los seres humanos y el mundo natural se encuentran en un camino de colisión que puede alterar el mundo viviente de tal manera que será incapaz de sostener la vida en la manera como la conocemos “.

El próximo encuentro del Ambiente con el Siglo XXI se halla plagado de dificultades con características globales, tales como: Calentamiento del planeta tierra, agotamiento de la capa de ozono, contaminación del aire, destrucción de las selvas húmedas y lluvias ácidas, desnutrición, sobrepoblación, extinción de las especies, contaminación de las aguas y elevación del nivel de las aguas de los océanos, cambios en la producción y consumo de energía y sus efectos sobre el ambiente, aumento de la resistencia de microorganismos generadores de enfermedades ya desaparecidas y nuevas enfermedades, proliferación de armamento incontrolado de sustancias químicas tóxicas y biocidas, aniquilamiento masivo de seres humanos por enfrentamientos religiosos, racismos y disputas territoriales que se hacen cada vez más numerosos, el dominio de la comunicaciones, del WorlWideWeb y sus efectos socio-económicos sobre el hombre .. y pararemos de contar !!!.

Tomando al azar uno de los mencionados temas, para describir lo que se nos enfrenta en muy breve tiempo, en ese camino de colisión, por ejemplo: “Agotamiento de la capa de ozono”, veamos lo que se conoce de este apocalíptico sueño.

En 1970 los científicos descubrieron que una fina capa de ozono, que se encuentra en la parte superior de la estratósfera (12 a 120 km de altura), que sirve para resguardar a la tierra de los dañinos rayos ultravioletas provenientes del sol, era atacada por sustancias químicas producidas por el hombre para fabricar sistemas de aire acondicionado, refrigeración casera, vehicular e industrial, aerosoles y solventes para limpiar . Estas sustancias se identificaron como CFCs, o sea clorofluorcarbonados, cuyo particular comportamiento es el de elevarse a muy grandes alturas en la atmósfera y desprender sus moléculas de cloro, atacando y rompiendo los enlaces electrónicos del ozono hasta sus constitu-

yentes de oxígeno, sin que el cloro sea afectado por su interacción con el ozono, de manera que las moléculas de cloro conservan la capacidad para reaccionar con grandes cantidades de ozono por un largo período de tiempo.

Ahora bien, el aumento de la penetración y de la intensidad conque la radiación ultravioleta golpea la superficie de la tierra da lugar a un aumento significativo en el cáncer de la piel y cataratas en seres humanos, pero también afecta a su sistema inmunológico reduciendo su capacidad de responder a las infecciones.

Por si fuera poco, la base de todas las cadenas alimentarias de los océanos, como lo es el plancton, es afectada negativamente al reducirse su tasa de crecimiento, aumentando la emisión de gas carbónico a la atmósfera y propiciando el aumento de temperatura del planeta . En estas reacciones en cadena el cloro continuará reaccionando con el ozono por décadas, aunque se erradique la producción global de los CFCs, y a su vez , el calentamiento previsto puede dar origen a más ozono destruido.

Aún si se cumple con el acuerdo del Protocolo de Montreal, de 1987, para prohibir la producción de sustancias que agotan la capa de ozono, en el año 2000 la pérdida de ozono llegará a su máximo.

Si los países más industrializados no hacen algo rápidamente para reducir su inmenso consumo de energía, del insaciable agotamiento de los combustibles fósiles, evitan las deforestaciones y la quema de sus bosques, disminuyen los procesos contaminantes de su industrialización acelerada, y otros, la destrucción del ozono continuará más allá de la fecha indicada.

Tal vez la cumbre de Kyoto, a realizarse en Diciembre de 1997, arroje mejores resultados para la humanidad que la Conferencia sobre Ambiente y Desarrollo auspiciada por las Naciones Unidas y celebrada en Río de Janeiro, Brasil en 1992.

RECONOCIMIENTO Y DESPEDIDA

Al concluir esta disertación deseo agradecer al Comité Organizador del III Congreso de Ingeniería Industrial y de Producción y al Presidente y demás miembros Directores de la Asociación Venezolana de Ingenieros Industriales, su amable invitación a participar en esta jornada, que me ha brindado la oportunidad de compartir con ustedes las inquietudes y experiencias aquí presentadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Historia Fundamental de Venezuela. José Luis Salcedo Bastardo.
- 2) La Planificación en Venezuela. L.Lander, M de Rangel Sociedad Venezolana de Planificación. Caracas 1970.
- 3) V Plan de la Nación. Gaceta Oficial N° 1860 pag.71 .
- 4) Control Mensual de la Variación del Lecho del río Orinoco, Ing° Joseba A. Lascurain. Corporación Venezolana del Petróleo (CVP) Enero 1968. Aforo de la Sección N° 32 del 29-9-1966.
- 5) MSAS. Tema Central III . Administración de Servicios de Saneamiento XII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria. 3.16 Control de Industrias de Alimentos. Ing° Manuel Torres Parra pag. 172. Asunción, Paraguay 20 al 26 de Agosto de 1972.
- 6) MSAS. Tema Central III . Administración de Servicios de Saneamiento XII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria. 3.16 :Control de Industrias de Alimentos. Ing° Manuel Torres Parra pag. 177. Asunción, Paraguay 20 al 26 de Agosto de 1972.
- 7) Una Política Sanitaria . Tomo II. Dr. Arnoldo Gabaldón. pag. 21 MSAS. Caracas, 1965
- 8) MSAS. Tema Central III . Administración de Servicios de Saneamiento XII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria. 3.2 Higiene Ocupacional. Ing° Rafael Cáceres P. pag. 225. Asunción Paraguay 20 al 26 de Agosto de 1972.
- 9) Environmental Impact Assessment- A review of Its Aims and Recent Developments, D.J. Marine Pollution Bulletin. Volume 26 , N° .0 pag 540-545. 1993
- 10) Environmental Impact Assesment: The Roles of predicting and monitoring the extent of impacts in marine environments. Lincoln-Smith, M.P . Freshwat. Res. 42, 539-554, 1991
- 11) Pitfalls of Environmental Baseline and Process Sudies. Hilborn, R. & Walters, C.J EIA Review 2, 265-278, 1981.
- 12) Environmental Impact Assesment - where is the science in EIA? . Fairweather, P.G Search 20, 141-144, 1989
- 13) Statistical Power can Improve Fisheries Research and Management. Peterman, R.M Can. J.Fish Aquat, Sci. 47,2-15, 1990.
- 14) Planificación Ambiental: Una Visión de Conjunto, Aguilera, M. Trujillo, H (Eds) Publicación Especial , Universidad Simón Bolívar (USB) . Lagoven S.A 1987
- 15) Planificación, Tecnología y Ambiente. Aguilera, M. Trujillo, H. (Eds). Publicación Especial. Gerencia de Protección Integral. División de Oriente. Lagoven S.A 1988
- 16) Entropy - A new World View. Jeremy Rifkin with Ted Howard. Bantam Books. 1981
- 17) Caos -La Creación de una Ciencia. James Gleick. Seix Barral, 1987.
- 18) Simposio: Ambiente y Combustibles Fósiles. Conferencia: Grandes Problemas Ambientales en la Explotación de Petróleo y Gas. Ing° Joseba A. Lascurain. Convención Anual de ASOVAC. Universidad Francisco de Miranda. Coro, Estado Falcón Noviembre 17-18,1994
- 19) Foro. Evolución de los EIA en la Industria Petrolera Venezolana. Ing° Joseba A. Lascurain. X Jornadas Técnicas de Petroleo. Sociedad Venezolana de Ingenieros de Petróleo. Puerto La Cruz, 1995.

La Problemática del Agua en el Siglo XXI

Ing. José Ochoa Iturbe.

Prof. de Hidrología, Mec. de Fluidos y Drenaje Urbano.

Facultad de Ingeniería UCAB (Presidente - Sociedad Venezolana de Ing. Hidráulica)

A medida que la población mundial crece, disminuye proporcionalmente la cantidad de agua disponible para el uso per capita.

Esto es muy cierto, ya que el agua disponible en el mundo es la misma. Este es un concepto que a veces escapa al conocimiento común. El ver llover, pareciera que reflejara una nueva agua y, lamentablemente esto no es así. El agua se transforma dentro de lo que se conoce como el ciclo del agua: precipita, escurre, se evapora, para luego precipitar nuevamente. Pero, siempre es, en términos globales la misma agua, con distintas condiciones de calidad y presentación.

De toda el agua existente en el mundo, sólo una parte es agua dulce y, dentro de ésta, sólo una pequeña parte es posible de ser utilizada para su uso por el hombre, ya para su consumo, ya para sus actividades (riego, industrias, etc). Es apenas un 0,08 % del agua dulce total.

En el planeta, existen regiones, donde el agua ya escasea, notablemente en Asia y África. El continente Americano es privilegiado en cuanto magnitudes de agua disponible; sin embargo, países como Perú, Chile y Bolivia van a comenzar a sentir cierta "escasez" para los principios del siglo venidero. Repito, la escasez es provocada, no porque falta el agua, sino porque ha crecido el número de usuarios de *la misma agua*.

Algunas de las cifras mundiales que muchas veces se publican dan fé de la magnitud de la problemática que ya existe:

- 1,2 billones de personas en países en desarrollo no tienen servicio adecuado de agua potable.
- 2,9 billones no poseen servicios sanitarios (cloacas)
- A nivel mundial mueren unos 4 millones de niños al año por enfermedades de tipo hídrico.

- En África se estima que mujeres y niños utilizan unas 40 billones de horas al año en el proceso de acarreo de agua a sus hogares, desde pozas o ríos.

El organismo de las Naciones Unidas, consciente de este problema viene organizando desde aproximadamente un año un programa llamado "VISIÓN MUNDIAL DEL AGUA HASTA EL AÑO 2025". En un ejercicio intelectual, que ya involucra a cientos de personas en el mundo, la UNESCO, principalmente a través de su Programa Hidrológico Internacional, comienza a analizar seriamente escenarios futuros y posibles soluciones.

En nuestro continente este proceso había comenzado en 1993 a través del "DIÁLOGO INTERAMERICANO DE ADMINISTRACION DE AGUAS", movimiento gestado desde las bases (técnicos, etc) y respaldado por la Organización de Estados Americanos (OEA) desde 1994, teniendo de hecho una Secretaria pro tempore en la unidad de Desarrollo Sustentable de dicha entidad. Este movimiento que cada día cobra más fuerza ha sido reconocido por la UNESCO como apropiado para el ejercicio de la "Visión" en las Américas.

Por esta razón, en el III Diálogo Interamericano de Aguas realizado en el mes de Marzo de este año en la Ciudad de Panamá, se realizó un ejercicio de la Visión Americana del agua, en un día intenso de discusiones e intercambios, auspiciado conjuntamente por la OEA, la UNESCO y el gobierno de Panamá.

Los objetivos básicos generales de la visión son:

- Desarrollar conocimientos en cuanto a lo que pasa en el mundo respecto al recurso agua, tanto desde el punto de vista regional como global. Dentro de este concepto está la planificación y desarrollos futuros de las naciones y la demandas que éstos generen.
- Basados en esos conocimientos, producir por consenso, una "visión" para el año 2025 que sea compartida por especialistas y técnicos, gobiernos, sector privado y la sociedad en general.

- Fomentar y generar interés por los problemas de recursos hídricos en la población en general y en los centros de toma de decisiones, de manera de crear conciencia política y liderazgo para llevar a cabo los propósitos de la Visión.

- Utilizar el conocimiento y soporte generado para contribuir a un marco de acción a desarrollar por la Unión Global del Agua.

El proceso ya comenzado es de gran interés. En principio, el ejercicio ya realizado en Panamá para todo el continente, se está realizando con cierta simultaneidad en otros continentes. Luego de inmediato, se realiza el ejercicio a nivel subregional y local de cada continente, de manera de captar las diferentes visiones de la problemática del agua. Estos resultados son nuevamente analizados a nivel de región o continente, con la finalidad de uniformizar y priorizar criterios y soluciones par finalmente en una gran reunión mundial, la Segunda Conferencia Ministerial y Foro Mundial del Agua, que se realizará en La Haya en Marzo del año 2000, se analice la problemática mundial de las aguas del planeta.

En un trabajo presentado en la publicación oficial del Consejo Mundial del Agua en 1998, Ismael Serageldin, Vicepresidente del Banco Mundial y Presidente de la Comisión para la Visión del agua en el siglo XXI plantea algunas interrogantes, que de alguna manera deben ser resueltas. Por ejemplo, ¿Afectará el cambio climático el ciclo hidrológico en diversos sitios del planeta? ¿Dónde se presentarán nuevos focos de desertificación por falta de agua? ¿Dónde variará la precipitación y por tanto la escorentía de ríos?

¿Seguirá creciendo la población mundial ejerciendo mayor presión sobre la demanda? ¿Se podrán aumentar las fuentes de agua? Notablemente el agua subterránea no descubierta ó ¿con procesos de desalación más económicos?

¿Conseguiremos reducir las pérdidas de agua? ¿Podremos reducir la contaminación de los ríos y aprovechar mejor sus aguas?

Estas y más son los planteamientos señalados en dicho artículo y que deben pensarse y analizarse, no sólo por técnicos y científicos, sino como mencionábamos previamente por los gobiernos y la población en general.

El problema existe , latente en muchos sitios, pero cada vez más palpable. Hay, sin embargo, algunos signos esperanzadores. De acuerdo con las publicaciones señaladas en la referencia, la rata de crecimiento mundial ha descendido; fuentes alternas de energía puede ser que permitan una desalinización más económica. Los avances en biotecnología prometen mejorar los cultivos para consumir menos agua (el 70 % del agua es usada en agricultura). Nuevos métodos participativos en la gestión del recurso permitirán inversiones más razonadas y aceptadas. Los satélites artificiales permitirán localizar grandes masa de nubes para predecir las precipitaciones y mejorar el aprovechamiento de las mismas. Los conceptos del justo valor del agua y de que el que contamina debe pagar, revolucionan la gerencia del recurso, sin olvidar que el agua es básica para la vida y por tanto un derecho de todo ser humano. Un derecho de recibirla en cantidad y calidad suficiente, aún cuando deba cancelar el servicio o costo para que esa agua llegue al usuario.

Todos estos temas e interrogantes deben ser discutidos, debatidos y sus resultados propuestos, a fin de no dejar a las generaciones futuras un problema que toma mucho tiempo en analizar y mucho más tiempo en resolver, dados los costos de infraestructura, el tiempo de ejecución y finalmente el tiempo para la preparación del personal adecuado para gerenciar y operar los sistemas.

En Venezuela el proceso apenas comienza; La Sociedad Venezolana de Ingeniería Hidráulica y la UCAB han comenzado las gestiones para convertirse en puntos focales de la red "Diálogo Interamericano de Administración de Aguas" y en participantes activos de la "Visión" para Venezuela y las Américas como un aporte de la Sociedad Civil a la búsqueda de las soluciones adecuadas para un uso racional del agua.

REFERENCIAS

- "World Water Vision" - Water Policy Official Journal of the World Water Council (1998)
- " Long Term Vision for Water, Life and the Environment" - World Water Council (1998)
- Papeles y resúmenes de la Conferencia organizada por la OEA y la UNESCO en Washington , D.C. 1998 preparatoria para el III DIALOGO INTERAMERICANO DE AGUAS.

Historia del Control de Calidad en Venezuela

Ingeniero Antonio Borges. (Coordinación de Laboratorios. Facultad de Ingeniería).

E-mail: aborges@ucab.edu.ve

Ingeniero Milagros Rojas. (Universidad del Zulia).

Abogado Iván Adreani. (Internacional Press).

Para hablar del *Control de Calidad* en Venezuela es necesario hacer referencia de algunos acontecimientos históricos que se dieron a nivel mundial en esta materia.

Comencemos diciendo que en materia de Control de Calidad, en los últimos siete (7) años, los cambios han sido muy acentuados, inclusive, mayor que en toda su historia.

Al principio, el Control de Calidad se manejaba de un modo artesanal. El hombre que producía era el mismo que controlaba, debiéndose esto, principalmente, a la poca demanda y a la poca exigencia de productos sofisticados. Esta forma de "control" se mantiene hasta que aparece, por primera vez, el *capataz* de producción asociado, inicialmente, a un *inspector* de calidad, para luego asociarse a un *supervisor* de calidad. Más tarde se crea la *Jefatura* que con el tiempo pasa a ser *Gerencia* de un Departamento el cual se llamó *Control de Calidad*.

Desde el punto de vista organizacional, los cambios iban desde el nivel de *línea*, hasta el nivel de *Staff* (este último recomendado a nivel internacional). Por supuesto, todo este contexto internacional influye, en gran escala, en los desarrollos posteriores de la gestión en las industrias venezolanas.

Para hablar de los inicios del Control de Calidad en Venezuela, nos vamos a remontar a la década de los 50. En esa época, las pocas industrias existentes, daban por sobrentendido la calidad ya que sus estructuras organizativas eran muy cerradas. Este tipo de estructura suponía que la o las personas encargadas de producir lo hacían en forma impecable.

En el año 1952, el *Ministerio de Fomento* de nuestro país comienza a detectar, gracias a intercambios internacionales, sobre todo con el Gobierno de España, la necesidad de crear un ente se encargue de promover la Calidad a nivel industrial, siendo esta idea gestada por un señor de nombre *Carlos Pi Suñer* y es, en el año 1958, que se crea la *Comisión Venezolana de Normas Indus-*

triales (*COVENIN*), a través del Decreto 508 de ese mismo año (1958). Esta comisión arranca en forma muy sencilla donde Carlos Pi Suñer comienza a planificar unas actividades que van dirigidas, exclusivamente, hacia los elementos de Diseño, es decir, como definir y establecer la calidad y de esta forma se da origen a la *Normalización*.

Desde ese momento, se crean comités para encargarse de las áreas de mayor desarrollo, siendo éstas la construcción y el área eléctrica, lo cual trajo como consecuencia, a nivel académico, la preparación de un gran número de Ingenieros en estas disciplinas, por supuesto, esto es debido al gran crecimiento que comienza a experimentar la población para esa época, y por ende crece la demanda en vivienda y servicios.

Las primeras manifestaciones de necesidades, en materia de normalización, se presentan en el Sector de la construcción y en consecuencia se crea una comisión que se llamó *Comité Conjunto de Concreto Armado* (*C.C.C.A.*) que era un grupo de la *Asociación Venezolana de Productores de Cemento* y que se encargó de desarrollar las primeras normas en esa especialidad (*cemento y estructuras*).

En forma casi paralela, el *Instituto Nacional de Obras Sanitarias* (*I.N.O.S.*) también desarrolla algunas normas referentes al tratamiento de las aguas.

En el sector eléctrico aparece el *Comité de Electricidad y Electrotecnia de Venezuela* (*CODELECTRA*) donde se generan las primeras normas de Calidad referentes a ese sector.

Con la creación de COVENIN, todas las normas nombradas anteriormente, pasan a ser capítulos dirigentes de los comités respectivos.

Este fenómeno continúa hasta, aproximadamente, mediados de la década del 60 y para el año de 1965 se otorgan, por primera vez en nuestro país, la marca *NORVEN* a un grupo de empresas, y esto se hace, exclusivamente, tomando en cuenta las bondades que pre-

sentaba el producto a nivel colectivo y no por medio de visitas y auditorías periódicas que permitieran a COVENIN evaluar, en forma objetiva, dichas empresas. Sin embargo, a nivel mundial, el otorgamiento de las marcas de Calidad, no solo se basaba en la bondad del producto, sino que también debían cumplir ciertas exigencias apoyadas en los procedimientos nombrados anteriormente y esto debido al alto nivel de competitividad. Estas exigencias obligan a los países desarrollados a darle mayor importancia a la inspección, al control, a la metrología y a todo lo referente en materia de Calidad.

Venezuela no se puede escapar de este fenómeno y es a principios de la década del 70 cuando aparecen las primeras estructuras de Calidad en la industria. Es importante destacar que la principal preocupación por el tema se presentó a nivel gubernamental a través del Ministerio de Fomento creando así una infraestructura dentro de sus líneas que se llamó *División de Normalización y Calidad* y que luego pasó a ser una Dirección (*Dirección de Normalización y Certificación de la Calidad*). Esta Dirección fue creada en el año 1970 y funcionó, con algunos cambios relativos, hasta el año de 1993. Sus funciones eran principalmente fiscalizadoras, donde las empresas no tenían ninguna motivación hacia la estructura de Calidad, sin embargo, el consumidor era severamente afectado por la presencia de productos de mala Calidad. Debido a este efecto, la acción gubernamental fue inculcando el desarrollo de la Calidad en las empresas, creando, a través de COVENIN, el *Manual de Evaluación de Sistemas de Calidad* (Norma 1000) la cual sufrió hasta 1980 de varias revisiones y modificaciones. Al mismo tiempo se creó una Norma para la aprobación COVENIN de los Laboratorios, la cual se otorgaba a través de unas evaluaciones, diagnósticos y supervisiones cumpliendo una exigente metodología de trabajo escrita. Todo esto trajo como consecuencia una mejora en la Calidad, ya que muchas empresas líderes y algunas Universidades (UNIMET, USB, Laboratorio E USB, IMME de la UCV, UCAB) se interesaron seriamente en obtener la aprobación COVENIN de sus Laboratorios.

Bajo estas consideraciones y procedimientos, es entonces cuando en 1973 aparece el primer producto que tiene calidad certificada en el país, es decir, calidad avalada por un organismo gubernamental, en este caso el Ministerio de Fomento, y correspondió a la empresa *SIDOR* (*Siderúrgica del Orinoco*) en cabillas estriadas en grados A-24 y A-42.

En Septiembre del mismo año (1973) nace un organismo de apoyo financiero llamado *FONDONORMA* (*Fondo para la Normalización y Certificación de la Calidad*).

Este proceso, junto con los organismos ya nombrados, continúa en evolución hasta que entre los años 1980 - 1981 aparece el concepto de *Calidad Total* y *Círculos de Calidad* en Venezuela, gracias a las relaciones que establece nuestro país a través del Gobierno con organismos internacionales muy calificados, como es el caso de la *Agencia de Cooperación Japonesa*, concretamente, con los entes homólogos que existen en Japón en materia de Laboratorios, metrología, calidad y normalización. Esto se extiende a países de Europa (Francia y Alemania), con los cuales se establecen convenios.

A finales de la década de los 80 se comienza la búsqueda de la autonomía y el acoplamiento del concepto de Calidad de acuerdo a las directrices internas, lográndose esto, concretamente en el año 1993, a través de la creación de un organismo llamado *SENORCA* (*Servicio Autónomo de Normalización y Calidad*) cuyas funciones principales eran de dirección y de manejo reglamentario. Para ese momento se decide que *FONDONORMA* mantenga sus funciones de certificación, normalización y difusión de la calidad en todos sus aspectos y, por otro lado, *SENORCA*, velará por el correcto cumplimiento de la obligatoriedad de las Normas, conjuntamente con el Gobierno Nacional. Dichos organismos se mantienen en la actualidad.

Paralelamente, en 1990, aparece por primera vez en Venezuela la Norma *ISO 9000* (creada en 1987 a nivel internacional) y en ese mismo año se hacen ensayos con algunas empresas con el objeto de verificar si era factible la aplicación de la misma (*ISO 9000*), ya que, para ese momento, existían dudas de que las empresas venezolanas pudieran cumplir con todos los requerimientos establecidos por dicha Norma. Los resultados fueron muy notables y satisfactorios ya que se respondió a las expectativas y, es tanto así, que en la actualidad, las empresas se están orientando bajo las exigencias de *ISO 9000*. En ese mismo año (1992) se otorga la primera *ISO 9000* y le correspondió a la empresa *TORCAR*. Ya existen disciplinas y cursos especializados y del mismo modo los consumidores organizados (sobre todo a nivel de empresas) comienzan a exigir la presencia de la Norma *ISO 9000* en los productos. De la misma manera se origina la creación de *ASONORVEN* (Asociación de empresas con marca *NORVEN*) en 1993, e igualmente se crea, en 1995, una asociación natural de empresas que han sido calificadas en sus líneas de producción con la *ISO 9000*, la cual se denominó *Foro ISO-COVENIN 9000-Venezuela*.

En 1993 surge la idea de crear el *Premio Nacional de Calidad* creándose, finalmente, en 1994. Dicho premio debería ser otorgado por el Estado venezolano a través del Presidente de la República. En los actuales momentos, está en una etapa de "invernación" esperando

mejores condiciones socio-económico-políticas para su instauración emulando lo que ha sucedido en Estados Unidos con el premio *Malcon Baldrige*, en Japón con el premio *Deming*, en México con el premio Nacional mexicano, etc.

En resumen, desde el punto de vista institucional, la evolución ha sido, primero la creación de COVENIN, después la creación de la Dirección de Normalización y Certificación de la Calidad, luego aparece FONDONORMA abarcando, hoy en día, las funciones de las dos anteriores para ser un ente privado, y a nivel gubernamental aparece SENORCA y junto a ella el concepto de *acreditación*.

Desde el punto de vista de los procesos, aparece primero la normalización que se lleva según las líneas internacionales, luego la certificación la cual se rige por 8 modelos, aunque en Venezuela solo se aplican fundamentalmente 2: la certificación del producto y la certificación de los Sistemas, y finalmente la acreditación que califica la idoneidad de las instituciones que certifican, califica al personal y califica los laboratorios.

Desde el punto de vista legal primero aparece el Decreto 508, creación de COVENIN y a partir de ese momento se comienzan a generar una cantidad de instrumentos legales reguladores de la Calidad y cuya tendencia era hacer que las empresas practicaran la Calidad a través de un lineamiento de FUERZA en beneficio de la sociedad. Esto se hacía necesario ya que no existía una cultura de Calidad en el país y mucho menos a nivel de empresa. Esto continúa hasta que el 31 de Diciembre de 1979 se crea la *Ley de Normas Técnicas de Control de Calidad*, y que está asociada directamente al programa de *Protección al Consumidor* (Ley de Protección al Consumidor) y que actualmente se ha dirigido hacia la educación del consumidor y del usuario dirigido por el INDECU, organismo creado en 1992 acompañada de algunas resoluciones que se establecieron en el año 1993 con tendencia a la modernización de las instituciones y también a la implementación de la acreditación en Venezuela.

Desde el punto de vista del Recurso Humano se puede señalar que en el pasado los niveles de instrucción en materia de calidad eran muy escasos y llegó un momento (en la década del 70) donde los únicos que conocían de este tema eran los que estaban trabajando en instituciones estatales referidas a la materia, y desde allí se instruía al empresario venezolano; por supuesto que algunas empresas ya disponían de personal que tenía conocimientos en materia de Calidad, pero el gran peso lo llevaban las instituciones anteriormente señaladas. Gracias a la acción tomada por FONDONORMA, se comienzan a diversificar y a promulgar estos conociemien-

tos mediante cursos y programas, evolucionando en forma tal de que, hoy por hoy, el conocimiento en las empresas y en las Universidades es muy amplio. Inclusive, a nivel medio, se firmó un convenio entre el Ministerio de Educación (Ministro Carbonell) y algunas empresas del Estado Carabobo para la aprobación de graduar *Bachilleres en Calidad* (1985), considerando para esto, la experiencia de la persona, más un tratamiento educativo (materias especiales orientadas hacia el Control de la Calidad). La empresa promotora de este proyecto fue *FUNDAMETAL*.

Actualmente, a nivel nacional, en educación básica, existe una materia de nombre *Educación Ciudadana*, que habla, en algunos contenidos, sobre los deberes y derechos que existen de acuerdo al programa de Protección al Consumidor, asociándolo al tema de Calidad. A nivel superior, la materia de Control de Calidad, aparece, inicialmente como materia electiva y en la actualidad ya es cátedra obligatoria en algunas ramas de la Ingeniería como la Industrial, la Mecánica, etc.

A pesar de todo esto, a nivel de la sociedad, en general se nota una cierta lentitud en la asimilación y aceptación del concepto de Calidad. Todavía el consumidor evalúa como primera opción el precio de venta del producto y como segunda opción (optativa) el nivel de calidad. Esto no quiere decir que no exista un grupo de consumidores que toman muy en serio el factor Calidad a la hora de adquirir un producto, pero la mayoría no lo hace.

Estas y otras razones generan una preocupación en cuanto al futuro de la Calidad en nuestro país, el cual pareciera verse un poco estancado, sin embargo, se pudiera pensar en una evolución bajo las siguientes recomendaciones:

1.- A nivel institucional, se tienen que eliminar ciertas burocracias y se deben generar mayores directrices con personal capacitado en gerencia, en administración y en leyes para que puedan progresar y vencer satisfactoriamente todos los obstáculos que en materia de Calidad se les vayan presentando. De igual manera se debe diversificar la gestión de Calidad a niveles de empresas y entes públicos y no solamente que la empresa privada cargue con todo el peso en esta materia.

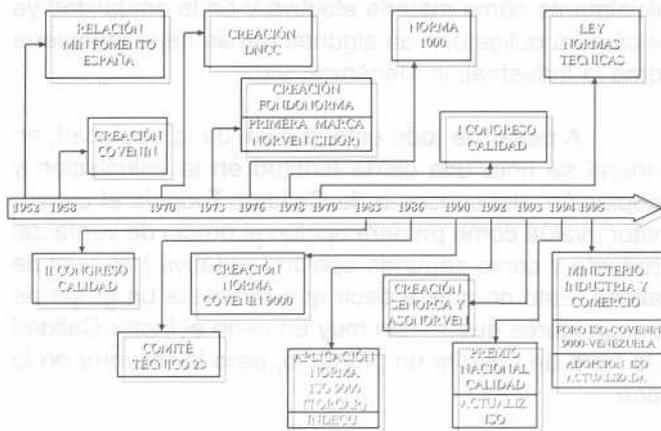
2.- A nivel de procedimientos, operaciones, conocimientos y tecnicismos, se debe generar una mayor difusión en materia de metrología, mejorar los Laboratorios e internacionalizar los procedimientos generales en esta disciplina.

3.- A nivel del Recurso Humano, se debe capacitar con mayor profundidad, no a nivel teórico, sino a nivel

práctico, es decir, crear cursos que evalúen la capacidad teórico - práctica del participante y no solamente entregar certificados de asistencia. Promulgar la investigación en esta área (crear base de datos de, por ejemplo, quienes trabajan en calidad, su evolución no solo a nivel del país sino a nivel de empresas, cuales son las herramientas que se pueden aplicar en forma efectiva, como relacionar las experiencias locales con herramientas universales de calidad, etc)

Realmente consideramos que la Calidad se debe comenzar a apreciar como una inversión y no como un gasto y cuyos efectos se hacen sensibles, por lo general, a mediano plazo.

EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD EN VENEZUELA



AUTORES

Ing. Antonio Borges: Ingeniero Mecánico (UCV)
UCAB e-mail
aborges@ucab.edu.ve.
Coordinación de Laboratorios.
Facultad de Ingeniería

Ing. Milagro Rojas: Ingeniero Civil (Universidad del Zulia)
Telf. 682-84-03

Iván Adreani: Abogado (UCAB)
International Press.
Telf. 239-93-22

FUENTE PRIMARIA

Ingeniero Tito Germán Zambrano Murillo

Estudios realizados:

- Maestría en Ciencias Administrativas en la Facultad de Ciencias Económicas y Sociales de la Universidad Central de Venezuela. 1997
- Especialista en Ciencias Administrativas Mención Gerencia General. Facultad de Ciencias Económicas y Sociales de la Universidad Central de Venezuela. 1997
- Estudios de Maestría en Educación en el Instituto Pedagógico Experimental de Maracay "Rafael Alberto Escobar Lara" Mención Docencia Universitaria. 1985
- Ingeniero Químico. Facultad de Ingeniería de la Universidad de Los Andes. 1977

Cargos Desempeñados:

- Vicepresidente de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT). Desde 1993 hasta 1998.
- Vicepresidente de la Cooperación Interamericana de Acreditación (IAAC). Desde 1996 hasta 1997
- Representante principal por Venezuela ante la International Organization for Standardization (ISO). Desde 1987 hasta 1996
- Representante principal por Venezuela ante el Comité Andino de Normalización de la Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC). Desde 1987 hasta 1996
- Director General del Servicio Autónomo Dirección de Normalización y Certificación de Calidad (SENORCA). Desde su creación en 1993 hasta 1997.
- Actualmente es Presidente de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPAN).

Los Postgrados en el Área de Ingeniería.

Por: Ing. Nelson Belardi.

La Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica "Andrés Bello" consciente de su responsabilidad con el país, y ante los retos de los procesos de globalización económica, social y política, ha venido trabajando desde 1993 en presentar sus propuestas de estudios de postgrados en área de su competencia a los fines de contribuir con la preparación de profesionales para afrontar algunos de tales retos.

En ese sentido ha desarrollado planes muy concretos para ofrecer programas de postgrado con el fin de cumplir con los objetivos y las expectativas, toda vez que el área de ingeniería es de vital importancia para el intercambio de bienes y servicios en el ámbito nacional e internacional, así como para participar en la globalización.

Desde 1994 el Área de Ingeniería se hizo presente por primera vez con el programa *Gerencia de Proyectos para Ingenieros*. Éste se dictó en su comienzo con algunos profesores Americanos, entre los que recordamos a: J. Adams y M. Nixon. Luego este programa bajo la sugerencia de su Director Lorenzo Caldentey y con la respectiva aprobación del Comité de Área decidió abrirlo a otras profesiones no afines a la Ingeniería, pasando este al Área de Gerencia.

Alrededor de 1994 liderizado por Eduardo Buroz comenzaron los estudios para el programa de *Ingeniería Ambiental* con el objetivo principal de preparar profesionales para poder afrontar los retos ambientales del país y de la Ley Penal del Ambiente. El programa comenzó a dictarse en el periodo académico 1995 - 1996 y fue el

primero en utilizar los salones especiales de la Facultad de Ingeniería.

En 1997 auspiciado por la *Asociación de Empresas con marcas Norven y otras certificaciones de calidad (ASONORVEN)**, nace el proyecto del programa *Sistemas de la Calidad*. Éste se trabaja desde sus comienzos en forma conjunta entre (ASONORVEN)* y la *Facultad de Ingeniería*, los cuales han aportado, además de valiosas ideas, apoyo para la realización del diseño del programa. El programa *Sistemas de la Calidad* se lanza en octubre de 1998, teniendo éste hasta los momentos una buena aceptación por los profesionales relacionados con la Calidad. Actualmente se está estudiando la posibilidad de internacionalizar este programa a través instituciones reconocidas en el área de la Calidad.

Los programas de *Logística Industrial e Ingeniería Estructural* liderizados por Manuel Gaspar y José Malaver respectivamente culminaron ya la fase conceptual y del diseño del contenido programático y se preparan para entrar ambos en las fases de estudios de mercado y de factibilidad económica, para luego proceder con la aprobación del Consejo Nacional de Universidades.

En los actuales momentos el sexto programa del Área de Ingeniería, un postgrado en *Ingeniería Industrial* se encuentra en su fase conceptual y en el diseño de los contenidos programáticos.

La Facultad de Ingeniería a través de su Área de Postgrado estará en capacidad de poder ofrecer cinco programas de estudios de postgrados para el año 2000.

*Hoy ASOCALIDAD

MIEMBROS DEL CONSEJO DE FACULTAD

PRINCIPAL - SUPLENTE

Ing. Rafael Hernández Sánchez Ocaña.	Decano-Presidente.
Ing. Vicente Napolitano.	Director de la Escuela de Ingeniería Industrial.
Ing. Wickard Miralles.	Director de la Escuela de Ingeniería Civil.
Ing. Lourdes Ortíz Sosa.	Directora de la Escuela de Ingeniería Informática.
Ing. María Barreiro.	Representante de los Profesores (cv).
Ing. Nelson Belardi.	Representante de los Profesores (ind).
Lic. Milagros Boschetti.	Representante de los Profesores (inf).
Ing. Raiza Reyes. Ing Diego J. Casañas.	Representante del Rector.
Lic. Roberto Escolar. Ing. Francisco Morera.	Representante del Rector.
Ing Javier Aradas Planas.	Representante de los Egresados
Bachillar Hugo Pacanins. Br. Osvaldo Anzola.	Representante estudiantil Ing. Civil.
Bachiller Pablo Páez. Br. Christine Reyners.	Representante estudiantil Ing. Industrial.

MIEMBROS DEL CONSEJO DE ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

PRINCIPAL - SUPLENTE

Ing. Wickard Miralles.	Director-Presidente.
Ing. Pedro Carrillo. Ing. Hugo Pérez Ayala.	Representante de los Profesores.
Ing. Edgar Ferreira.	Representante de los Profesores.
Ing. Alfonso Malaver.	Representante de los Profesores.
Ing Francisco Morera. Ing. Eduardo Rojas P.	Representante del Decano.
Ing. Marco A. Matute. Ing. Gustavo Rivas.	Representante del Decano.
Ing. Eduardo Madrigal Quevedo.	
Ing Isabel Andrade de Freitas.	Representante de los Egresados.
Bachiller Juan Macario. Br. Francisco Tablante.	Representante estudiantil.
Bachiller Christian Stratthaus. Br. Guillermo Mucci.	Representante estudiantil.

MIEMBROS DEL CONSEJO DE ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

PRINCIPAL - SUPLENTE

Ing. Vicente Napolitano	Director-Presidente.
Ing. Daniel Saloni..	Representante de los Egresados. (secretario)
Ing. Antonio Borges.	Representante de los Profesores.
Ing. Nelson Belardi.	Representante de los Profesores.
Ing. Henry Gasparin.	Representante de los Profesores.
Ing. Diego Casañas. Ing. Roberto Vainrub.	Representante del Decano.
Ing. Francisco Arvelo. Ing. Aurelio Useche.	Representante del Decano.
Bachiller José Coa. Br. Gustavo Baquero.	Representante estudiantil.
Bachiller Sue Toro. Br. Gustavo Díaz.	Representante estudiantil.

MIEMBROS DEL CONSEJO DE ESCUELA DE INGENIERÍA INFORMÁTICA

PRINCIPAL - SUPLENTE

Ing. Lourdes Ortíz.	Directora-Presidente.
Lic Pablo Mujica.	Representante de los Profesores.
Lic. Milagros Boschetti.	Representante de los Profesores.
No hubo postulación.	Representante de los Profesores.
Lic. Roberto Escolar.	Representante del Decano.
Lic. Omar Méndez.	Representante del Decano.
NO HAY	Representante de los Egresados.
Bachiller Maritza Martínez. Br. Julmhyr Fuentes.	Representante estudiantil.
Bachiller Héctor Gutiérrez..	Representante estudiantil.

ESTE EJEMPLAR SE TERMINO DE IMPRIMIR
EN LOS TALLERES DE EDITORIAL TEXTO
AV. EL CORTIJO, QTA. MARISA, N° 4
LOS ROSALES - CARACAS - VENEZUELA
TELEFONO: 632.97.17