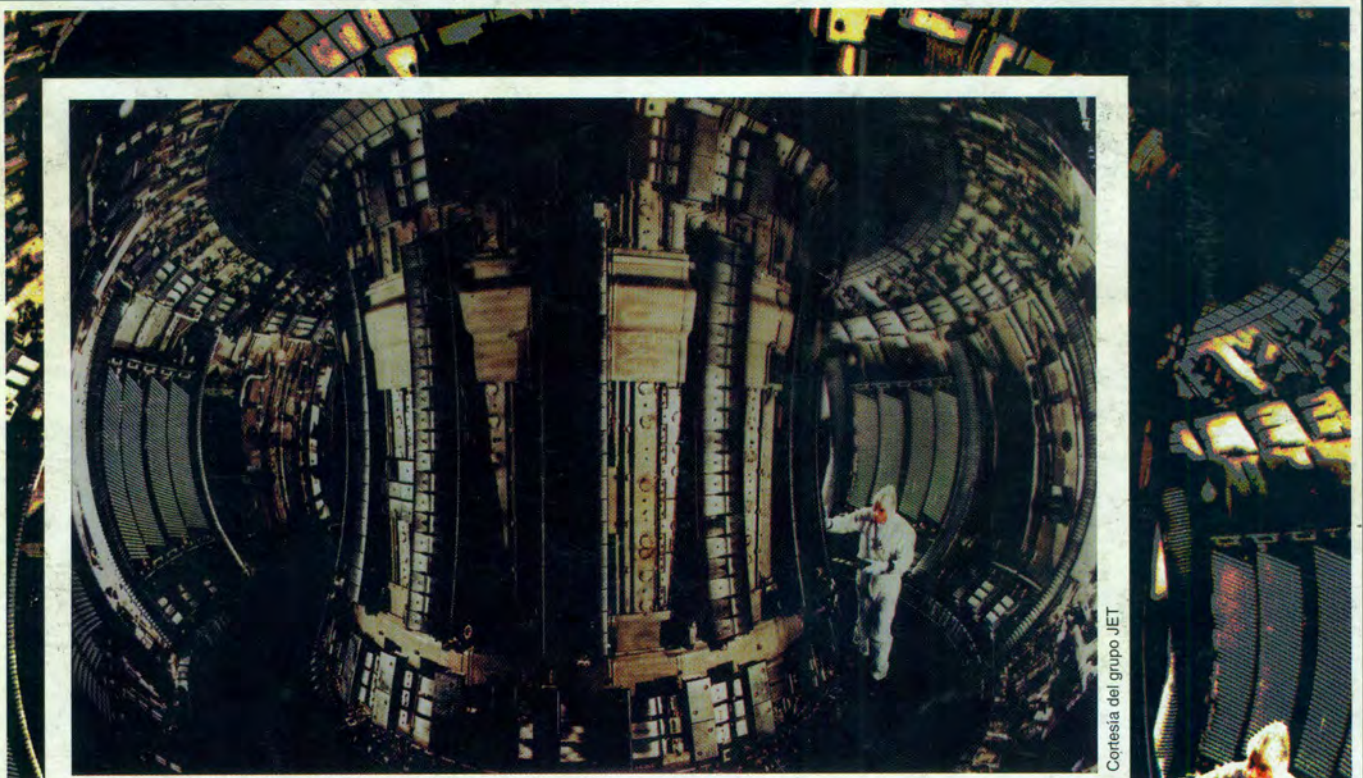


REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE
INGENIERIA

Año 5 N° 20

Octubre - Diciembre de 1995

PERMISO DE TARIFA POSTAL REDUCIDA N° 1419.DE ADPOSTAL



Cortesía del grupo JET

JOINT EUROPEAN TORUS (reactor Tokamak de fusión)

**Fusión nuclear
controlada:**

¿una alternativa al problema energético del mundo?

El CIECI: un importante aporte al desarrollo de la ciencia y la tecnología en Colombia

Dr. Javier Botero Álvarez

La raíz de muchos de los problemas que acosan a Colombia puede encontrarse, si se analiza con mucha atención, en una falta de desarrollo de la base científica y tecnológica de la sociedad. En un mundo en el cual las ventajas de un país sobre otro no están dadas por sus recursos naturales o sus atributos geográficos, como pudo haber sido hace algunas décadas, sino más bien por la capacidad de adquirir conocimientos y crear nuevas tecnologías o nuevas aplicaciones de las tecnologías en uso, la existencia de una comunidad científica altamente calificada, con capacidad y flexibilidad para adquirir y transmitir nuevos conocimientos al ritmo requerido, adquiere una importancia excepcional.

La universidad ha sido tradicionalmente un centro donde al mismo tiempo se ha transmitido y generado conocimiento. Un gran reto para la universidad colombiana de hoy, que se ha dedicado más a la transmisión que a la generación de conocimiento, es conservar aquel importante papel en un mundo en el que el saber se ha acumulado durante siglos y donde el ritmo de generación de nuevos conocimientos y nuevas tecnologías es muy alto. Por tanto, para que la universidad colombiana pueda afrontar este reto debe ser al mismo tiempo un centro donde se trasmitan los últimos descubrimientos y técnicas, donde se generen nuevos conocimientos y nuevas aplicaciones de los mismos y donde se pueda, mediante un continuo contacto con el sector productivo, transferir y adaptar a nuestro medio esos conocimientos y tecnologías. La única forma de obtener este múltiple objetivo presupone y exige el apoyo y el estímulo a los profesores-investigadores, quienes, dedicándose por completo al estudio, la investigación y la docencia, son los generadores-transmisores del saber. La agrupación de los profesores-investigadores de una universidad con unos objetivos claramente definidos conforma un Centro de Investigación.

La Escuela, consciente de este reto y de los requerimientos necesarios para afrontarlo, ha iniciado la organización del Centro de Investigación y Estudios Especiales (CIECI). CIECI tendrá como gran objetivo el de canalizar, fomentar y dar soporte científico a todos los proyectos de investigación en la Escuela, así como unir los esfuerzos de los diferentes grupos de investigación en la consecución de recursos y en la optimización del uso de la infraestructura y los recursos existentes. Esta iniciativa coincide con un plan estratégico de COLCIENCIAS para apoyar la creación y consolidación de centros y grupos de investigación como parte del plan de desarrollo de la ciencia y la tecnología en Colombia.

Esperamos que con esta iniciativa la investigación científica en la Escuela florezca; que CIECI se convierta en el núcleo científico de la Escuela, en la base para unos programas de posgrado fundamentados en la investigación, en el semillero de profesores-investigadores y en el puente entre el mundo académico de la ingeniería y el sector productivo colombiano.

El estado de la economía

Dr. Eduardo Sarmiento Palacio

Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Colombia; Ph.D. en Economía, Universidad de Minnesota; ha sido decano de Economía, Universidad de los Andes; asesor Junta Monetaria; subjefe Planeación Nacional; en la actualidad columnista del diario *El Espectador*, autor de siete libros y más de doscientos ensayos y artículos; director del Centro de Estudios Económicos, Escuela Colombiana de Ingeniería.

INTRODUCCIÓN

En el segundo semestre del año pasado se percibió una gran euforia sobre el desempeño en la economía. Se configuró un cierto consenso en torno a que la apertura económica había creado las bases para un crecimiento económico elevado y sostenido. Así, el Gobierno y los organismos privados, como FEDESARROLLO y ANIF, coincidieron en proyectar un crecimiento económico superior al 5%. No se advirtió que la apertura había provocado un desplazamiento masivo de la industria y la agricultura que redundó en un crecimiento promedio de los dos sectores igual a la mitad del promedio del conjunto de la economía. El dinamismo observado en los últimos años se originaba en las elevadas tasas de crecimiento de la construcción, los servicios y las actividades de ensamble que no eran sostenibles. En el fondo, se trataba de un modelo de crecimiento al debe que por definición tiene una fase ascendente y otra descendente. Inevitablemente, la economía se vería abocada a un desinfe de las burbujas, al debilitamiento de los sectores productivos y a un ajuste para reducir el déficit en cuenta corriente.

En realidad, no había razones para esperar un fortalecimiento de la actividad productiva. Por el contrario, lo más probable es que la tasa de creci-

miento entrara en un proceso descendente y se aproximara a la tasa mediocre de 3%. Así ocurrió en todos los países democráticos que se comprometieron con el modelo neoliberal. Lo cierto es esto que el crecimiento económico de la región se proyecta en

1% para el presente año y en menos de 3% para el siguiente.

El error del Gobierno está en que no procedió a corregir los factores que interferían con el buen desempeño de la economía. De hecho, se planteaba la necesidad de moderar las importaciones mediante acciones directas. En su lugar, se comprometió en la política monetaria aislada tendiente a reducir la inflación inercial, desconociendo totalmente las realidades de la economía. Lo cierto es que al desbordamiento de las importaciones se agregó una severa contracción monetaria. Así, en la actualidad las importaciones crecen 25% y los medios de pago 10%, lo que no deja margen para la expansión del valor agregado nacional.



ACTIVIDAD PRODUCTIVA

Los índices del primer trimestre constituyen un claro presagio de que la caída no estaba lejana. La cotización de las acciones en la bolsa cayó 20% en los dos primeros meses, las ventas del comercio bajaron del 9 al 3%, las ventas de vivienda descendieron en términos absolutos y los concordatos se multiplicaron. Por su parte, la producción industrial creció en los tres primeros meses 4.2% con trilla y 6.4% sin trilla, pero la composición no garantizaba mayor continuidad. Más de la mitad del aumento se explicaba por el equipo de transporte y las sustancias químicas y tanto el empleo como el consumo de energía descendían con respecto al año anterior.

Las tendencias se vieron agravadas en el segundo trimestre. Los indicadores disponibles señalan que una parte importante de la economía está entrando en un estado de índices negativos.

Tal vez en donde aparece más clara la magnitud de la caída es en la industria que dispone de la información más amplia y confiable y en muchos aspectos recoge la actividad de los otros sectores. Parte de la confusión actual se encuentra en las cifras disímiles arrojadas por las diferentes encuestas industriales. Sin embargo, las diferencias son perfectamente comprensibles. Así, la tasa de crecimiento más

elevada se observa en la encuesta gremial que está conformada en una gran proporción por empresas grandes que han sido las más favoreci-

das por la apertura, toda vez que tienen los componentes importados más altos e incluyen la mayor parte de las empresas de ensamble. Sin duda, la mejor ilustración de la baja representatividad de esta muestra está en la encuesta de la pequeña y la mediana industria que revela un descenso de la producción en el primer semestre. Por fortuna, los

dos resultados se ven conciliados en la encuesta del DANE que tiene una mayor cobertura de empresas pequeñas. En efecto, la encuesta muestra que la producción industrial que a finales de 1994 crecía 6% sin trilla y 4% con trilla, en el segundo semestre lo hizo al 4.2% y 2.2%. Por lo demás, este aumento está representado principalmente por

las importaciones de materias primas que aumentaron 30%. Si este elemento se sustrae, resulta que el valor agregado industrial descendió en el primer semestre.

Este resultado se confirma con otras fuentes de información. En la encuesta industrial se muestra que en el semestre el empleo descendió 2.5% con respecto al año anterior. Así mismo, se presentó una caída significativa de las utilidades y el con-

sumo de energía industrial en las cuatro grandes ciudades.

Algo similar se observa en los índices de consumos. Las ventas del

comercio crecieron 3.5% y las de la construcción bajaron en términos absolutos. Al mismo tiempo, en el último

reporte de la Contraloría se observa que los recaudos por concepto de IVA e impuesto a la gasolina descendieron en términos reales.

Lo anterior se manifestó claramente en las cifras de desempleo, cuya tendencia cambió a

partir de diciembre. La tasa de desempleo registrada en junio mostraba un incremento significativo con respecto a los dos trimestres anteriores. Luego, la cifra de septiembre reveló un aumento de más de un punto con relación a la misma fecha del año anterior. Aún más diciente, en el último año el empleo de las siete grandes ciudades aumentó menos de 1%, cifra que corresponde a la cuarta parte del promedio histórico.

Las condiciones de la agricultura son más complejas. De acuerdo con la SAC y el CEGA el área de cultivos transitorios, que corresponde al área del sector que cuenta con la información más confiable, cayó más de 4%. El Gobierno considera que este factor fue más que compensado por la producción de cultivos permanentes, pero en estos cultivos sólo se cuenta con cifras confiables en azúcar, banano y quizás palma de aceite. Lo que sí está experimentando una expansión significativa son las actividades de concentrados que se han visto favorecidas por los bajos precios de las importaciones. En todo caso, no parece probable que el deterioro de las actividades que disponen de información confiable hayan sido sustituidas por un aumento tan grande de las otras que al final resulte un incremento neto del sector de 5%.

El panorama descrito por las cifras era totalmente previsible. El comportamiento de la economía es

Lo cierto es que el crecimiento económico de la región se proyecta en 1% para el presente año y en menos de 3% para el siguiente.

Los índices del primer trimestre constituyen un claro presagio de que la caída no estaba lejana. La cotización de las acciones en la bolsa cayó 20% en los dos primeros meses, las ventas del comercio bajaron del 9 al 3%, las ventas de vivienda descendieron en términos absolutos y los concordatos se multiplicaron.

el producto de la confluencia de la apertura económica y la política monetaria restrictiva del Banco de la República. ¿Qué otra cosa se quería? La expansión de los medios de pago del 10% en un momento en que las importaciones crecen 25% constituye una monumental restricción sobre las actividades domésticas. Inicialmente se manifestó en una alza considerable hasta en el interés que se dio en la medida en que la caída de la actividad reproductiva se reflejaba en una reducción de la demanda de crédito. El hecho de que las tasas de interés se hayan estabilizado (28% pasivas y 38% activas) y que el precio de la bolsa caiga en forma acelerada constituye un claro indicio de que la economía está entrando en recesión y que ésta todavía no ha tocado foco. De mantenerse la tendencia, el crecimiento económico tendería a estabilizarse en 3% (sin petróleo) y el desempleo retornaría en niveles de 10%. Basta una mirada retrospectiva para advertir que se trata de un desempeño mediocre. En el fondo implica condenar a la población a bajos niveles de ingreso y elevadas tasas de desocupación.

El comportamiento de la economía es el producto de la confluencia de la apertura económica y la política monetaria restrictiva del Banco de la República. ¿Qué otra cosa se quería?

República. En virtud de ella, el gobierno se vio obligado a establecer la meta de inflación sin conocer las negociaciones del Pacto. Luego en las discusiones se llegó a un arreglo para elevar el salario mínimo en 20.5% cifra que establecía un piso a la inflación y en la práctica correspondía a la meta confiable del pacto.

Lo grave es que la política monetaria resultó incompatible con las dos metas. En primer lugar, propició un nivel de tasas de interés de 50% que acentuó los factores de costos y propició una gran indisciplina. No es fácil exigir a un arrendador de vivienda o a un propietario de buses que suba los precios de

sus activos en la mitad de los costos financieros. Por último, la restricción monetaria se manifestó en un crecimiento de los medios de pago de 10% y, en consecuencia, en una expansión de la demanda muy inferior a la inercia inflacionaria. Así, la política no logró reducir la inflación más allá de los ajustes dictados por el

pacto social y, en su lugar, provocó una caída de la producción y el empleo.



BALANZA DE PAGOS

Tal vez el punto más vulnerable de la economía es el externo. La apertura comercial y cambiaria provocó una entrada de importaciones y un debilitamiento de las actividades transables que redundaron en un creciente déficit en cuenta corriente que se estima en US\$ 4200 millones para el presente año (5.5% del PIB). Esta cifra es similar a la registrada en México ante la crisis y en Argentina a los principios del año. Por lo demás, las condiciones colombianas son más inciertas, porque una parte importante de los ingresos de divisas entraron por sobrefacturación de exportaciones y otros dejaron de salir por la

INFLACIÓN

Muchas de las dificultades actuales se encuentran en la falta de coordinación entre el Gobierno y la junta del Banco de la República. El Pacto Social surgió como alternativa a las políticas monetaristas tradicionales que no lograron el cumplimiento de las metas y, en su lugar, generaron secuelas negativas sobre la producción sectorial. Sin embargo, la aplicación del esquema se ha visto seriamente interferido por la ley del Banco de la

JOSE DARIO HERNANDEZ Y ASOCIADOS Ltda.

ingenieros - arquitectos

**CONSTRUCCION
E INTERVENTORIA**

Arq. JOSE DARIO HERNANDEZ V.
Arq. ENRIQUE GUTIERREZ G.

Ing. GERMAN MARTINEZ
Ing. JAIME BOTERO

Tels.: 621 57 82 - 621 83 63 - 621 84 03 - 621 07 67 - 236 69 76
Cra 28 No. 91 - 64 - Santafé de Bogotá, D.C.

subfacturación de importaciones. En realidad, no se sabe a ciencia cierta el tamaño de la deuda externa ni el déficit no registrado. Tal como lo sugiere el sentido común la tendencia no es sostenible. En la práctica se manifiesta en un creciente endeudamiento que se ve limitado por el acceso a los mercados internacionales. Así lo confirma la experiencia de Argentina y México. Los dos países llegaron a un estado en el cual los faltantes de divisas no lograron financiarse en los mercados internacionales y no tuvieron más alternativa que emprender el camino del retorno.

La debilidad del sector externo se ve amplificada por el régimen cambiario de franjas. El sistema adolece de la inestabilidad propia de los regímenes de cambio flexible. Los movimientos del tipo de cambio inducen expectativas que tienden a ser interpretados como algo que continuará en lo futuro. El tipo de cambio se ve expuesto a procesos indefinidos de aumento o disminución que terminan pegándolo al piso o al techo y, cuando esto ocurre, surgen dudas sobre el realismo de la franja y sobre la capacidad de las autoridades monetarias de mantenerla. Al final, la economía queda condenada a procesos de revaluación y devaluación mayores a

las necesarias para equilibrar el sector externo. Este comportamiento se presentó claramente en México y ya empezó a presentarse en la economía colombiana. En los últimos meses se presentó una salida de divisas superior a los ingresos que ocasionó una escasez de divisas y un aumento del tipo de cambio. Este movimiento se interpretó como algo que continuaría en lo futuro. Así en el último mes y medio se observa una caída sistemática de las reservas internacionales y un aumento persistente en el tipo de cambio.

El Banco de la República no ha ahorrado esfuerzos para mantener la banda cambiaria. En el último mes y medio la venta de divisas le significó una caída de reservas internacionales de 350 millones de dólares. Adicionalmente, procedió a ampliar el plazo de los pagos de importaciones de 4 meses a 6 meses y eliminó la posición propia de los bancos que ascendía alrededor de US\$ 500 millones. Hasta el momento, las medidas no han tenido los propósitos buscados. La tasa de cambio continúa pegada al techo, la brecha entre el dólar paralelo y el oficial se ha venido reduciendo y las reservas internacionales han entrado en franco descenso.

Young & Rubicam Colombia



AT&T G.I.S. combina las dos fuerzas que mueven el mundo.

Sólo AT&T G.I.S. combina la fuerza de la computación y de las telecomunicaciones con una destreza única en el mundo y con una gran capacidad para ofrecer soluciones completas: cajeros automáticos, computadores, software, redes, puntos de venta, modems, suministros de papel, equipos multimedia, etc.

Razón de ello pueden dar importantes empresas del país que ya están utilizando este servicio y que han encontrado en AT&T G.I.S., la manera de OBTENER, MOVILIZAR Y UTILIZAR la información que les permite tener un mayor conocimiento acerca de su negocio.

TRADUCE
la información en
OPORTUNIDADES

Tenemos una solución para su empresa. Llámenos. Tel.: 368 55 11





POLÍTICA FISCAL

Una de las innovaciones más importantes de la nueva Constitución está en la descentralización administrativa y en el fortalecimiento del gasto social. Los aumentos de los recursos destinados a estas actividades están claramente especificados en las normas y nadie puede llamarse a engaño. Otra cosa es que la iniciativa no sea viable dentro de una estructura tributaria de corte neoliberal.

Las dos administraciones anteriores propiciaron un perfil tributario tipo Reagan. En la reforma de 1986, adop-

tada cuando Gaviria se desempeñaba como ministro de Hacienda, al igual que en las posteriores revisiones, no se ahorraron esfuerzos para debilitar el impuesto a la renta. Se desmontó la progresividad tributaria, se eliminó el impuesto al patrimonio y se eximió a una gran parte de contribuyentes de presentar declaración que es el medio más efectivo de control de la evasión. Por lo demás, la apertura significó el desmonte del impuesto a las importaciones y la reducción de los aranceles, que en el pasado constituyeron las principales fuentes de ingresos fiscales.

Estas condiciones afectaron seriamente la discrecionalidad tributaria. La dinámica del gasto generado por la Constitución no ha tenido una contrapartida en el aumento de los recaudos. Así, la reforma adoptada al final del Gobierno anterior, que estipuló una sobretasa del impuesto a la renta y la elevación del IVA, no logró reducir la inelasticidad de los ingresos fiscales. En la actualidad los

recaudos descienden en términos reales. Como era apenas obvio, el presupuesto del Gobierno Central quedó expuesto a un creciente déficit.

Si bien el IVA tiene ventajas administrativas que facilitan la recolección y evitan la evasión, su aplicación se ve limitada por los efectos socia-

les y económicos. El gravamen es claramente regresivo. Afecta por igual al rico y al pobre. Además, la posibilidad de graduarlo de acuerdo con las características de los bienes no pasa de ser una especulación teórica. En la práctica se ve reducida por la alta sustitución entre los bienes consumidos por los diferentes estratos, el contrabando y la misma evasión. Por simple aritmética, la dispersión de las tarifas nunca podrá compensar las monumentales diferencias de ingresos que se observan en el país. Lo más grave es que

este tipo de impuesto se traslada casi en su totalidad al consumidor, convirtiéndolo en un factor inflacionario y recesivo.

La tasa de cambio continúa pegada al techo, la brecha entre el dólar paralelo y el oficial se ha venido reduciendo y las reservas internacionales han entrado en franco descenso.

Las dificultades para elevar el IVA y en general para adoptar la reforma tributaria se verán ampliadas en el próximo año, cuando se espera la sobretasa a la gasolina en Bogotá, el aumento de las tarifas de servicios públicos y una mayor devaluación. Si a todo esto se agregan las tendencias recesivas de la producción, la economía podría verse abocada al recrudecimiento de la inflación y al aumento del desempleo.



Proyectistas Civiles Asociados Ltda.

Diseño



Estructural

Cra. 10 No. 93-51,
 Telefax: 6-10-42-00 - 2-18-76-04
 2-18-77-03 - 2-57-02-25 - 6-10-37-57
 Santafé de Bogotá, D.C. Colombia

Las dificultades para elevar el IVA y en general para adoptar la reforma tributaria se verán ampliadas en el próximo año, cuando se espera la sobretasa a la gasolina en Bogotá, el aumento de las tarifas de servicios públicos y una mayor devaluación. Si a todo esto se agregan las tendencias recesivas de la producción, la economía podría verse abocada al recrudecimiento de la inflación y el aumento del desempleo.

CONCLUSIONES

En el momento se acumulan una serie de situaciones complejas que pueden llevar a la economía a un estado de difícil retorno. El sector productivo está entrando en recesión, el déficit de cuenta corriente de la balanza de pagos se tornó en una fuente de inestabilidad y el déficit fiscal está expuesto a una tendencia creciente. Tal vez lo más alarmante la pasividad de la opinión pública y del mismo Gobierno ante estas tendencias. En lugar de aceptar la realidad, se aprecia una aptitud a rechazar cualquier señal negativa de la economía. Así, hasta hace dos meses se decía que la actividad productiva evolucionaba perfectamente y que no había ninguna posibilidad de que la economía se enfrentara a un colapso de las características de México. Como consecuencia, no se ha hecho mayor cosa para enfrentar las posibles eventualidades que cada vez serán más difíciles de corregir y conjurar.

Curiosamente, los tres desequilibrios están relacionados con la apertura, el esquema del Banco de la República, la reforma constitucional y la estructura fiscal. Las posibles salidas se verán obstaculizadas por las talanqueras introducidas durante la administración anterior para perpetuar el modelo independientemente de los resultados. Así, la baja de aranceles se repitió con los acuerdos de integración que todos los días se extienden a nuevas áreas. El manejo cambiario y monetario se abandonó a manos del Banco de la República que es una rueda suelta movida por sus propias concepciones monetaristas y de libre mercado. Las transferencias están determinadas por la Constitución y cualquier intento de modificarlas tendría la oposición política de las regiones. Por último, el desmonte del impuesto a la renta y la apertura limitaron el margen de maniobra tributaria al IVA. Paradójicamente, la salud futura de la economía dependerá de la capacidad de deshacer de estas camisas de fuerza.

Tal vez de las tres dolencias la menos grave es la fiscal. Al fin y al cabo, la brecha puede ser subsanada mediante una elevación de los im-

puestos que no es nueva en Colombia y un déficit fiscal moderado no cabe mal en una economía en recesión. En cambio, las otras dos dolencias se originan en buena parte en el desbordamiento de las importaciones, lo cual no tiene cura fácil dentro del dogma de la apertura y de los compromisos de integración, ni dentro del esquema monetario y cambiario que

En el momento se acumulan una serie de situaciones complejas que pueden llevar a la economía a un estado de difícil retorno.

está determinado por las convicciones monetaristas y de libre mercado de los miembros de la Junta del Banco de la República. Lo cierto es que recetas que se ofrecen son las mismas que se aplicaron con resultados funestos en México y Argentina. Una consistiría en realizar una devaluación masiva que aceleraría la inflación y en el mediano plazo acentuaría la recesión. La otra consistiría en acentuar la recesión actual hasta llegar a elevados niveles de desempleo. En un caso la reducción de las importaciones se corregiría por la inflación y en la otra por el desempleo. Las dos fórmulas tienen un elemento en común. La solución de la crisis de la balanza de cambios se corregiría a cambio de una mayor recesión.

Desde luego existe una opción prohibida. La verdad es que la recesión y la inestabilidad cambiaria son los resultados de la explosión de la apertura o si se quiere de la incapacidad de la economía para adaptarse a ella. En cierta forma la economía está perdida ante los efectos imprevistos de la apertura. Y cuando alguien llega a una situación de ese tipo lo mejor que puede hacer es devolverse por el mismo camino, como lo hizo Pulgarcito. El drama de Argentina y México reside precisamente en que han tratado de salir del bosque por un camino distinto. Sus esfuerzos se han



Angi Tours LTDA.

Calle 57 No. 25-69
Tels.: 210 1437 - 248 6966
Fax 210 1278
Santafé de Bogotá, D.C.

-  TURISMO RECEPTIVO
-  EXCURSIONES
-  RESERVAS HOTELES
-  CRUCEROS
-  ALQUILER AUTOS
-  PASAJES NACIONALES E INTERNACIONALES

Desde luego, se requieren muchos otros cambios en la política económica. Tal vez, el más urgente consiste en sustituir el sistema de bandas por una tasa única anunciada, eliminar el impuesto a las divisas y unificar el mercado cambiario.

Así mismo, es necesario modificar la política monetaria. La restricción monetaria no está en capacidad de lograr mayores reducciones en la inflación y, en cambio, agravaría las tendencias recesivas y el desempleo. Por lo demás, la posibilidad de moderar las alzas de los precios administrados y los salarios se verá seriamente reducida por la sobretasa a la gasolina, la elevación del IVA y la aceleración de la devaluación. En realidad, la única opción en este momento para reducir la inflación consistiría en un gran pacto para fraccionar los ajustes. Así, en enero se procedería a aumentar los precios en la mitad de la inflación registrada al final del año. Luego, se haría lo mismo en el segundo semestre dependiendo de los resultados. Si el aumento del índice de precios en el primer semestre es igual al del año anterior, el ajuste del segundo semestre sería igual al del primero. Si, por el contrario, el aumento del índice es igual a la mitad, el ajuste sería nulo. Al final, la inflación se desaceleraría rápidamente sin afectar la actividad productiva y sin lesionar los ingresos de los trabajadores.

De todas formas, es indispensable ubicar la política monetaria dentro del conjunto de la política económica. La meta de inflación debe establecerse simultáneamente con las previsiones del resto de la economía e incorporarse en las negociaciones del Pacto Social. A su turno, las autoridades monetarias deben presentar un programa simultáneo de los elementos y mecanismos para asegurar el cumplimiento de las metas. De esta manera, la autonomía del Banco de la República se colocaría en su verdadera dimensión limitándola al manejo del instrumental monetario.

Por último, es necesario adaptar las normas constitucionales y legales de transferencias municipales a la realidad de la economía. Para tal efecto, habría que revisar los porcentajes establecidos en la Constitución e introducir cambios institucionales de fondo en la organización municipal que permitan moderar los servicios financiados por el Gobierno Central y aseguren la orientación adecuada de los fondos. De otro lado, es indispensable apartarse de la estructura tributaria dependiente del IVA. La restauración del Impuesto a la importación antes propuesto podría lograr el mismo efecto en términos de recaudos, con la ventaja que sería menos fácil de trasladar al público. Aún más importante, contribuiría a la tarea de moderar las importaciones y reactivar la producción.

orientado a corregir las fallas de la apertura mediante formas indirectas, como lo son la devaluación y el desempleo.

Frente a estas imágenes, lo mejor que puede hacerse en este momento es revisar la apertura. Así una elevación del impuesto a las importaciones resolvería muchos de los problemas actuales. Lograría el doble propósito de reducir el déficit en cuenta corriente y reactivar la economía y de paso contribuiría a moderar el déficit fiscal sin los efectos regresivos del IVA.

El proceso de lodos activados y el diagrama de predominio relativo

Ing. Jairo Alberto Romero Rojas

Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Colombia; *Master of Engineering* en Ingeniería Ambiental, *Rensselaer Polytechnic Institute*, Troy, Nueva York; diplomado en Aguas Subterráneas, Universidad Hebrea de Jerusalén; Profesor asociado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional; director del Centro de Estudios Ambientales y profesor, Escuela Colombiana de Ingeniería. Autor de los libros: *Acuitratamiento por lagunas de estabilización*; *Acuipurificación y Acuiquímica*, editados por la Escuela Colombiana de Ingeniería.

INTRODUCCIÓN

Una forma de ayudar a entender los diferentes aspectos de importancia en el proceso de lodos activados y la relación existente entre ellos es, posiblemente, el «diagrama de predominio relativo». La figura 1 muestra un modelo de este diagrama para un sistema de lodos activados.

EL DIAGRAMA DE PREDOMINIO RELATIVO

Suponiendo condiciones ideales: temperatura de 20 °C, pH entre 6.5 y 8.5, OD mayor de 2 mg/L, nutrientes apropiados, ausencia de sustancias tóxicas y un reactor típico de cocheda, la figura 1 representa las etapas en las cuales los organismos alcanzan su número máximo. En este diagrama el eje horizontal representa el tiempo de aireación o la edad de lodos y el eje vertical representa el número relativo de organismos. Debe tenerse en cuenta

que la escala no es real, puesto que el número de organismos difiere grandemente y así, por ejemplo, el número de bacterias será mucho más grande que el número de rotíferos, lo cual hace muy difícil representar verdaderamente los valores reales.

La curva de rayas discontinuas de la figura 1 representa el alimento remanente o DBO. A medida que el proceso avanza en el tiempo, el alimento disminuye hasta un valor muy bajo.

La curva de puntos representa la masa de organismos existentes en cualquier momento. Inicialmente el número de organismos es muy bajo; se incrementa rápidamente con el tiempo hasta alcanzar el valor máximo sustentable por el alimento remanente, y disminuye al entrar la biomasa en respiración endógena. Para cualquier tiempo se tiene una determinada concentración de alimento o DBO y una masa fija de microorganismos; si se divide la cantidad de alimento remanente por la masa de microorganismos se obtiene la relación A/M para dicho punto y la distribución promedio de

los microorganismos para dicha relación A/M.

Como puede verse en la figura 1, en un proceso de cocheda el alimento disminuye con el tiempo, los microorganismos aumentan hasta un valor máximo y la relación A/M decrece.

La curva de rayas y puntos representa la tasa de consumo de oxígeno del proceso. Como al iniciar el tratamiento existen muy pocos microorganismos, la tasa de consumo de oxígeno es baja; luego aumenta a medida que el número de microorganismos crece. La tasa de consumo de oxígeno depende no sólo de la masa microbial, sino también de la actividad de las células. La tasa de consumo de oxígeno es máxima un poco antes de obtenerse el número máximo de organismos y luego disminuye.

Punto A

El punto A de la figura 1 representa el comienzo del proceso de cocheda; el agua residual acaba de ser introducida en el tanque y la aireación comienza a operar. En aguas residuales domésticas existirán los microorganismos necesarios para el tratamiento y no se observará en A predominio significativo de ningún organismo. Durante el desarrollo del proceso estarán presentes muchos tipos de organismos; en condiciones ideales ninguno alcanzará población tan numerosa como para tener un efecto significativo sobre el proce-

Fuente: E. Landon Niedringhaus, "Keeping Track of the Bugs", WPCF, Highlights, vol. 19 No. 10, octubre 1982.

so; sin embargo, cuando no se mantienen condiciones de operación apropiadas, se pueden desarrollar organismos indeseables en número apreciable que afecten el proceso.

Punto B

Este punto representa el momento en que los organismos sarcodina alcanzan su número máximo. Éstos son organis-

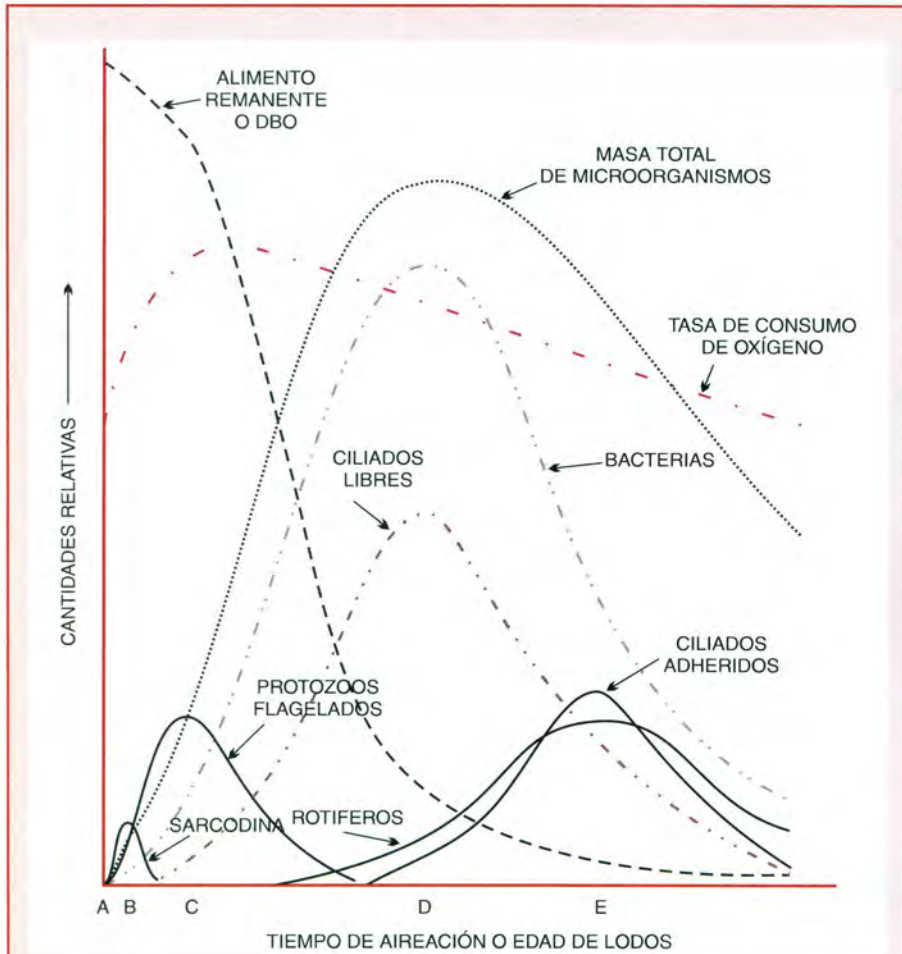
mos muy primitivos, de movimiento muy lento y bastante ineficientes en la competencia por alimento. La amiba es el organismo sarcodina más común; existen en número grande sólo cuando el suministro alimenticio es alto, en procesos de lodos activados cuando se arranca el reactor o cuando se reinicia la operación después de un período en el cual se ha perdido la biomasa.

Punto C

Es el punto en el cual los protozoos flagelados alcanzan su número máximo. Los protozoos flagelados, como se observa en la figura 2, tienen una estructura más compleja que los sarcodina, son mucho más activos y requieren mayor cantidad de alimento. Su movilidad les permite obtener alimento cuando el suministro es muy bajo para soportar una alta población de sarcodinas. Cuando los protozoos flagelados alcanzan su número máximo la tasa de utilización de alimento es muy alta. Este punto constituye el primer lugar de interés en el estudio de los lodos activados, pues es característico de un lodo joven y corresponde a la zona en la cual opera el proceso de lodos activados de alta tasa. Si se examinara el reactor de cochada en este punto, se observaría, probablemente, una cantidad considerable de espuma blanca o ligeramente carmelitosa; el lodo sería carmelita claro y si se colocara en una probeta se notaría que es de sedimentabilidad pobre con un sobrenadante turbio; la causa de estos fenómenos es la naturaleza activa de los protozoos flagelados.

Dicho lodo joven se puede comparar con un cuarto de niños que se mantienen activos, en movimiento continuo y muy difíciles de calmar (sedimentar). El nivel alto de actividad de los protozoos flagelados causa una tasa alta de consumo de oxígeno, puesto que los microorganismos, como los seres humanos, requieren más oxígeno cuando son muy activos. La DBO que se remueve del agua residual se utiliza con un doble propósito por los microorganismos: crear nuevas células y suministrar energía para su actividad (anabolismo y catabolismo). Los protozoos flagelados se multiplican rápidamente y son muy activos; por tanto, la remoción de DBO es muy rápida en este punto.

Los protozoos flagelados no forman buen *floc*, permanecen en el sobrenadante y producen la turbiedad del mismo. El valor del IVL, índice



A. El proceso comienza cuando se introducen aguas residuales frescas al tanque y se inicia la aireación. Los microorganismos existen pero ninguno predomina.

B. Los sarcodina, organismos primitivos, alcanzan su pico. Este organismo existe en gran número solamente cuando el alimento es alto.

C. Los protozoos flagelados alcanzan su pico. Estos organismos son mucho más activos que los sarcodina y consumen el alimento a una tasa alta.

D. Los ciliados libres y las bacterias alcanzan su pico. Ambos subsisten con suministro alimenticio menor que el requerido por los protozoos flagelados. Esta es la zona de operación del proceso convencional de lodos activados.

E. Predominan los ciliados adheridos y los rotíferos. No existe suficiente alimento para sustentar la masa microbial. Las células mueren. Los rotíferos y ciliados adheridos pueden consumir las bacterias.

Figura 1. Diagrama de predominio relativo.

de volumen de lodos, para este tipo de lodo, puede ser mayor que el valor normal debido a sus características pobres de sedimentabilidad. El examen microscópico del lodo revelará un gran número de protozoos flagelados y una población apreciable de bacterias con posibilidad de unos pocos sarcodinas. El efluente del proceso sería de DBO alta y tendría sólidos suspendidos excesivos, debido a la presencia de los protozoos flagelados activos.

Punto D

En el punto D del diagrama los ciliados libres y las bacterias alcanzan su número máximo. Dicha zona corresponde a la operación de un proceso de lodos activados convencional. Aunque las bacterias (figura 2) poseen una estructura celular simple, son muy eficientes en la competencia por el alimento a medida que éste disminuye. Las bacterias remueven

alimento del agua residual por absorción y adsorción; en la primera, la DBO disuelta es absorbida directamente a través de la pared celular, en la adsorción las bacterias, mediante una capa o película gelatinosa pegajosa, atrapan partículas finas suspendidas. A esta propiedad adsorptiva del lodo biológico se debe el nombre de lodo activado. Las bacterias no pueden utilizar directamente las partículas finas suspendidas, pero mediante la secreción de enzimas descomponen o disuelven las partículas en tal forma que el material puede ser absorbi-

do dentro de la célula. Las bacterias son menos activas que los protozoos flagelados, requieren menos alimento y tienen una tasa de utilización de oxígeno inferior.

Los ciliados libres tienen una estructura más compleja que los protozoos flagelados y pueden subsistir con un suministro alimenticio inferior al requerido por éstos. Los ciliados libres utilizan los cilios del exterior de la célula para mo-

verse, tienen menos movilidad que los protozoos flagelados y consumen menos oxígeno. Además, aprovechan el suministro alimenticio reducido más eficientemente.

El nivel alto de actividad de los protozoos flagelados causa una tasa alta de consumo de oxígeno, puesto que los microorganismos, como los seres humanos, requieren más oxígeno cuando son muy activos.



*Educamos para
construir futuro
con sentido humano*

ConConcreto S.A.

Medellín

Cra 42 No. 75-125 (Itagüí) Autopista Sur
A.A. 177 (Medellín) Conmutador: 281 29 77
Fax: (94) 372 08 57

Santafé de Bogotá

Cra 6a. No. 115 - 65 Of.: 308
A.A. 21702 Tel.: 620 21 66
Fax: (91) 214 63 33

Cali

Cra 100 No. 16 -20
Edificio Av.100 piso 7
Tel.: 923 331222

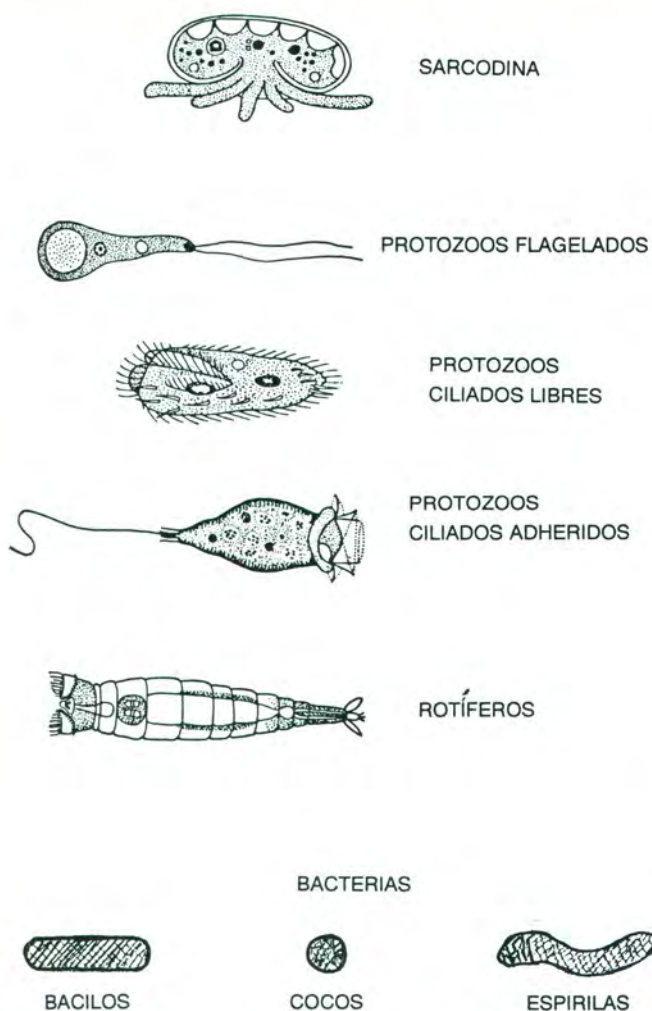


Figura 2. Microorganismos comunes del proceso de lodos activados.

La observación del reactor de cocheda en este punto revelaría una cantidad moderada de espuma de color carmelita. El lodo tendría una *floculación* considerable, buenas condiciones de sedimentabilidad y un sobrenadante claro. La poca actividad de los microorganismos incide en una tasa de sedimentación rápida y la capa gelatinosa pegajosa de las bacterias permite que éstas se junten y adhieran formando un *floc* más grande que sedimenta rápidamente. El cálculo del IVL revelará un número bajo, indicativo de buena sedimentabilidad. De la misma manera, la medición de la tasa de consumo de oxígeno señalaría que ésta empieza a declinar, debido a la disminución de la tasa de conversión de alimento en material celular y a la menor actividad de los ciliados libres y de las bacterias en comparación con la de los protozoos flagelados. El examen microscópico de los lodos permitiría observar un lodo bien floculado con presencia de un gran número de ciliados libres y bacterias; también se pueden observar unos pocos rotíferos, ciliados adheridos y protozoos flagelados. El efluente del proceso sería claro con DBO baja.

Punto E

En el punto E los ciliados adheridos y los rotíferos alcanzan su número máximo. Este momento corresponde a la zona de operación de un proceso de aireación prolongada en la cual los organismos se encuentran en la etapa de respiración endógena. En esta fase el suministro alimenticio es insuficiente para soportar la masa microbial existente; los organismos utilizan sus reservas alimenticias para subsistir, reducen su actividad y la conversión de alimento en células. Algunas células mueren por inanición; después de su muerte se rompen y se separan en la porción celular sólida que no puede ser usada como alimento y en una porción líquida que es utilizada por los demás microorganismos como alimento en un proceso conocido como lisis celular. Los rotíferos y los ciliados adheridos son capaces de consumir bacterias enteras para subsistir.

La observación del reactor en este punto revelaría la existencia de una espuma carmelita oscura con apariencia grasosa, un lodo de sedimentación rápida, floculación pobre y apariencia granular. La sedimentación rápida se debe a la presencia de rotíferos y ciliados adheridos de mayor tamaño y menor actividad. La presencia de una población bacteriana reducida causa la pobre floculación y la apariencia granular. También es factible observar algunas partículas pequeñas flotantes formadas por masas aglutinadas de material celular inerte. El cálculo del IVL

Ferreteria

PEGASO'S 170 LTDA

CEMENTO
GRAVILLA
ARENA
BLOQUE
HIERRO

FERRETERIA EN GENERAL

Autopista Norte 167 A - 55
Tels: 6705041- 6741162
Fax: 6717232

revelaría un valor muy bajo, indicador de un lodo denso; la tasa de consumo de oxígeno sería aún más baja debido a la poca conversión de alimento en células y a la baja actividad de los rotíferos y ciliados.

El examen microscópico del lodo permitiría observar gran cantidad de ciliados adheridos y rotíferos, así como de ciliados libres y bacterias. El sobrenadante del proceso sería de DBO baja pero con un nivel alto de sólidos suspendidos, resultante de las masas microbiales aglutinadas de células muertas y de la poca habilidad de la pequeña población bacteriana existente para atrapar los sólidos suspendidos finos.

EL MUNDO REAL

Las consideraciones anteriores son válidas para un reactor de cocheda en condiciones ideales. En la realidad ningún reactor de cocheda opera en condiciones ideales y los procesos de lodos activados son de flujo continuo. Si se sigue suponiendo la existencia de condiciones ideales de pH, temperatura, oxígeno, nutrientes, etc., se pueden hacer otras observaciones de carácter

general. Se presume, además, la existencia de sistemas de flujo en pistón, en los cuales el agua residual es tratada en tanques largos y angostos, donde las partículas retienen su identidad y permanecen en el tanque un período igual al tiempo teórico de retención. Bajo estos supuestos

se puede decir que el proceso convencional de lodos activados opera en la zona correspondiente al punto D de la figura 1. En dicha zona las bacterias y los ciliados libres alcanzan su número máximo; el flujo sale por el extremo final del tanque y entra al tanque de sedimentación. En el tanque de sedimentación los organismos se depositan en el fondo y el sobrenadante clarificado es descargado. La mayoría de los microorganismos o biomasa es recirculada al reactor y mezclada con el agua residual afluente. La concentración de DBO del agua residual afluente representa el alimento y la masa de microorganismos, SSVML,

representa los microorganismos.

En esta fase (respiración endógena) el suministro alimenticio es insuficiente para soportar la masa microbial existente; los organismos utilizan sus reservas alimenticias para subsistir, reducen su actividad y la conversión de alimento en células.

LA FÁBRICA DE DULCES

En ese punto puede surgir una pregunta: ¿por qué no se construye un tanque muy corto de flujo en pistón, se sedimentan los microorganismos y se recirculan inmediatamente a la parte inicial del reactor?

Los microorganismos requieren tiempo para consumir o asimilar el alimento que reciben cuando se mezclan con el agua residual. Dicha situación puede compararse con la de un niño que pasa a lo largo de una fábrica de dulces. El niño recogerá tantos dulces como pueda, se comerá algunos y guardará otros en sus bolsillos para comérselos más tarde. Si el niño es inmediatamente recirculado por la fábrica de dulces, no será capaz de recoger tantos dulces como lo hizo en la ocasión anterior, porque ya no está tan apetitoso y porque aún tiene dulces en sus bolsillos. Sin embargo, si se le da tiempo entre una y otra pasada por la fábrica, de tal manera que los dulces de sus bolsillos sean consumidos y su indigestión haya sido superada, el niño volverá a ser capaz de consumir tantos dulces como consumió en la primera pasada. En forma semejante, si los microorganismos son recirculados al reactor demasiado pronto, no son capaces de consumir tanto alimento; por ello, se les debe dar tiempo suficiente para asimilar el alimento y volver en capacidad de consumir tanto como la ocasión anterior.

EL TANQUE DE SEDIMENTACIÓN

El tanque de sedimentación es una área de almacenamiento temporal, ya que sólo puede retener una cantidad limita-



CEDIEL
INGENIEROS
ASOCIADOS LTDA

INTERVENTORIA
GERENCIA DE OBRA
ASESORIAS

Transv. 18B No. 96 - 50 Of. 305
Tel: 236 15 09 - Telefax: 256 16 76
Santafé de Bogotá, Colombia

da de microorganismos. A medida que el suministro alimenticio aumenta o disminuye, durante el día, se puede aumentar o disminuir la recirculación de microorganismos mediante el incremento o la disminución de la tasa de circulación. El tanque de sedimentación puede satisfacer así las variaciones a corto plazo de la relación A/M. Sin embargo, a largo plazo, se requiere desechar el exceso de lodo o biomasa. Esto se hará intencionalmente mediante la disposición de lodo de exceso o, en ocasiones, sin desearlo, a través de los vertederos efluentes del sedimentador.

PROCESOS DE LODOS ACTIVADOS

El proceso convencional de lodos activados (figura 3) como se mencionó antes, opera en la zona correspondiente al punto D de la figura 1, produce un lodo de buena sedimentabilidad y da como resultado un efluente de DBO baja y pocos sólidos suspendidos. Dicho esquema de operación es relativamente estable y tiene un intervalo amplio de relaciones A/M. En muchos casos el intervalo de operación permite mantener una tasa de recirculación constante y logra buenos resultados de eficiencia para cambios normales de alimento. La eficiencia alta que se obtiene ha hecho del proceso convencional de lodos activados uno de los más populares. El proceso de lodos activados de tasa alta opera con una concentración baja de microorganismos o sea con una relación alta A/M.

El proceso opera en la zona donde los protozoos flagelados alcanzan su número máximo (punto C de la figura 1).

El proceso de aireación prolongada opera con una masa de microorganismos alta, es decir, con una relación A/M baja. Le corresponde la zona E de la figura 1, área en donde los ciliados adheridos y los rotíferos alcanzan su número máximo. El efluente de este proceso es, generalmente, de DBO muy baja, pero

puede tener un contenido de sólidos suspendidos alto como resultado de la materia celular muerta existente.

El proceso de aireación escalonada es semejante al tanque de flujo en pistón, pero el agua residual es dosificada escalonadamente, es decir, en varios puntos a lo largo del tanque. El proceso procede a lo largo del diagrama de predominio relativo como en un tanque de flujo en pistón, reduciendo el suministro alimenticio a medida que avanza el período de aireación. Cuando se añade más alimento el proceso se devuelve en el diagrama a una edad inferior de lodos o relación mayor A/M; luego avanza nuevamente a medida que se utiliza el alimento, y continúa sucesivamente su movimiento hacia atrás y hacia adelante en cada adición de flujo.

En el proceso de mezcla completa el contenido del reactor, agua residual y microorganismos, es mezclado uniformemente. Teóricamente la tasa de consumo de oxígeno y la población de microorganismos son uniformes en cualquier punto del reactor. El proceso opera en un solo punto del diagrama de predominio relativo y tiene la ventaja de esparcir uniformemente cualquier sustancia tóxica en todo el tanque dando como resultado un menor efecto deletéreo sobre los microorganismos.

El proceso de estabilización y contacto es similar al sistema de flujo en pistón; el agua residual es mezclada con el lodo de retorno previamente reaireado en un segundo tanque de aireación. El propósito de la reaireación del lodo es el de proveer un tiempo de aireación mayor

para los microorganismos y producir un lodo más activo con mayores capacidades adsorptivas.

EFECTO DE LA TEMPERATURA

Si la temperatura es inferior a la ideal supuesta de 20 °C, las reacciones se retardarán, el diagrama de predominio relativo se extenderá y cada pico de la curva ocurrirá a una edad de lodos mayor. Para obtener la misma remoción de DBO, la edad de lodos deberá ser mayor o la relación A/M menor. La reducción general en la tasa de reacción de los microorganismos reduce también la tasa de consumo de oxígeno. El agua más fría en el tanque de sedimentación es más densa y se tendrá un lodo de menor sedimentabilidad. El aumento de la edad de lodos para obtener un lodo de sedimentación más rápida puede compen-

Si los microorganismos son recirculados al reactor demasiado pronto, no son capaces de consumir tanto alimento; por ello, se les debe dar tiempo suficiente para asimilar el alimento y volver en capacidad de consumir tanto como la ocasión anterior.

sar la pérdida en la tasa de sedimentación de los lodos. Por otra parte, una temperatura mayor que la temperatura ideal tiende a incrementar la tasa de reacción y aumentar la tasa de consumo de oxígeno, con el posible efecto de reducir el contenido de oxígeno disuelto, especialmente al comienzo del sistema de tratamiento. A altas temperaturas, la curva del diagrama de predominio relativo se acortará y los microorganismos alcanzarán los picos o números máximos a una edad de lodos más corta.

EFECTO DEL pH

Si el pH disminuye a valores inferiores a los óptimos de 6.5 a 8.5, las bacterias filamentosas serán capaces de competir con los organismos más deseables y su número aumentaría

Cada día, más
INDUSTRIALES DE
LA CONSTRUCCION,
LA MINERIA
Y EL CEMENTO
optan por

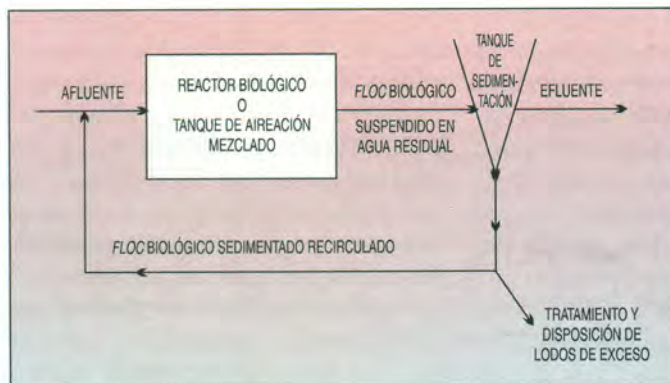


Figura 3. El proceso de lodos activados.

considerablemente. A un pH entre 5 y 6.5, los hongos compiten con las bacterias y si crecen significativamente producirán hinchamiento del lodo. A pH 4.0 a 5.0 los hongos predominan sobre las bacterias y éstas tenderán a ser del tipo filamentosos causando hinchamiento severo del lodo. A pH mayor de 8.5 a 9.0 ocurrirá un atraso severo del proceso y el efecto sobre los microorganismos es similar al que ocurre en condiciones de baja temperatura.

EFEECTO DEL OXÍGENO DISUELTTO

El intervalo óptimo de OD varía entre 0.5 y 2 mg/L; cuando el oxígeno disminuye a menos de 0.5 mg/L, los hongos pueden competir con las bacterias y se produce el hinchamiento del lodo. Las bacterias filamentosas también compiten con las deseables a niveles bajos de OD. Niveles de OD mayores de 2 mg/L causan despilfarro de energía y la turbulencia mayor producida puede romper el *floc*, retardando su sedimentación.

EFFECTOS DE LOS NUTRIENTES

Si los nutrientes requeridos no existen, en la cantidad y relación apropiadas, los hongos y las bacterias filamentosas tenderán a predominar causando hinchamiento del lodo. Si existen tóxicos, el diagrama de predominio relativo se extenderá con efectos mayores sobre los ciliados adheridos y los rotíferos; eventualmente, si la concentración de sustancias tóxicas es muy alta, los organismos serán aniquilados.

OBSERVACIONES ADICIONALES

El enfoque del presente artículo contribuye indudablemente a la comprensión del funcionamiento del proceso de lodos activados; sin embargo, es pertinente señalar que la mayoría de los autores consideran que las características de sedimentabilidad del lodo activado son función, principalmente, de su estructura bacteriana, en especial de la manera en que las bacterias filamentosas y las formadoras de *floc* biológico constituyan la estructura del lodo; sin dar tanta importancia en dicho aspecto a los protozoarios ni a su relación con la tasa de consumo de oxígeno.

MOTORES S. A.

El Portafolio de maquinaria, soporte y servicio, cada día más completo.

Esta es una muestra parcial. Consúltenos.

La Cargadora-Retroexcavadora más avanzada del mercado



MF
Industrial

La Retroexcavadora con mejores especificaciones del mercado



KOBELCO

Una nueva generación de potencia.



Plantas Eléctricas

SPECTRUM
DETROIT DIESEL

Los Compresores portátiles de mayor eficiencia-bajo costo



Sullivan

La Minicargadora al servicio del espacio reducido.



Thomas



MOTORES S. A.
RESERVAMOS CALIDAD
MÁS DE MEDIO SIGLO
DE EXPERIENCIA

SERVICIO,
MANTENIMIENTO
Y REPUESTOS
ORIGINALES:

FUERA DE BOGOTÁ
9800-15454

•BOGOTÁ-Conn.:344 03 00 fax:269 43 41
•MEDELLÍN-Conn.:285 66 33 Fax: 285 73 11
•CALI-Conn.:46 44 60 Fax:46 44 64
•BARRANQUILLA-Conn.:41 5061 - 31 53 63
Fax:51 38 78

Educación e informática: una unión necesaria

Ing. Alfonso Meléndez

Ingeniero de Sistemas y Computación y Matemático, Universidad los Andes; ha sido jefe de sistemas en Intermedio Editores, asesor de multimedia en Multicentro S.A., coordinador de proyectos en software educativo en la Universidad de los Andes; profesor universitario; actualmente es el Director de la Unidad Soporte Científico, Facultad de Ingeniería de Sistemas, Escuela Colombiana de Ingeniería.

LA EDUCACIÓN ES UNA ENCRUCIJADA

Las instituciones educativas enfrentan actualmente un reto sin precedentes; el método milenario prevaleciente de enseñanza, basado en la recepción pasiva del conocimiento en el aula de clase, se está derrumbando. Educación dirigida por objetivos, educación justo a tiempo, educación personalizada, educación continua son los caballos de batalla de los abanderados de las reformas educativas. La educación de uno a muchos es considerada como una forma de educar que fue efectiva hasta hace algunos años pero hoy en día no está preparando a los estudiantes para el futuro y de pronto ni siquiera para el presente.

“Los graduados de colegios y universidades de hoy deben ser capaces de unir, sintetizar y analizar información a una escala sin precedentes, deben tomar decisiones personales in-

formadas acerca de cuestiones científicas, económicas, sociales y políticas que son cada vez más complejas, y necesitan adaptarse creativamente, por el resto de sus vidas, a un mundo cambiante; esto coloca a los educadores en el reto más duro que han tenido a lo largo de la historia”¹.

“La noción de aprendizaje está cambiando. Estamos comenzando a

ción educativa como lugar donde se enseña un cuerpo de conocimiento o se prepara al estudiante para una carrera que debe durar toda una vida está siendo revaluada. Hoy en día reconocemos que los graduados deben adquirir aptitudes como pensamiento crítico, razonamiento cuantitativo, comunicación efectiva, habilidad para encontrar información y habilidad para trabajo en grupo”².

Estudios realizados indican que ningún estudiante puede aprender el contenido entero de una disciplina en su vida universitaria, se requieren entonces graduados que no lo sepan todo sino que tengan la capacidad de aprender.

¿Cuántas de nuestras instituciones educativas están repensando y rediseñando sus currículos para reflejar este cambio en la educación?

Pero no sólo estamos observando cambios en cómo se debe enseñar; también observamos cambios significativos en quiénes están aprendiendo.

“Estamos viendo cambios dramáticos en quién está aprendiendo. Sólo el 43% de los estudiantes universitarios tienen menos de 25 años, de éstos, menos del 25% tienen entre 18 y 22 años que es la edad considerada normal para estar en estudios univer-

tener diferentes ideas acerca de qué deben aprender los estudiantes. Dirigidas por la explosión de la información, o la explosión del conocimiento, nuestras expectativas de qué debe un estudiante aprender están cambiando radicalmente, la visión de la institu-



sitarios. Los estudiantes que reciben hoy en día educación superior son en su mayoría adultos. Su visión de la educación es la de un consumidor, entonces, la noción de calidad educativa es la de satisfacción de sus necesidades y no está dada por los parámetros tradicionales de calidad educativa como son: número de profesores por estudiante, tamaño de las bibliotecas, número de investigaciones, cantidad de becas, etc. Los estudiantes adultos buscan aumentar la competencia entre "proveedores" de educación superior para así lograr ventajas como 'consumidores' "3 (Nota: estos datos corresponden a educación superior en norteamérica).

Parece irreal pero la educación está destinada a convertirse en un servicio (ya sea público o privado) y como tal deberá adaptarse a una competencia gobernada por los gustos y las demandas de los usuarios, en este caso los estudiantes.

¿Cuántas de nuestras instituciones están dispuestas a aceptar hoy que la educación será guiada finalmente por lo que los estudiantes quieren aprender y no por lo que los educadores desean enseñar?

¿Cuántos de nuestros profesores creen que los estudiantes no tienen derecho a decidir qué es lo que les deben enseñar, porque supuestamente no están capacitados para ello?

También hay cambios en cuándo se está aprendiendo:

"Estamos experimentando cambios en cuándo aprenden los estudiantes. Cambios rápidos en la economía global, van a tener como consecuencia la desaparición de viejos trabajos y el surgimiento de nuevos. Futurólogos afirman que las personas en el futuro tendrán que aprender seis o siete carreras diferentes. La Sociedad Americana para el Entrenamiento y Desarrollo estima que para el año 2000 el 75% de la

fuerza de trabajo del país necesitará reentrenamiento. Para la mayoría de la población 'una educación toda la vida' es una necesidad"4.

¿Cuántos de nuestros profesores universitarios siguen pensando que sus educandos serán siempre "adolescentes" recién graduados del colegio?



¿Cuántas de nuestras instituciones están preparadas para educar una población que en su mayoría será adulta y ya profesional?

¿Cuántas veces nuestras facultades han reflexionado acerca de los cambios sociales que aparecerán cuando el aprendizaje continuo sea la norma?

Se están presentando cambios también en *cuanto* a dónde se está aprendiendo:

"Estamos siendo testigos de cambios con respecto a dónde aprenden los estudiantes. No más confinados a las aulas de clase, el aprendizaje ahora ocurre muy comúnmente en los sitios de trabajo, desde oficinas hasta pisos en submarinos bajo el mar, en habitaciones de hotel y en el hogar... El aprendizaje se extiende más allá de los 'campus' universitarios a sitios distantes a través de las ciudades y a través de los países"5.

¿Cuántas de nuestras instituciones entienden de manera profunda este cambio en el concepto de la universidad como lugar educativo?

¿Cuántas de nuestras facultades están pensando en nuevas pedagogías para "llegar" a los estudiantes, dondequiera que ellos estén?

Todos estos interrogantes nos llevan a pensar que la educación se encuentra en una encrucijada y que se necesita estar preparado o ir preparando estos cambios radicales que se nos viene encima. Pero ¿cuál será el motor que nos permitirá afrontar con éxito estos cambios?

LA INFORMÁTICA COMO MOTOR DEL CAMBIO EN EDUCACIÓN

Para realizar este cambio existe hoy en día un consenso casi unánime que las nuevas tecnologías y en especial la informática deben proveer a las instituciones de las herramientas más importantes para producirlo:

"La tecnología informática está jugando un papel central en el cambio educativo, dirigiendo la explosión informática y haciendo posible que pensemos en nuevas maneras de responder a nuevas demandas. De hecho, la falta de tecnología informática ampliamente disponible puede ser la

principal razón para no ver cambios significativos en nuestros métodos de enseñanza y aprendizaje. La existencia de tecnología informática costeable con la capacidad de ofrecer instrucción en cualquier momento, a cualquier persona, en cualquier lugar ha dado nuevos ímpetus a cambios en quién, cuándo y dónde aprenden los estudiantes”⁶.

“No importa cuántas personas quieran y cuántas buenas intenciones existan, el cambio en la educación es muy difícil porque hay demasiados intereses en juego. Pero, felizmente, existe un caballo de Troya que es el computador. Cuando ve algo en el computador, la gente tiene la impresión de que es algo mágico. Lo cual es muy bueno porque además resulta que el computador ofrece instrucción uno a uno, la cual potencialmente puede ser mágica y, además el computador es interactivo y va en la dirección a la que los estudiantes quieren ir, por último elimina la traba del currículo que requiere que todos deben estar en la misma página el mismo día”⁷.

¿Pero, qué hace que la tecnología informática sea la más importante tecnología en el ambiente educativo?

“La presencia del computador puede tener efectos mucho más fundamentales que los que tuvieron otras tecnologías, incluida la televisión y el material impreso. La metáfora del computador como un ente que ‘habla’ matemáticamente pone al aprendiz en un tipo de relación cualitativamente diferente con respecto a cierto dominio del conocimiento. Hasta lo mejor en televisión educativa está limitado a ofrecer mejoras cuantitativas en los tipos de enseñanza que existían antes de ésta. *Plaza Sésamo* puede ofrecer mejores y más motivantes explicaciones al niño que las que le pueden dar sus

padres o nodrizas, pero el niño está todavía en el papel de oír explicaciones. Por otro lado, cuando el niño aprende a interactuar con el computador, el proceso de enseñanza se transforma completamente. El aprendizaje se torna activo. El conocimiento es adquirido con un objetivo claro. Y el niño hace algo con este conoci-



miento. Este nuevo conocimiento es una fuente de poder y es experimentado como tal en el momento en que comienza a formarse en la mente del niño”⁸.

Sin embargo la tecnología informática no siempre es usada de la mejor manera:

“Los computadores ya están en las aulas. Desafortunadamente, la mayoría de lo que hay es horrible. Hasta hoy, los computadores en el medio educativo vienen siendo usados para juegos y para enseñar a los estudiantes a usar una hoja electrónica. Parece que nadie se ha preocupado lo suficiente para comenzar a construir lo que se necesita. El *software* educativo puede cambiar la manera como se aprende... La tecnología de computadores puede hacer que la atención individualizada sea una realidad, los computadores tienen la habilidad de presentar a los estudiantes tareas que ellos están interesados en hacer. Puede ofrecerle al estudiante la posibilidad de ser inquisidor, la posibilidad de exploración y la posibilidad de cometer errores y reponerse de éstos sin sentirse mal por ello”⁹.

Podríamos decir entonces, que la informática es una de nuestras armas para lograr el cambio educativo, pero es muy importante que aprendamos a usarla adecuadamente y en este sentido el papel del educador es esencial; éste debe “apropiarse” de la tecnología informática y usarla de la mejor manera posible, creando ambientes educativos que permitan lograr el tan anhelado cambio

¹ Apple Computer. “Education and the Challenge of Technology”, *Teaching in the Information Age*, Verano 1986.

² Twigg, Carol. “A The Changing Definition of learning”, revista *Educom Review*, Julio-Agosto 1994.

³ *Ibid.*

⁴ *Ibid.*

⁵ *Ibid.*

⁶ *Ibid.*

⁷ Schank, Roger. “End Run to the goal line” *Educom Review*, Enero-Febrero 1995.

⁸ Papert, Seymour. “Computer and Computer”, revista *RUN Computer Education*, 1990.

⁹ Schank, Roger. *Engines for Education*, 1995.

Hidroeléctricas en un país tropical

ANÁLISIS DE LAS DIFERENTES OPCIONES AMBIENTALES

Ing. Marino Estrada Angel

Ingeniero Químico, Universidad Nacional de Colombia; BCE y MCE, Instituto Politécnico de Rensselaer, Troy, Nueva York; DIC en Ingeniería Hidroeléctrica, Universidad de Londres; Magíster en Administración Industrial, Universidad del Valle; profesor de Centrales eléctricas y Estructuras hidráulicas, Escuela Colombiana de Ingeniería.

La población actual del mundo es de alrededor de 5.750 millones de habitantes, de los cuales 1.250 (21.8%) viven en los países desarrollados y 4.500 millones (78.2%) se hallan en los países no desarrollados. La energía eléctrica consumida durante el año de 1994 llegó a la cifra de 12.500 teravatios-hora (Twh), de los cuales 10.000 teravatios-hora, o sea el 80%, fueron consumidos por los países desarrollados, con un promedio de consumo de 8.000 kilovatios-hora *per cápita* (KWhpc); 2.500 teravatios (20%) fueron consumidos en los países no desarrollados, lo cual representa un promedio de 550 kilovatios-hora *per cápita*. El promedio total mundial es de 2.174 KWhpc. Para el año 2025 se ha estimado que la población llegará a 10.400 millones de habitantes, de los cuales 1.400 (13.46%) vivirán en los países desarrollados y 9.000 (86.54%) en los países no desarrollados; de estos últimos, habrá cerca de 2.500 millones de habitantes que para el año 2025 tendrán un consumo de cerca de 5.000 a 6.000 KWhpc, los



Central Termoeléctrica de Barrancabermeja (Departamento de Santander), capacidad instalada: 90.000 kilovatios.

cuales se pueden considerar ya no desarrollados sino en proceso de alto desarrollo.

Se ha estimado que el consumo de energía para dicho año será de 22.000 teravatios-hora en los países desarrollados (53% en total), o sea un promedio de 16.000 kilovatios-hora por habitante por año; y habrá un consumo de 19.500 teravatios-hora (47%) en los países no desarrollados, lo que nos daría un gran total de 41.500 teravatios-hora y un consumo promedio de 3.942 kilovatios-hora por habitante-año.

Si asumimos un factor de carga de 065 y una reserva del 30%, eso nos daría que para el año 1994 debía haber habido 2.320 gigavatios instalados en los países desarrollados y 580 en los países no desarrollados, para un gran total de 2.900 gigavatios. Para el año 2025 los países desarrollados deberán pasar de 2.320 a 5.020 gigavatios, o sea que habrán de tener un aumento de 2.700 gigavatios en el período; eso da un promedio de 90 gigavatios



Vista panorámica de la Central Hidroeléctrica de Betania (Huila).

Para lograr esta potencia existen tres maneras que se denominan tradicionales y otras seis que se definen como no convencionales. Las tres primeras son: la energía hidráulica, la energía térmica y la energía nuclear. Las otras seis son: eólica (del viento), solar, maremotriz (de las mareas), de depresión, de las olas y pequeñas centrales hidroeléctricas.

adicionales cada año; los países no desarrollados deberán pasar de 580 a 4.565 gigavatios, o sea que tendrán que instalar 3.985 gigavatios en el período, lo cual da un promedio de 130 gigavatios para cada uno de los próximos treinta años; el gran total sería de 9.585 gigavatios instalados en el mundo.

Para lograr esta potencia existen tres maneras que se denominan tradicionales y otras seis que se definen como no convencionales. Las tres primeras son: la energía hidráulica, la energía térmica y la energía nuclear. Las otras seis son: eólica (del viento), solar, maremotriz (de las mareas), de depresión, de las olas y pequeñas centrales hidroeléctricas.

LA SITUACIÓN DE COLOMBIA

Los estudios y proyecciones que se puedan efectuar indicarán que Colombia en el año 2025 necesitará alrededor de 243 teravatios-hora contra los 40 que generó en el año 1994; se pasaría así de generar 1.100 kilovatios-hora por habitante por año, a un promedio de 4.870 kilovatios-hora por habitante por año; ésta no es una cifra exagerada, pues si se considera una cifra mínima se necesitarían 150 teravatios-hora al año. Pero esto no es consistente y sería predecir que Colombia en el futuro no va a ser capaz de tener un crecimiento del producto interno bruto superior al 2%; si éste, como todos lo ansiamos y lo esperamos, es superior al 5%, esta cifra de 243 teravatios-hora será insuficiente en el año 2025. Tomando esta cifra de 243 y aplicando los parámetros enunciados antes, tenemos que se necesitarían alrededor de 56.000 megavatios; restando los 10 y medio que hoy tenemos instalados, habría necesidad de instalar 46 gigavatios, o sea 46 millones de kilovatios; esta potencia se seguirá repartiendo en un 70% de centrales hidráulicas y un 30% de centrales térmicas. Para lograrlo habría que invertir cerca de 84.000 millones de dólares, lo cual da un promedio de 2.710 millones de dólares por año.

Algunos de los problemas que se confrontan hoy en día para llegar a las anteriores cifras son los siguientes: existe un pesimismo general sobre el rendimiento y la funcionalidad o disponibilidad de las centrales hidroeléctricas, aunque un análisis del pasado podría poner condiciones más claras y probar que esta reacción negativa es injustificada; otro factor que hace que en este momento no se consideren las centrales hidráulicas como debieran serlo, es la cuestión de los impactos ambientales. De nuevo estamos tratando de resolver problemas colombianos con conceptos importados que no son adecuados ni estrictamente válidos en nuestro país.

En el pasado se ha generado electricidad en un 75% con energía hidráulica y en un 25% con centrales térmicas. En los últimos años se ha querido cambiar el porcentaje sobre la base de decir que las centrales hidroeléctricas "son poco confiables debido a lo errático de la hidrología". Si se hace un análisis objetivo de la situación en Colombia, de lo que ha sucedido a partir del año 1982, cuando se logró la interconexión nacional entre las centrales térmicas de la costa y el sistema (en gran parte hidroeléctrico) del resto del país, se puede llegar a la siguiente conclusión:

Es cierto que ha habido períodos de bajas lluvias en el país, los cuales se producen cíclicamente en un término que va de 7 a 11 años; recientemente se ha empezado a usar

en Colombia el término de "el fenómeno del niño", pero éste es un hecho que se conoce desde hace cerca de 4.000 años, cuando José interpretó el sueño del Faraón sobre el tema de las siete vacas flacas y las siete vacas gordas; en otros países de este subcontinente americano, especialmente en Perú, el fenómeno del niño ha sido conocido y estudiado por más de cien años, y en la región norte de México se ha venido estudiando por más de 50 años; nosotros sabemos muy poco de este fenómeno y sólo usamos los informes que nos envían las agencias norteamericanas.

Lo que más ha fallado en Colombia ha sido la generación térmica; en un solo año de los últimos trece la utilización de las plantas térmicas ha sido superior a la de las plantas hidráulicas; en el resto, la utilización de las plantas térmicas ha estado siempre por debajo de sus condiciones de diseño, y esto se debe a un descuido enorme en el mantenimiento de los equipos; además, como todo el mundo lo sabe, la energía hidroeléctrica es más barata que la térmica. En el año 1990-1991, a pesar de que el sistema térmico de la costa atlántica tenía capacidad suficiente para generar sus necesidades, cerca del 40% de

la energía utilizada por esa región se envió desde el interior en forma de energía de producción hidráulica.

El racionamiento del año 92 fue aplicado forzosamente porque se había consumido la energía hidroeléct-

Lo que más ha fallado en Colombia ha sido la generación térmica; en un solo año de los últimos trece la utilización de las plantas térmicas ha sido superior a la de las plantas hidráulicas.

trica para suplir el déficit que producían las centrales térmicas en mal estado y con mantenimiento ineficaz; no es exageración decir que alrededor del 40% de las centrales y unidades térmicas existentes en Colombia no podían funcionar por daños y porque estaban fuera de servicio; si esas unidades hubieran sido adecuadamente mantenidas, se habría podido evitar el racionamiento de dicho año.

Colombia podrá instalar centrales hidroeléctricas —hay estudios de prefactibilidad y de factibilidad en ISA y en otras entidades del sector eléctrico— para producir cerca de 20 millones de kilovatios a un costo que se hallaría dentro de los parámetros normales. Hay un estudio de identificación de proyectos hecho por la Misión Alemana, Planeación e ISA en el período 1973-1978, en el cual se determinaron posibilidades de generación en centrales de más de 100.000 kilovatios por un total de 93 millones de kilovatios. Si se asume un 30% de consumo futuro satisfecho por centrales térmicas, eso significa que se necesitarán alrededor de 15 millones de kilovatios térmicos; esta generación consumirá 30 millones de toneladas de carbón al año, o sea dos minas del tamaño de la del Cerrejón. ¿Cuál es el costo ecológico de la explotación y el transporte de este carbón hasta las centrales térmicas y cuál es el impacto



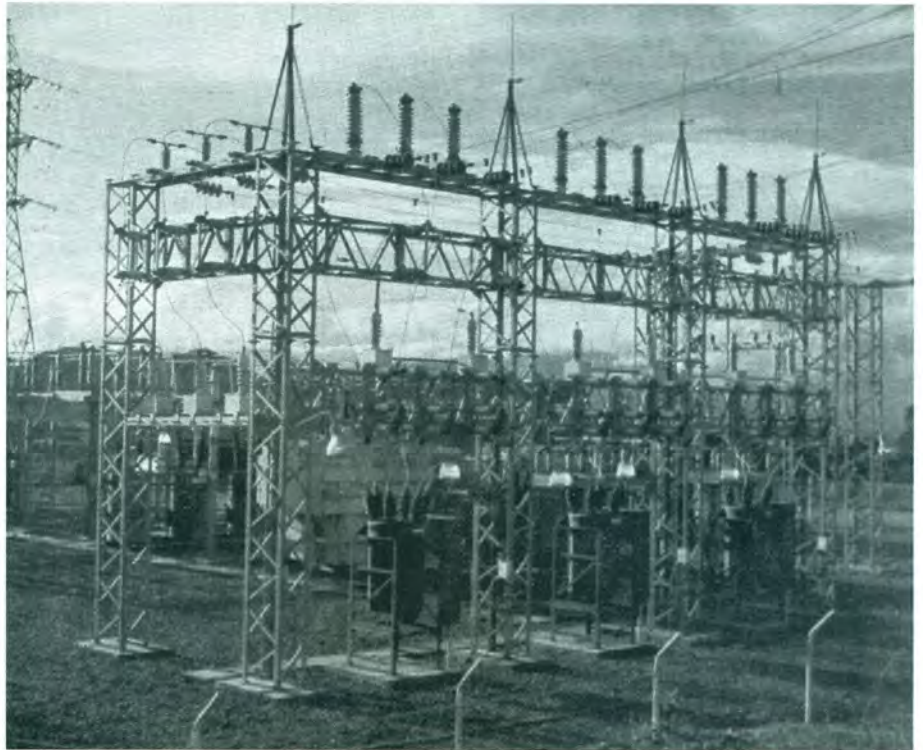
plinco Ltda.
ingenieros s.c.i.

Ingeniería hidráulica, sanitaria y ambiental

Telefax: 346 04 11 - 255 17 78 - 2 12 73 88 • Calle 69 A No. 4-77 Santafé de Bogotá, Colombia

ambiental de lanzar más de 100 millones de toneladas de CO₂ y otros gases a la atmósfera cada año?

El hombre está jugando con lo que menos conoce y puede manejar dentro de todos los fenómenos naturales: el clima; y el seguir aumentando las centrales térmicas agravará el problema. En cambio, las centrales hidroeléctricas tendrán un efecto local y la descomposición de la materia orgánica, en los sitios que puedan ser inundados por los embalses, producirá un impacto ambiental equivalente al que produce una central térmica durante tres años de funcionamiento; pero la central térmica va a funcionar 30 años, así que al utilizar una central hidroeléctrica, aun en el caso de que se inunde una selva tropical, nos estaríamos evitando 27 años de contaminación.



ICEL efectúa el montaje de subestaciones dentro del Plan de Expansión (S/E Cauca).

DESARROLLO HIDROELÉCTRICO DEL ALTO SINÚ

Actualmente se lleva a cabo la construcción de la central Urrá I sobre el río Sinú, en su parte alta; este proyecto ha sido muy controvertido por sus impactos ambientales. Urrá I no es la solución para Córdoba puesto que su embalse, con una capacidad útil del orden de los 1.400 millones de metros cúbicos, se podría llenar en un mes, cuando el río viene crecido —normalmente esto ocurre en los meses de junio a septiembre u octubre—; si se llena en un mes y luego vienen crecientes, el exceso de aguas tendrá que ser pasado por el vertedero y seguirá causando inundaciones en la parte baja del río Sinú, entendiéndose Tierralta y Montería hacia abajo. Entonces, Urrá I no regula el río Sinú. Como el embalse tiene

capacidad para que la central funcione sólo un mes, seguramente volveremos a decir que la presa se secó y que la central no funciona.

Esta central no es la solución para la costa atlántica porque la energía que en los últimos 10 años ha importado Corelca, cada año del orden de los 2.500 millones de kilovatios-hora, ha sido superior a la generación de Urrá I: 1.400 GWhr. Tampoco es solución para el país, puesto que el régimen hidrológico de Urrá corresponde al de Chivor, Guavio y las eventuales centrales de Lengupá, Upía y Barranca de Upía, y por tanto no proporcionará energía en los meses críticos de diciembre, enero, febrero y marzo. Se aclara que esta central no proporcionará energía suficiente y que no tiene capacidad de embalse para que pueda trabajar adecuadamente durante aquellos meses. La solución está en construir el embalse y la central de Urrá II; allí se tendría un embalse de 29.000 millones de metros cúbicos de capacidad, los cuales podrían regular todo el flujo del río Sinú durante tres años; pero esto significaría el grave problema de inundar 70.000 hectáreas de selva tropical y la relocalización de cerca de 6.000 habitantes. Pero si se construye esta central jamás volverían a presentarse las inundaciones

APRENDA IDIOMAS VIVIENDOLOS

Cursos de alta calidad para
todas las edades
**Estados Unidos, Inglaterra,
Canada, Francia, Suiza,
Italia y Alemania.**

Financiación
para el curso y el tiquete



EDUVI

**Asesores Profesionales
en Cursos en el Exterior**

2142527 - 2141817 - 2142814
2155812 - 2144308
980014300

Fax: + (57 1) 2157024
Calle 108 A # 18-64
Bogotá - COLOMBIA



ICEL adelanta los estudios del río Otún, Risaralda, entre 42.000 y 100.000 KW.

periódicas que cada año ocurren en la parte baja del río Sinú, la cual tiene una área de un millón de hectáreas; el río podría utilizarse para irrigar en tiempos de verano más de 400.000 hectáreas, y esto multiplicaría la producción agrícola de toda esta zona, pues sus terrenos no reciben casi agua en los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril, por lo cual muchos tipos de cultivos no pueden efectuarse.

Existen datos del Himat en el sentido de que en las inundaciones del año 1988 fueron anegadas 130.000 hectáreas en la parte baja del río Sinú, se causó la muerte de 41.250 cabezas de ganado, se afectaron 75.000 personas, se puso en peligro y se dañaron 8.000 viviendas, y se dañaron puentes y carreteras. ¿No valdría la

pena "sacrificar" 66.000 hectáreas de la parte alta para proteger más de 400.000 hectáreas en la parte baja? Piénsese que no volvería a presentarse inundación alguna en la zona de Córdoba y se podría generar entre Urrá I y Urrá II casi 4.500 millones de kilovatios-hora, cantidad que es igual a la producida por todas las térmicas de la costa atlántica; el río se podría regular y se volvería navegable durante todo el año, y se evitarían las inundaciones y las sequías de muchas ciénagas por cambios en el flujo del río.

Además, la ley 86 de 1981 determina que el 2% del valor de la energía producida deberá ser empleado para la protección de la cuenca; 4.500

millones de kilovatios-hora a un precio de \$40.00 darían 180.000 millones de pesos por año, y el 2% equivaldría a 3.600 millones de pesos, cantidad con la que el Ministerio del Medio Ambiente y la Corporación del Valle del Sinú podrían pagarle a los indígenas (que son los únicos que tienen derecho a estar en

esa tierra, pues ancestralmente les ha pertenecido), para que como guardias forestales controlen a los 5.000 colonos que han estado destruyendo selva en los últimos 20 años, violando disposiciones vigentes que prohíben tumbiar árboles en parques nacionales.

El Ministerio del Medio Ambiente no dispone hoy del dinero suficiente para proteger esta cuenca; de seguir como vamos, dentro de 30 años no sólo se habrán destruido las 70.000 hectáreas que se necesitan para

construir Urrá II sino muchísimas más del parque nacional de Paramillo. Por consiguiente, la determinación de ésta y otras centrales como la del Patía, Micay, San Juan, Penderisco,

De seguir como vamos, dentro de 30 años no sólo se habrán destruido las 70.000 hectáreas que se necesitan para construir Urrá II sino muchísimas más del parque nacional de Paramillo.

Murrí, Atrato, Upía, Barranca de Upía, Yaiquirán, Mapiripán y otras que podrían ser la solución económica y técnica para generar energía eléctrica para Colombia, deberá ser objetiva, cuidadosa y calmadamente analizada antes del lanzamiento de conceptos ligeros que nos impidan utilizar nuestros recursos adecuadamente

Eficiencia con

PRECISION

Sistema Integrado de Presupuesto Programación y Control de Proyectos

salazar
ferro
Ingenieros s.a.

Cra. 53B No. 124-43
Tel.: 253 0720
Santafé de Bogotá, D.C.

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA
Autopista Norte Km. 13 Tel.: 676 0077 - 676 0372
A.A. 14520 Santafé de Bogotá, D.C.

Fusión nuclear controlada, ¿una alternativa al problema energético del mundo?

Dr. Javier Botero Álvarez

Ingeniero Civil, Escuela Colombiana de Ingeniería; Ph.D. en Física, Louisiana State University, Baton Rouge, Estados Unidos. Investigador posdoctoral: Física Atómica, Universidad Estatal de Louisiana; fusión catalizada por muones, estructura de sistemas de tres partículas, Fundación Alexander von Humboldt, Universidad de Freiburg, Alemania. Investigador asociado: colisiones atómicas y moleculares, Universidad de Tennessee y Laboratorio Nacional de Oak Ridge. Físico atómico, Agencia Internacional de Energía Atómica, Viena, Austria. Actualmente es director del Centro de Investigación y Estudios Especiales y profesor de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

1. INTRODUCCIÓN

El suministro continuo de energía eléctrica es hoy en día requisito indispensable para el bienestar de las personas, especialmente en los países desarrollados y en las ciudades. La energía relativamente barata ha llevado a un alto consumo y a una gran dependencia; este consumo seguirá creciendo en las próximas décadas, y se acelerará aún más si se tiene en cuenta que los países en vía de desarrollo harán un gran esfuerzo para disminuir la brecha que los separa de los desarrollados, donde el consumo *per cápita* es 10 veces mayor. La reducción en el consumo por habitante es posible mejorando la eficiencia energética de los medios de consumo y evitando su uso innecesario; pero aun con esta reducción, el consumo global crecerá debido al aumento de la población y, como se mencionó antes, a la tendencia irreversible de los países en vía de desarrollo a mejorar su estándar de vida.

El efecto de estos dos factores en el consumo de energía se ve claramente en la tabla 1, donde se presentan el consumo *per cápita* y el global en 1988, y un estimativo para el año 2050¹.

El impacto ambiental y la seguridad de las fuentes de energía son hoy aspectos muy importantes que llegan a predominar en el establecimiento

de una política energética. Los controles en la emisión de gases de las termoeléctricas (carbón, petróleo y gas), el impacto ambiental de las hidroeléctricas y el manejo de los residuos nucleares y la seguridad de las plantas nucleares de fisión son temas que ocupan a muchos expertos e investigadores. Aun así, y considerando el impacto tan grande de los proyectos energéticos sobre el medio ambiente (*hábitat*, clima, etc.), debe todavía hacerse mucho para mejorar las técnicas existentes de producción de energía. Así mismo, deben incrementarse los esfuerzos por desarrollar nuevas fuentes de energía. Desafortunadamente no son muchas las alternativas y todas ellas tienen sus puntos a favor y en contra con respecto a seguridad, impacto ambiental, suministro, distribución geográfica, economía, etc.

Tabla 1
CRECIMIENTO ESTIMADO DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Países	Per cápita (toe-año)		Demanda total (G *toe-año)	
	1988	2050	1988	2050
Desarrollados (OECD)	5.2	5.2	4.0	4.6
En vías de desarrollo	0.5	1.5	2.0	13.8
Global	1.5	2.0	7.9	20.5

*toe = toneladas equivalentes de petróleo.

Hoy en día es una verdad aceptada el que el uso de los combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas) como fuentes de energía es limitado, tanto por el hecho de que no son renovables (su existencia es limitada), como por su gran impacto ambiental. El uso de estos combustibles aumenta notablemente la contaminación ambiental y la lluvia ácida, así como el llamado "efecto invernadero", el incremento de la temperatura media de la atmósfera por las emisiones de CO_2 .

Las centrales hidroeléctricas han sido una solución para muchos países, aunque sus crecientes costos y su gran impacto ambiental se han juntado con las exigencias geográficas de estas centrales para frenar un poco la construcción de nuevos proyectos. No obstante, en Latinoamérica el 66% de la energía eléctrica proviene de centrales hidráulicas.

Existen otras fuentes alternativas de energía, algunas de las cuales han alcanzado ya un nivel de comercialización: energía solar por celdas fotovoltaicas, energía eólica y geotérmica, son algunos ejemplos. Estas fuentes de energía tienen como grandes limitantes su dependencia de factores puramente geográficos y, o, climáticos, su limitación de potencia para grandes industrias y, en la mayoría de los casos, sus altos costos en comparación con los de los combustibles fósiles. Esto ha restringido mucho la investigación y el desarrollo de esas nuevas fuentes alternativas de energía. De cualquier manera, debe incrementarse notablemente la investigación en el área de fuentes renovables de energía.

Otra fuente de energía es la energía nuclear. Existen en la naturaleza dos procesos nucleares que liberan energía; uno es el proceso de fisión, proceso en el cual un núcleo pesado (uranio, por ejemplo) al ser bombardeado por neutrones se divide en dos núcleos más livianos (bario y criptón en el caso del uranio). En este proceso se libera energía (200 MeV en el caso del uranio) proveniente de la diferencia entre la masa en reposo del núcleo original y la suma de las masas en reposo de los fragmentos. Esta energía liberada se presenta en forma de energía cinética de los fragmentos que, además de los principales (bario y criptón en el caso del uranio) consisten en neutrones energéticos más otros muchos isótopos radiactivos.

En el caso del uranio se producen en promedio 2.5 neutrones energéticos y más de 100 isótopos diferentes de unos 20 elementos distintos con números atómicos entre 34 y 58. Estos dos hechos tienen grandes implicaciones; primero que todo, los neutrones energéticos pueden bombardear otros átomos de uranio presentes, que a su vez se fisionan y producen otros neutrones; así se produce una reacción en cadena. Y en segundo lugar, los fragmentos de fisión son en su gran mayoría isótopos inestables que a su vez se desintegran liberando gran cantidad de energía, lo cual tiene dos implicaciones:

primero, que aun después de detenerse la reacción en cadena del uranio, estos fragmentos siguen liberando energía y pueden llegar a producir un "derretimiento" del núcleo del reactor y la posible perforación de la vasija con la subsiguiente emisión de material radiactivo; segundo, que estos fragmentos tienen una vida media, tiempo promedio durante el cual continúan los procesos de desintegración nuclear, muy larga, de tal forma que su manejo y aislamiento son de crucial importancia para evitar la contaminación de la atmósfera y las aguas subterráneas con materiales radiactivos.

Existen hoy reactores de fisión que disminuyen a un mínimo el riesgo de derretimiento, como los reactores de agua presurizados², y procesos y métodos de almacenamiento de los desechos (fragmentos) radiactivos, que disminuyen el riesgo de contaminación³. Sin embargo, el público en general, en parte por desinformación y en parte por razones justificadas, ofrece una gran resistencia a la construcción de nuevos reactores de fisión.

La otra alternativa de energía nuclear es la fusión termonuclear. La fusión nuclear es la fuente de energía del universo. Toda la energía producida por el Sol y todas las estrellas durante los millones de años de existencia del universo ha sido energía de fusión. En un proceso de fusión, dos núcleos livianos se unen para formar un núcleo más pesado cuya masa en reposo es menor que la suma de las masas en

CONSTRUCTORES CIVILES INGENIEROS LTDA C.C.I. Ltda.

- › OBRAS CIVILES
- › CARRETERAS
- › MONTEAJES
- › ESTRUCTURAS
- › URBANISMO

Cra. 31 No. 95 - 99
Tels.: 226 87 12 - 611 17 85
Fax: (91) 618 17 05 Santafé de Bogotá

reposito de los núcleos originales. Mediante procesos de fusión, fisión y bombardeo de neutrones y otras partículas se ha formado toda la materia que existe en el universo.

Las condiciones necesarias para que ocurra un proceso de fusión son mucho más difíciles de obtener que en el caso de la fisión, la cual ocurre naturalmente en la Tierra. Un proceso de fusión involucra el acercamiento de dos núcleos que tienen carga positiva. Es decir, se tiene que contrarrestar la fuerza de Coulomb, que es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre los núcleos. A distancias muy pequeñas, a las cuales empiezan a actuar las fuerzas nucleares que generan el proceso de fusión, esta fuerza repulsiva es gigantesca. En el interior de las estrellas este acercamiento se logra debido a la alta temperatura, y por ende energía cinética, de los reactantes, los cuales se acercan unos a otros debido a colisiones a alta velocidad y al confinamiento (presión) en el centro de las estrellas. Obtener energía de fusión en la Tierra significa, entonces, reproducir estas condiciones y controlarlas dentro de un reactor. Esto equivale a obtener energías del orden de 20 KeV, es decir temperaturas de cientos de millones de grados centígrados.

En la última década ha habido un gran progreso en el entendimiento de las condiciones necesarias para obtener y controlar la fusión nuclear, aunque el desarrollo de reactores nucleares de fusión para la generación comercial de energía eléctrica está todavía muy lejos, pues requiere un gran esfuerzo en investigación y una inversión de capital muy alta. Esta gran inversión de recursos es indispensable si se quiere obtener una solución definitiva, económicamente viable y limpia del problema energético de la humanidad.

Aunque la tecnología y el conocimiento requeridos para un desarrollo de esta magnitud está fuera del alcance de un país como Colombia, y casi

podría decirse que de cualquier país individual, es esencial que exista personal científicamente preparado para entender los avances hechos en los países desarrollados y, en lo posible, para participar en ellos. Estas personas podrán eventualmente servir de transmisores y propagadores de dicha tecnología.

Este artículo consta de dos partes. En la primera parte se presentarán algunos conceptos generales de la fusión nuclear, el sistema de confinamiento magnético y un resumen del estado de los proyectos de fusión en el mundo, haciendo énfasis en el ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor). En la segunda parte, que será publicada en el próximo número de la revista, se presentarán el sistema de confinamiento inercial y algunas alternativas como la fusión catalizada por muones.

2. FUSIÓN TERMONUCLEAR CONTROLADA

La probabilidad de un evento de fusión está muy limitada por la gran fuerza de repulsión entre los núcleos, que al ser partículas con cargas eléctricas del mismo signo, se repelen con una fuerza inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa, como lo estipula la ley de Coulomb. Esto hace que sea imposible obtener energía por fusión mediante un proceso simple de colisión. Si chocamos dos rayos de partículas compuestos por los núcleos en cuestión, como se hace en los aceleradores

de partículas, los núcleos se dispersarán, y ocurrirá lo que se conoce como una colisión coulombiana, cuya sección eficaz, parámetro que mide la probabilidad de un suceso, es varios órdenes de magnitud mayor que la correspondiente a un evento de fusión. Esto implica que los núcleos tienen que acercarse mediante algún sistema de confinamiento a muy alta temperatura, que permita que la barrera eléctrica sea superada.

A las temperaturas requeridas, la materia existe en un estado que se denomina plasma, un gas altamente ionizado, en el cual los electrones están separados en su mayoría de los núcleos. El confinamiento del plasma es uno de los problemas mayores que plantea la fusión termonuclear, puesto que no existe en la naturaleza un material que resista las temperaturas y el flujo de energía necesarios. Por tanto, el plasma debe ser confinado de tal manera que no haya contacto directo entre las paredes de la vasija del reactor y el plasma. Existen dos métodos de confinamiento: el magnético, que será descrito en detalle en la Sección 3, y el confinamiento inercial, que será descrito en la segunda parte de este artículo.

Muchas son las reacciones de fusión que liberan energía. De éstas, las más factibles de ser utilizadas en un reactor de fusión son las que involucran isótopos de hidrógeno, es decir átomos de hidrógeno con uno (deuterio) o dos (tritio) neutrones en el núcleo, y helio. La Tabla 2 mues-

Tabla 2

Reacciones de fusión entre deuterio (D), tritio (T) y helio (He)*

$D_1^2 + T_1^3 \rightarrow He_2^4 + n_0^1 + 17.6 \text{ MeV}$
$D_1^2 + D_1^2 \rightarrow T_1^3 + H_1^1 + 4 \text{ MeV}$
$D_1^2 + D_2^2 \rightarrow He_2^3 + n_0^1 + 3.3 \text{ MeV}$
$D_1^2 + He_2^3 \rightarrow He_2^4 + H_1^1 + 18.3 \text{ MeV}$

*El subíndice indica la carga eléctrica del núcleo (número de protones) y el superíndice el peso atómico (número de protones más neutrones).

tra las reacciones de fusión entre estos elementos junto con la energía liberada. De estas reacciones, la más eficiente es la que ocurre entre el deuterio y el tritio, debido a que su sección eficaz presenta el máximo a temperaturas más bajas que todas las demás, como muestra la Figura 1, donde se muestra la sección eficaz de estas reacciones en función de la temperatura (la curva designada D-D equivale a la suma de las reacciones dos y tres de la Tabla 2).

Debido a la gran cantidad de energía liberada, un reactor de fusión necesitará sólo una cantidad muy baja de combustible nuclear, especialmente si se compara con los sistemas tradicionales de generación. Por ejemplo, para generar 1 GW-año de energía eléctrica en una termoelectrica de carbón se requieren 3 millones de toneladas de carbón (3×10^9 kg), mientras que en un reactor de fusión de deuterio-tritio se necesitarían 100 kg de deuterio más otro tanto de tritio.

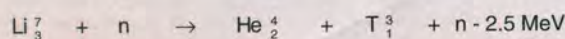
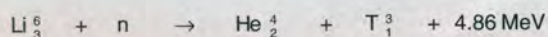
Aproximadamente el 0.015% de los átomos de hidrógeno en la naturaleza están en la forma de deuterio, así que su presencia en dicho medio es abundante (en el agua de los océanos, por ejemplo). En cambio, el tritio es un material radiactivo cuya vida media es de aproximadamente doce años, y por tanto su presencia en la naturaleza es muy baja. Este inconveniente se supera fácilmente, ya que el tritio puede obtenerse del litio mediante bombardeo de neutrones. Es decir que si en el mismo reactor se tiene una capa de litio, los neutrones producidos por la fusión bombardearían la capa de litio produciendo así tritio que realimentaría el plasma.

El litio se encuentra en la naturaleza en dos formas: litio 7 (92.5%) y litio 6 (7.5%). Ambos tipos producen tritio como indican las reacciones de la Tabla 3. El litio es relativamente abundante en la naturaleza (30 ppm en peso y en algunos depósitos con concentraciones hasta del 4% en la corteza de la Tierra y 0.2 ppm en los océanos).

Por lo anterior, es evidente que los combustibles para un reactor de fusión son abundantes; la totalidad de las existencias alcanzarían para muchos miles de años de

Tabla 3

Reacciones que producen litio*



* El subíndice indica la carga eléctrica del núcleo (número de protones) y el superíndice el peso atómico (número de protones más neutrones).

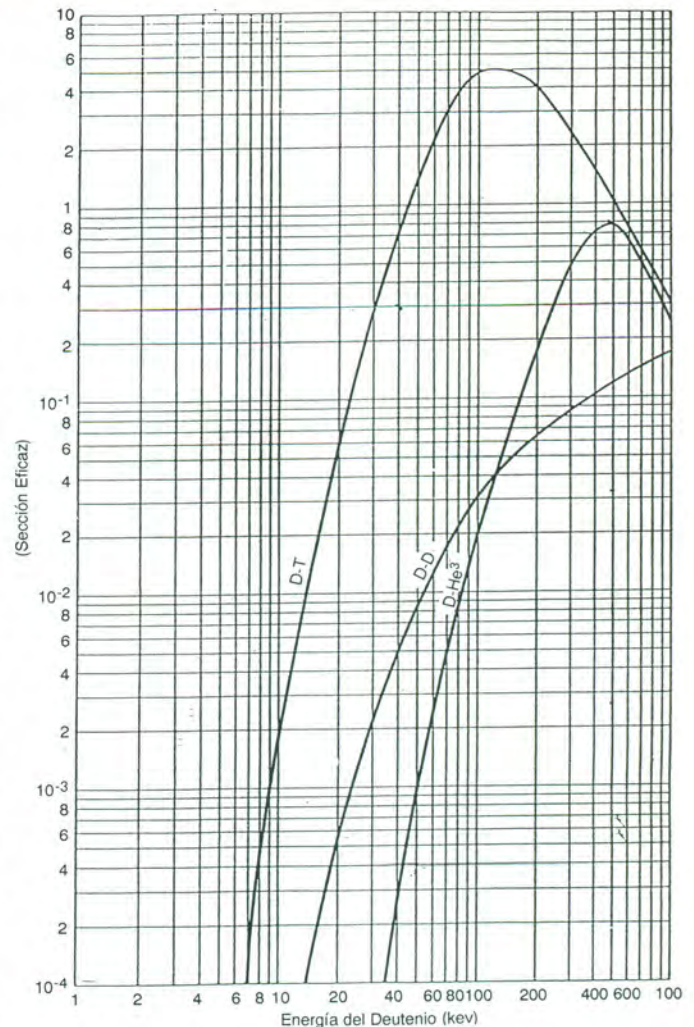


Figura 1. Sección eficaz de las reacciones nucleares de fusión D-T, D-D (total) y D-He³.

uso intensivo de reactores de fusión, o si se tienen en cuenta únicamente las existencias de litio en la corteza terrestre, alcanzarían para varios siglos. Por otra parte, las exigencias de los materiales de los cuales serán construidos tanto el reactor en sí como la estructura de soporte son muy altas, y fijan algunas limitaciones en la construcción de reactores comerciales de fusión. Más adelante trataremos el tema de los materiales en más detalle.

Los procesos de fusión en un reactor tienen la importante característica de que son autocontrolados; es decir que si por cualquier motivo se presenta un exceso de combustible, un exceso de calor u otro tipo de accidente, no ocurre una reacción en cadena o una prolongada emisión de materiales radiactivos, como sí sucedería en el caso de un reactor de fisión. Además, una vez suspendida la entrada de combustible al plasma, la fusión quedará detenida en décimas de segundo. Por consiguiente no puede presentar-

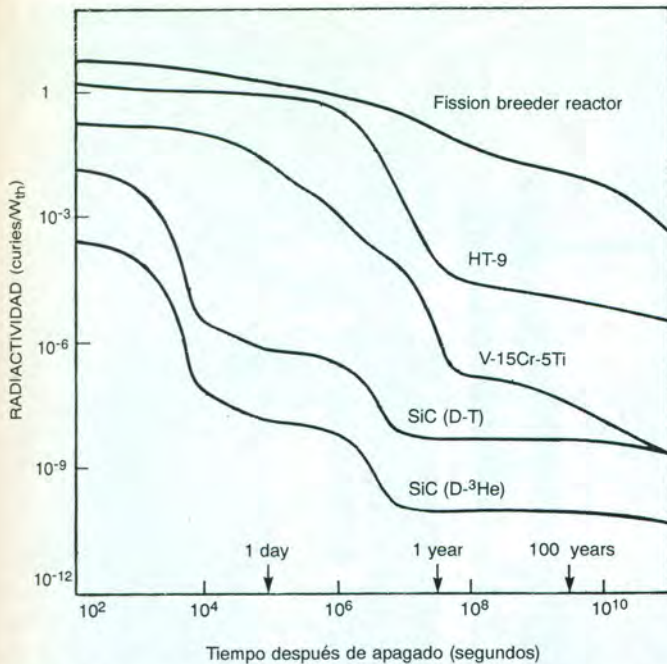


Figura 2. Radiactividad por unidad de potencia producida en función del tiempo medido a partir de la suspensión de las reacciones nucleares para reactores de fisión y de fusión de diferentes materiales: HT-9 acero, V-15 Cr -5Ti aleación de vanadio, cromo y titanio y SiC carburo de silicio. Nótese que la escala es logarítmica.

se un “derretimiento” del núcleo del reactor con las funestas consecuencias de una emisión de material radiactivo a la atmósfera, como sí ha sucedido en reactores de fisión en Chernobil, en Rusia, y en Three Mile Island en Estados Unidos.

Los neutrones producidos en las reacciones de fusión son en su mayoría absorbidos por las paredes del reactor y por la estructura del mismo, lo cual deteriora y activa nuclearmente los materiales de que están compuestas. Por tanto, un reactor de fusión se torna radiactivo y exige una avanzada robótica para operarlo. Otra consecuencia de la activación de los materiales, sumada a la permeación (proceso mediante el cual átomos de tritio se colocan en la estructura cristalina del material) de tritio dentro de los materiales, es que se producen desechos radiactivos. Este es un hecho importante, aunque no tan grave como en los reactores de fisión, ya que no existen subproductos del combustible (los fragmentos de la fisión), el reciclaje de los materiales es mucho más fácil y la vida media del combustible contaminante es muchísimo más baja.

Por otra parte, estos desechos y sus efectos pueden llegar a reducirse notablemente mediante la utilización de materiales avanzados en la construcción de la vasija y la estructura del reactor. Esto se ve claramente en la Figura 2, donde se muestra la radiactividad por unidad de potencia producida en función del tiempo después de suspendidas las reacciones nucleares, para reactores de fisión y reactores de fusión de diferentes materiales⁴.

3. CONFINAMIENTO MAGNÉTICO

El método sobre el cual se ha hecho mayor énfasis en la investigación de reactores de fusión es el de confinamiento magnético. En este caso, el combustible es un plasma de baja densidad confinado mediante campos magnéticos que forman un encerramiento que previene que el plasma entre en contacto con la pared interna de la vasija del reactor. El concepto más aceptado es el de confinamiento magnético toroidal; otros conceptos previos que utilizaban un confinamiento lineal han sido descartados.

Un reactor de fusión con confinamiento magnético toroidal consta esencialmente de una vasija en forma de anillo (toroide) con un embobinado superconductor, una estructura de soporte, un sistema de calentamiento y abastecimiento del plasma y un sistema de extracción de calor. Este último extraerá el calor generado por la fusión del combustible, que es de alguna manera depositado en las paredes, y lo transmitirá a las turbinas de generación eléctrica.

Para el confinamiento toroidal se requieren dos campos magnéticos: uno toroidal (en la dirección que le da la vuelta al toroide) y uno poloidal (en un plano de corte transversal del anillo). Estos campos magnéticos son generados por una combinación de corrientes en el plasma —recordemos que el plasma está formado por electrones e iones que son portadores de carga eléctrica—, y en los embobinados colocados alrededor de la vasija del reactor.

Existen dos tipos principales de confinamiento magnético toroidal: el Tokamak y el Stellarator. La diferencia entre estos dos tipos está en que en el Tokamak el campo magnético es generado por corrientes tanto en el plasma como en el embobinado, mientras que en el Stellarator los campos magnéticos son generados casi

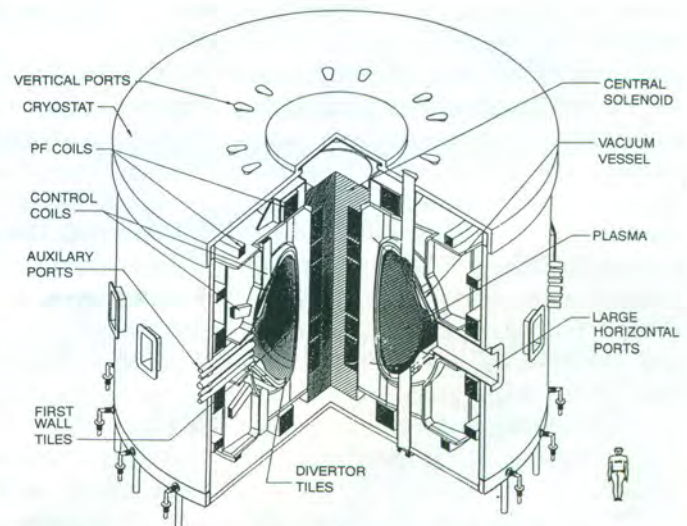


Figura 3. Esquema de un Tokamak.

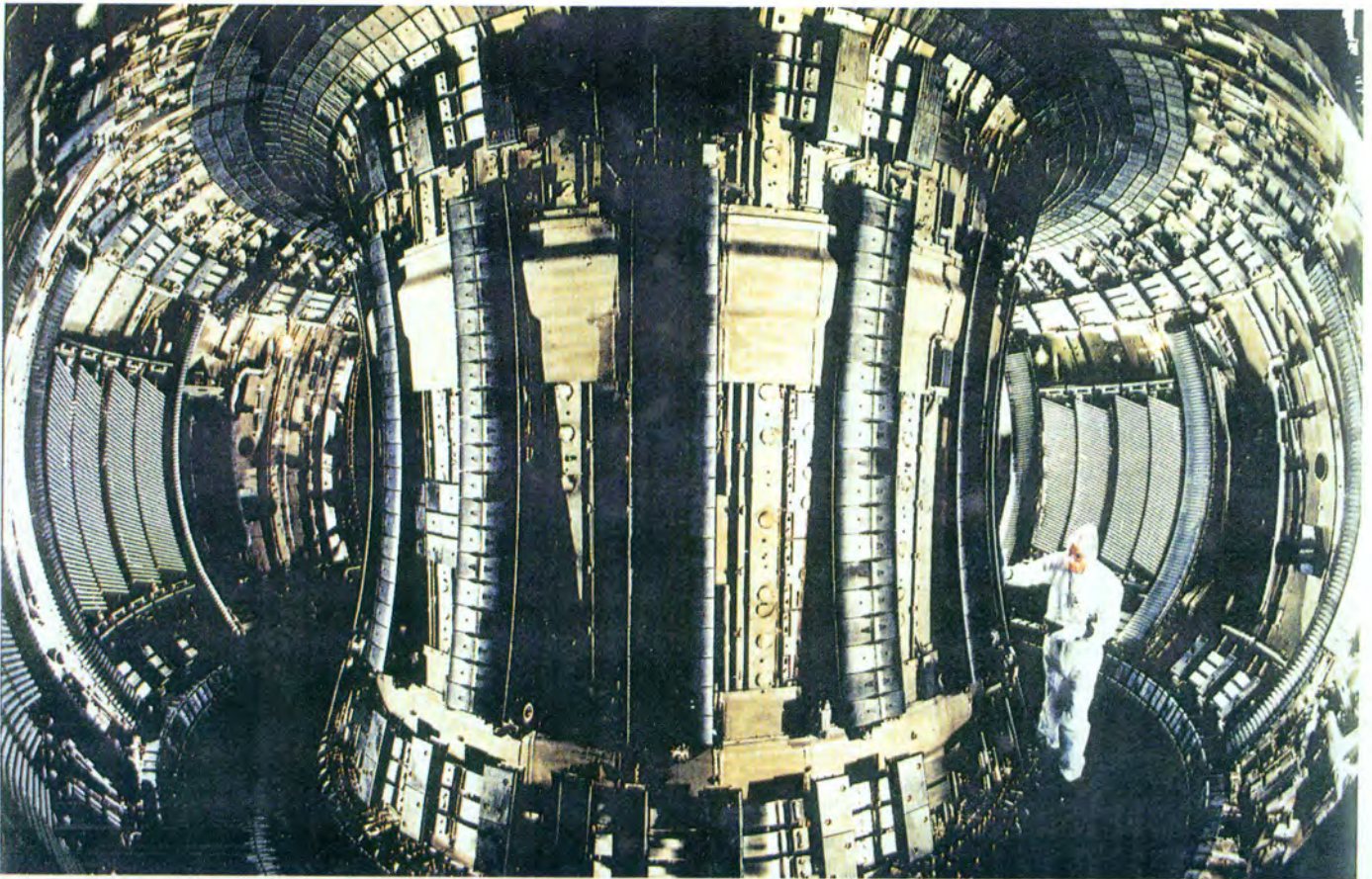


Figura 4. Joint European Torus (cortesía del grupo JET).

exclusivamente por corrientes en el embobinado externo.

3.1. El Tokamak

El concepto de confinamiento magnético más utilizado es el Tokamak (véase un esquema en la Figura 3 y una foto del Joint European Torus JET en la Figura 4). Las características magnéticas de un Tokamak están dominadas por un embobinado toroidal superconductor, el cual produce un campo magnético toroidal muy fuerte, del orden de 10 teslas (aproximadamente 200.000 veces el campo magnético terrestre). El campo poloidal es producido por una corriente en el plasma, del orden de 20 MA, y corrientes en los embobinados en la dirección toroidal y distribuidos en la periferia del plasma.

El solenoide en el centro del toroide funciona como un transfor-

mador que induce la corriente en el plasma. Esta corriente, además de producir un campo magnético, sirve para calentar el plasma junto con otros métodos de calentamiento como el de ondas electromagnéticas de radiofrecuencias que se describe más adelante.

El radio externo del toroide en un reactor de fusión será del orden de 10 m, y el radio interno de unos 2 m. Nótese que el corte transversal del toroide no es circular, sino que tiene una forma de D un poco achatada en la parte inferior; esto hace el plasma más estable y, sobre todo, facilita la implementación del divertor. El divertor está en la parte interna e inferior de la vasija y su función es la de exosto del reactor; es decir que a través del divertor las cenizas, partículas alfa en su mayoría, así como otras impurezas que entren al plasma, serán expulsadas del reactor.

El plasma estará encerrado dentro de lo que se llama la separatriz magnética. Un diagrama de las líneas de flujo magnético constante se puede observar en la Figura 5. El área sombreada, donde las líneas de flujo son curvas cerradas, señala la zona que ocupará el plasma; eventualmente éste se saldrá de la separatriz, seguirá las líneas de flujo y llegará al divertor. En el divertor el plasma se enfría por contacto con la pared interna, y las cenizas y las impurezas son extraídas con sistemas de bombas.

La mayor interacción entre el plasma y la pared se presenta en el divertor. Debido a que el flujo de energía, calor y partículas que llegan al divertor es muy alto, su diseño, especialmente con respecto a los materiales que se utilicen, es un reto para los investigadores. No hay en el mundo una superficie que reciba tal cantidad de energía por unidad de

área, de forma que la elección de los materiales es de crucial importancia.

3.2. Requerimientos de un reactor Tokamak de fusión

Para que el plasma D-T de un Tokamak funcione como un reactor de fusión económicamente atractivo, que produzca energía eléctrica, debe cumplir unos requisitos fundamentales. El requisito principal está en lo que se denomina la ganancia de potencia de fusión $Q = P_f / P_i$, donde P_f es la potencia de fusión, es decir la potencia producida por las reacciones de fusión, y P_i es la potencia suministrada. Los reactores Tokamak en funcionamiento hoy en día tienen un Q de aproximadamente 0.1. Un $Q = 1$ equivale al *break-even*, es decir que la potencia suministrada es igual

a la potencia producida. El estado de ignición del plasma, o sea el estado en que se pueden mantener las reacciones de fusión en el plasma, se obtendrá con un $Q > 5$.

Otro parámetro importante es el llamado producto triple de la densidad del combustible n , la temperatura T y el tiempo de confinamiento de energía τ . Este último indica el tiempo en que el plasma se enfriaría si las corrientes externas y la del mismo plasma se apagarán; por tanto, es una indicación de la tasa de pérdida de energía del plasma por radiación y transporte. Una de las razones para tender a incrementar las dimensiones de un reactor es que obviamente el tiempo de confinamiento es mayor a mayor tamaño; para obtener ignición se requiere un producto triple del or-

den de $5 \times 10^{21} \text{ m}^{-3} \text{ s KeV}$ a una temperatura cercana a los 15 KeV. La Figura 6 muestra el producto triple en función de la temperatura para los reactores Tokamak en funcionamiento, cuyos datos aparecen en la Tabla 4; todos éstos son reactores experimentales.

Otro parámetro importante tiene que ver con la relación entre la presión del plasma y la presión magnética, relación que debe ser del orden del 5%; esto implica que se disminuiría la presión del plasma, lo cual disminuiría la potencia de fusión, o se incrementa la presión magnética. El último parámetro importante es la eficiencia de la corriente η_{cd} que relaciona la densidad de electrones n_e , la corriente del plasma I_p , la potencia de la corriente P_{cd} y el radio externo



Hagamos Cuentas ...

Si alineáramos cada uno de los TUBOS que hemos vendido y han sido instalados durante estos 89 Años ...

... Llegaríamos a la Luna.

Tubería de 4" a 30" en Gres Vitrificado
Materia prima Eterna

Canalización y conducción de aguas lluvias y residuales

Calle 19 No. 6-68 piso 14 Comn. 334 0060 Télex: 45521 TO3 Fax: 286 8352
A.A 4454 Ventas: 3412988 - 2860273 - 2818865 - 3427594 Santafé de Bogotá.

R: $\eta_{cd} = n_e R I_p / P_{cd}$; un valor de η_{cd} del orden de 3×10^{19} es necesario para obtener el estado de ignición. Nótese que todos estos parámetros relacionan entre sí las diferentes características del Tokamak, de tal forma que hay que buscar una optimización de los mismos para obtener las condiciones necesarias para la ignición.

De los reactores en funcionamiento (ver Tabla 4), únicamente el JET (Unión Europea) y el TFTR (EUA) han utilizado mezclas de tritio y deuterio. Todos los demás utilizan sólo deuterio y en su mayoría son empleados para estudiar algún aspecto particular de un reactor de fusión, como se indica en la Tabla 5.

En el último experimento realizado en el TFTR en agosto de 1994 se obtuvo un Q muy próximo a 1 utilizando una mezcla D-T cercana al 1:1; el JET obtuvo también un Q cercano a 1 en 1992, cuando utilizó una mezcla del 5% de tritio; en un reactor comercial la mezcla D-T será 1:1.

Debido a los grandes costos, lo difícil de la tecnología y la inmensa cantidad de investigación requerida, existen varios proyectos en colaboración entre diferentes países para desarrollar lo que se llama el "siguiente paso" (*next step*) de los reactores Tokamak de fusión. El proyecto más importante de todos es el ITER

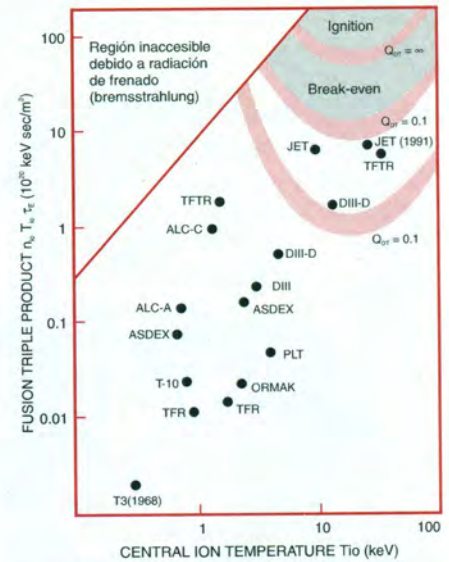


Figura 6. Valores del producto triple como función de la temperatura para diferentes reactores Tokamak.

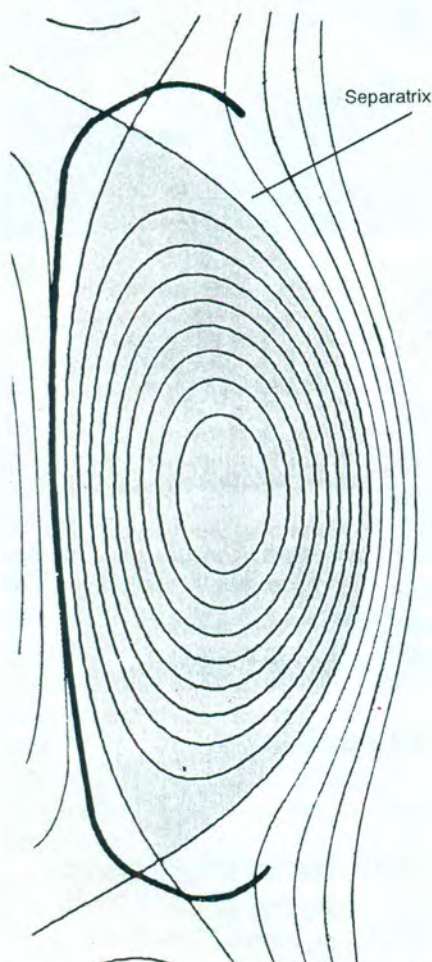


Figura 5. Sección transversal del plasma en un Tokamak. Las líneas denotan las superficies de flujo magnético constante. La separatrix demarca la zona de líneas de flujo cerradas donde permanecerá el plasma (zona sombreada).

Tabla 4
REACTORES TOKAMAK EN FUNCIONAMIENTO Y SUS CARACTERÍSTICAS

	Radio mayor Radio menor	Corriente en el plasma (MA)	Campo toroidal (tesla)	Potencia suministrada (MW)	Año de iniciación
JET (Unión Europea)	2.96 1.2	7	3.5	36	1983
JT-GOU (Japón)	3.4 1.0	6	4.2	30	1991
TFTR (EUA)	2.5 0.85	2.5	5.2	32	1982
TORE SUPRA (Unión Europea)	2.41 0.7	1.7	11.5	23	1988
T-15 (RUSIA)	2.4 0.7	2	4	15	1988
DIII-D (EVA)	1.67 0.67	3.5	2.2	20	1986
ASDEX-UPGRADE (Unión Europea)	1.65 0.5	2	3.9	15	1991
FTU (Unión Europea)	0.92 0.31	1.6	8	9	1990

(International Thermonuclear Experimental Reactor), cuyos detalles se describen en la siguiente sección.

3.3. ITER

En 1988 se unieron los esfuerzos de las cuatro partes poseedoras de mayor experiencia y capital para desarrollar un reactor experimental de fusión. Así nació el International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER), como una colaboración entre Estados Unidos, la Unión Europea, Japón y Rusia (en ese momento la Unión Soviética) para dar forma al "siguiente paso". Para 1990 el diseño conceptual del ITER estaba terminado (ver Figuras 7 y 8); en consecuencia, se diseñará un Tokamak con las características dadas en la Tabla 6.

El ITER se encuentra ahora en la etapa de diseño de ingeniería, la cual se inició en 1992 por un período de seis años con un costo de 1.000 millones de dólares. La etapa de construcción debe empezar alrededor de 1998 y tendrá un costo de 5.000 millones de dólares. Para el año 2008 se espera que el ITER esté en funcionamiento, aunque el lugar de construcción no se ha definido todavía.

Como su nombre lo indica, el ITER es un reactor experimental; funcionará con una mezcla de deuterio y tritio al 1:1, pero no tendrá las partes requeridas para la generación de energía eléctrica. Un reactor de fusión comercial de generación de energía eléctrica no se espera antes del año 2040.

Los problemas conceptuales físicos de un Tokamak están casi resueltos; el comportamiento del plasma, las características necesarias para la fusión y el confinamiento magnético están claros. Los mayores problemas se presentan en los aspectos que se describen en los siguientes párrafos.

- *Calentamiento del plasma.* El plasma tiene que calentarse a una temperatura del orden de los 30 KeV (aproximadamente 350 millones de grados centígrados) para la ignición.

Tabla 5
ALGUNOS REACTORES TOKAMAK ESPECIALIZADOS

REACTOR	LUGAR	OBJETIVO	CORRIENTE DEL PLASMA	FUNCIONANDO DESDE
TEXTOR	Alemania	Interacción plasma-pared, divertor	0.5	1981
TORE SUPRA	Francia	Operación de pulso largo (H)	1.7	1988
ASDEX UPGRADE	Alemania	Control de pureza del plasma	1.6	1991
FTU	Italia	Confinamiento magnético	1.6	1990
COMPASS	Inglterra	Estabilidad del plasma	0.4	1989
TCV	Suiza	Disrupciones	1.2	1992
RTP	Holanda	Transporte	0.2	1989
ISTTOK	Portugal	Corrientes en el plasma	0.01	1992
START	Inglterra	Disrupciones y física del plasma	0.2	1990

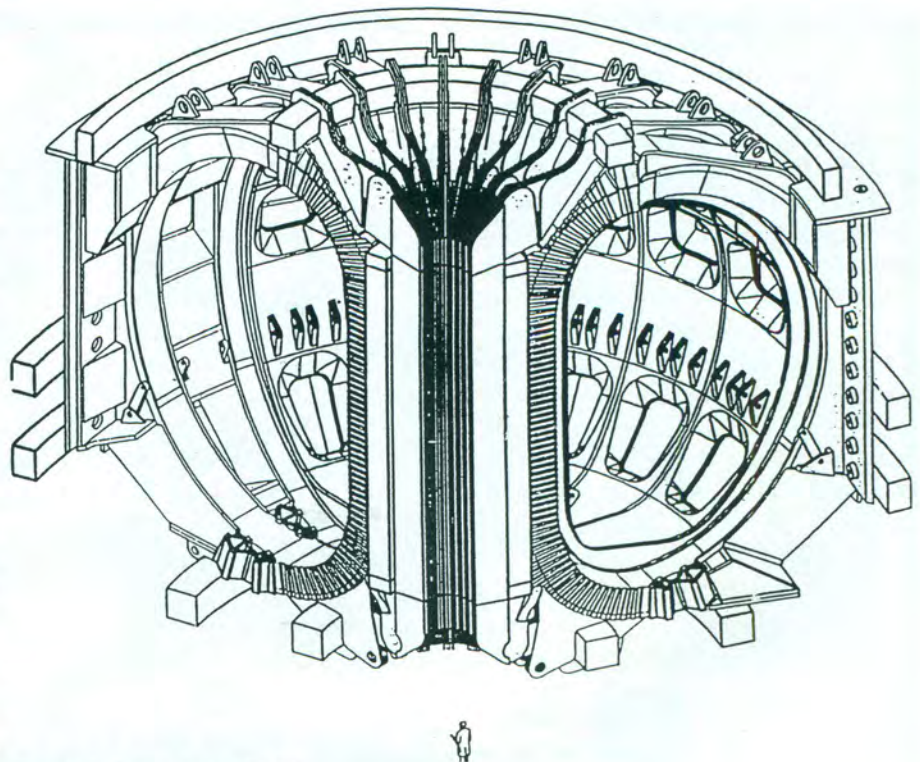


Figura 7. Esquema del ITER.

Hay dos procedimientos para lograr estas temperaturas; uno es la inyección de un rayo de partículas neutras (NBI, Neutral Beam Injection) de alta energía. En este procedimiento, un rayo de partículas neutras, deuterio por ejemplo (para no contaminar el plasma), es inyectado en el plasma; mediante colisiones coulombianas estas partículas transmiten la energía al plasma subiendo así la temperatura del mismo. Este método de calentamiento funciona bien hasta temperaturas del orden de los 20 KeV. A mayores temperaturas, las interacciones entre el rayo energético de partículas y algunos modos de oscilación del plasma producen altas pérdidas de energía mediante un proceso resonante que limita su uso, por lo menos hasta que este fenómeno esté mejor entendido. El segundo método de calentamiento es el de ondas electromagnéticas de radiofrecuencia, cuya modalidad más desarrollada es la de calentamiento por resonancia iónica de ciclotrón (*ion cyclotron resonance heating*), por medio de la cual el plasma es dopado con una cantidad pequeña de hidrógeno o helio que son fotoexcitados (llevados a un nivel de energía superior al estado base mediante colisiones con fotones) por la circulación de ondas electromagnéticas de radiofrecuencia; los átomos excitados transmiten luego la energía al plasma mediante colisiones coulombianas. Este método de calentamiento funciona bien hasta temperaturas del orden de los 15 KeV. Una combinación de estos dos métodos de calentamiento del plasma debe conseguir la temperatura necesaria para la ignición. El laboratorio alemán de Garching y el JET están encargados de encontrar la solución al problema planteado por el calentamiento del plasma.

- *Confinamiento de la energía.* El transporte de energía en la dirección transversal del campo no está bien entendido, y causa una turbulencia y pérdidas que deben evitarse en el plasma del ITER. Debido a

que no existen reactores Tokamak de las dimensiones y características del ITER, el transporte debe modelarse en el computador, para lo cual existen grandes paquetes de *software* que simulan un plasma en un Tokamak. La modelación en el computador es una herramienta indispensable para el desarrollo del ITER. Por esto existen grupos dedicados exclusivamente a modelar el transporte de energía dentro del

reactor y encontrar la forma de evitar el transporte transversal de energía.

- *Disrupciones.* El principal problema operativo de cualquier Tokamak es la ocurrencia de disrupciones. Una disrupción es una terminación rápida de la corriente del plasma; es un fenómeno físico muy complejo, las causas del cual no están todavía completamente claras. Cuando ocurre una disrupción, una

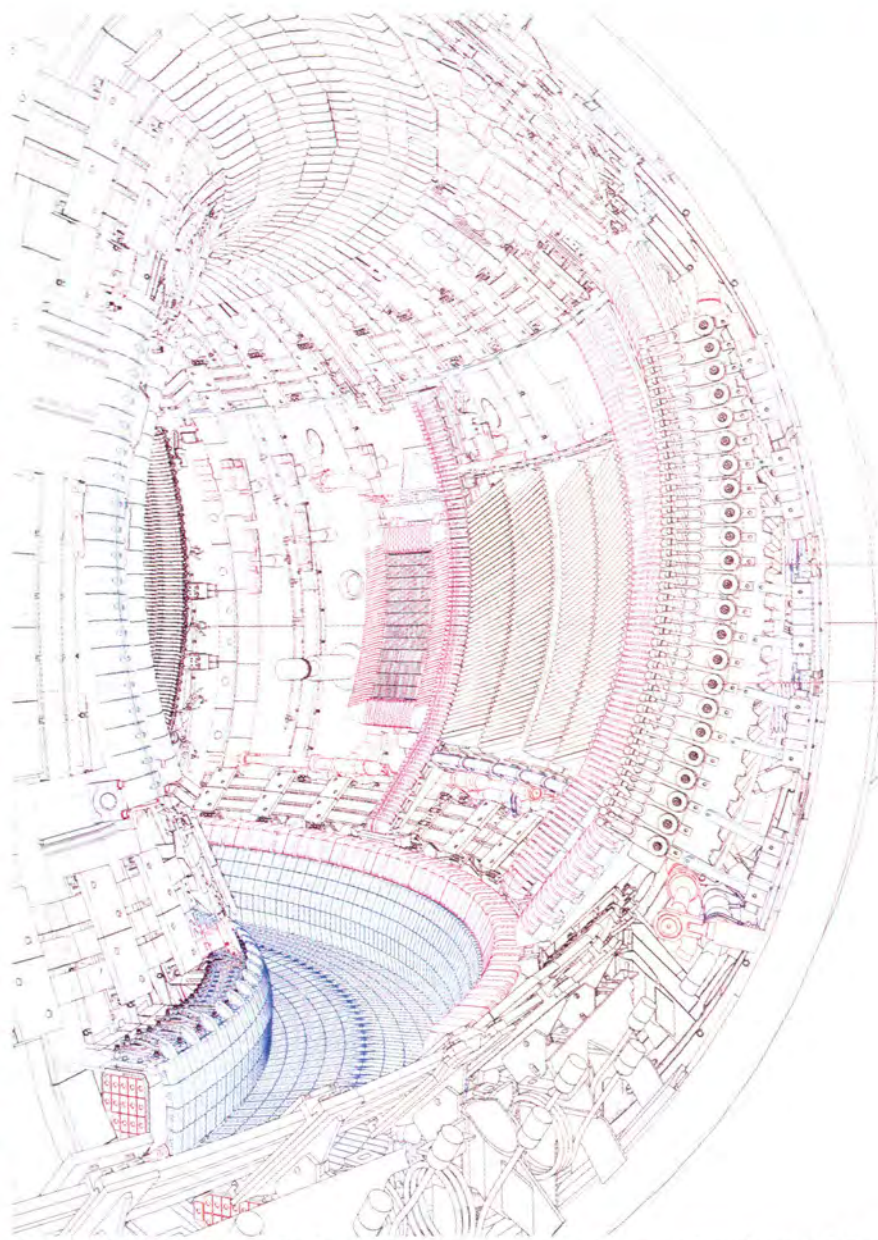


Figura 8. Vista interior del diseño del ITER. En la parte inferior, en azul se observa el divertor. El cuadrado oscuro rodeado de rojo es una antena para la emisión de ondas electromagnéticas. Toda la superficie interior estará cubierta por la primera pared.

buena parte de la energía del plasma se concentra en una región pequeña del mismo; si esta región está cerca de la pared de la vasija, puede presentarse un daño en la pared y por tanto en el reactor. La única solución real del problema de las disrupciones es evitar que ocurran, pero se requiere un mejor entendimiento de sus causas para lograrla.

• *Eficiencia de la corriente del plasma.* Vimos antes que uno de los parámetros decisivos para obtener ignición era la eficiencia de la corriente del plasma. Esta corriente cumple la doble función de calentar el plasma y de generar el campo magnético poloidal. La corriente inducida por el solenoide central es insuficiente para cumplir tal objetivo, por lo que es necesario incrementarla. Se utilizan dos métodos para hacerlo: la inyección de rayos de partículas neutras y la circulación de ondas electromagnéticas; cualquiera de estas dos formas utilizadas, o la combinación de

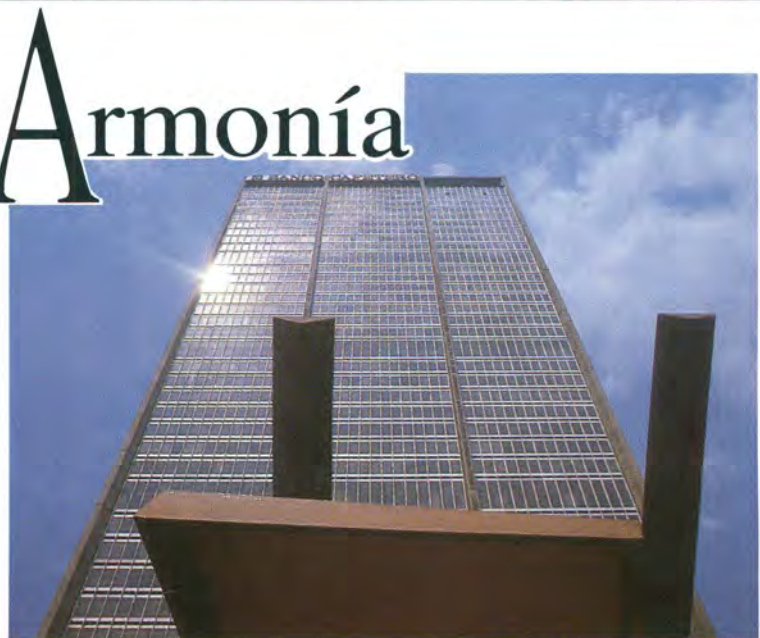
ellas, tienen la restricción de que los portadores de carga colisionan con el resto del plasma y aumentan la resistencia óhmica del sistema. Esto beneficia el calentamiento pero limita la inducción de campos magnéticos para el confinamiento; entonces, debe llegarse a un balance entre estos fenómenos para obtener el estado de ignición.

• *Materiales.* Como se ha dicho, la elección de los materiales de la pared que estará más cerca del plasma (la llamada primera pared) y, sobre todo, del divertor, es crucial para el funcionamiento del ITER. Cada una de las alternativas existentes tiene puntos a favor y en contra; la primera es el uso de materiales livianos (bajo número atómico) como el berilio. Esta opción tiene la gran ventaja de que la contaminación del plasma por partículas de la pared —siempre habrá contaminación debido a procesos de erosión de las paredes— será menos perjudicial, puesto que el efecto de la

impureza (especialmente las pérdidas de energía del plasma) es inversamente proporcional al número atómico. La desventaja de los materiales livianos es que el único que cumpliría los requisitos es el berilio, el cual es altamente tóxico y de muy difícil manejo. Una segunda alternativa son los materiales de número atómico medio, como el vanadio y algunos compuestos del carbono (*carbon fiber composites*); estos materiales cumplen los requisitos de resistencia y dureza, pero tienen una permeabilidad alta al tritio; es decir que reciben muchos átomos de tritio dentro de su estructura molecular; como el tritio es tan radiactivo y costoso, sus pérdidas dentro del reactor deben ser minimizadas. La última alternativa son los materiales pesados, como el tungsteno y el molibdeno; los cuales cumplen la mayor parte de los requerimientos pero tienen la gran desventaja de que al entrar al plasma como impureza, como ya se mencionó, producirían

OBRAS VIVAS Armonía

OBRAS QUE HACEN PARTE DE LA VIDA. QUE ESTAN EN ARMONIA CON LA NATURALEZA. OBRAS PARA VIVIRLAS, DISFRUTARLAS, COMPARTIRLAS. PARA ADMIRARLAS. NACIMOS PARA CREAR OBRAS VIVAS. OBRAS PARA TODA LA VIDA.



DIVISION **TEC**

Master Builders Technologies

Tabla 6
CARACTERÍSTICAS DEL ITER

Densidad del plasma	10^{20} m^{-4}
Temperatura	18 Kev
Potencia nominal de fusión	1.5 GW
Tiempo de reacción	1000 S
Corriente en el plasma	24 MA
Radio mayor	7.7 m
Radio menor	3.0 m
Elongación	1.6 m
Campo magnético toroidal	6 Tesla

grandes pérdidas de energía. Otra dificultad que plantea la elección de los materiales es que las propiedades de cualquiera de ellos cambia al ser irradiado por neutrones, como ocurriría en un reactor, y al contener átomos de tritio o deuterio en su estructura. Por tanto podemos concluir en que una de las áreas donde se necesita más investigación en el ITER es la de los materiales; los candidatos más opcionados son los de número atómico medio, y entre ellos el vanadio y los compuestos de carbono.

4. STELLARATOR

El Stellarator es la segunda configuración más utilizada para el confinamiento magnético toroidal. A diferencia del Tokamak, donde los campos magnéticos son generados por corrientes en el plasma y en los embobinados externos, los campos magnéticos en el Stellarator son generados únicamente por corrientes externas y por tanto la corriente en el plasma no es necesaria, ni tampoco deseable.

Un esquema de un Stellarator avanzado se muestra en la Figura 9. En este concepto, tanto el plasma como la propia vasija y un embobinado único tienen la forma de un anillo

helicoidal en el cual la mayor parte de la simetría toroidal ha sido perdida. Esta configuración tridimensional dificulta mucho la simulación del plasma por computador y el diseño general del reactor. Por otro lado, el hecho de que haya un solo embobinado facilita la construcción del mismo, ya que puede hacerse mediante módulos.

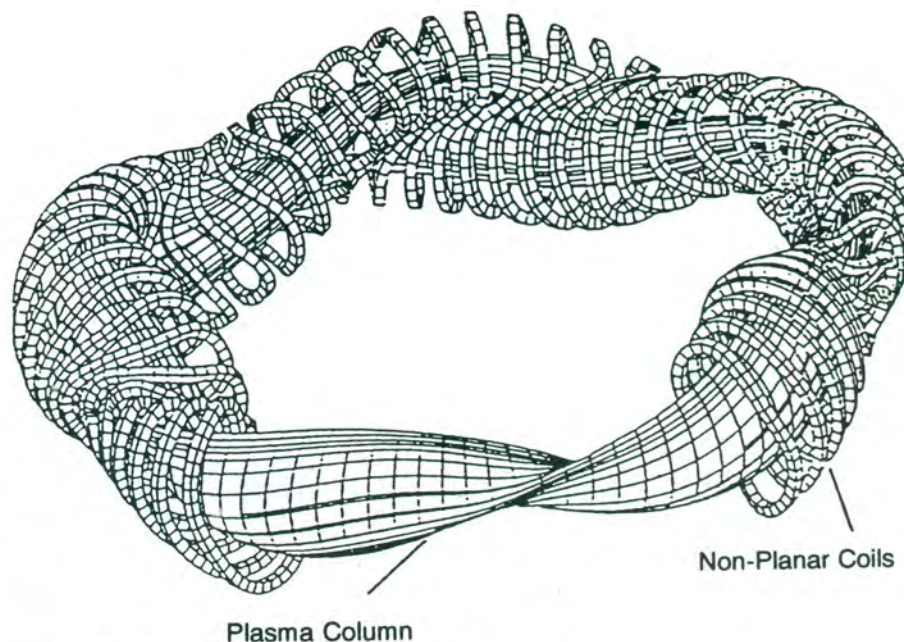


Figura 9. Esquema del diseño de un Stellarator avanzado.

La ausencia de altas corrientes en el plasma facilita una operación estacionaria, no a pulsos como en el Tokamak, y disminuye la probabilidad de ocurrencia de interrupciones.

Las características de un Stellarator en cuanto a temperatura, materiales, etc., son muy similares a las de un Tokamak.

Todos los reactores tipo Stellarator del mundo están dedicados al estudio del comportamiento del plasma y su confinamiento magnético. Aunque se haya escogido el concepto del Tokamak para el ITER, el Stellarator presenta algunas ventajas como para continuar su investigación, especialmente el hecho de disminuir la posibilidad de ocurrencia de interrupciones. Los principales reactores tipo Stellarator están en Alemania, Francia y Estados Unidos.

REFERENCIAS

1. *Energy in the World: A view to the future*, Commission of the European Communities DG XVII, Sept. 1992.
2. W. Zypszkowski, *IAEA Bulletin* Vol. 35, N.Y 45 (1993).
3. "Radioactive Waste", *IAEA Bulletin* Vol. 34, N.Y (1992).
4. R.W. Conn, *et al. Nuclear Fusion* 30, 1919 (1990).

Cronología de la matemática

3a. Parte

Ing. Gerardo Prado Bravo

Ingeniero Civil, Universidad del Cauca; especializado en Telecomunicaciones; ha sido profesor en las Universidades del Cauca, Javeriana, Tadeo Lozano, Santo Tomas y la Gran Colombia. Desde 1990 está vinculado a la Escuela Colombiana de Ingeniería.

1.2 Época helénica (600 AC hasta 300 AC)

600 AC Tales de Mileto (624-548 AC).

Uno de los siete sabios de la Grecia antigua, fundó en Mileto la escuela jónica de matemáticas y filosofía; aplicó las propiedades de los triángulos semejantes para calcular las alturas de las pirámides egipcias, se le considera el precursor de la deducción en geometría y se le atribuye la demostración de las siguientes proposiciones:

- El ángulo inscrito en un semicírculo es recto.
- El círculo es bisectado por cualquiera de sus diámetros.
- Los dos ángulos adyacentes a la base de un triángulo isósceles son iguales.
- Si dos triángulos son tales que dos ángulos y un lado del uno son respectivamente iguales a dos ángulos y un lado del otro, entonces los triángulos son iguales.

585 AC

Eclipse de Sol que, según la tradición, fue predicho por Tales utilizando tablas e instrumentos mesopotámicos.

540 AC Pitágoras de Samos (572-500 AC).

Fue discípulo de Tales y luego viajó por Egipto, Mesopotamia y posible-

mente la India, recopilando mucha información sobre astronomía y matemáticas. A su regreso se estableció en Crotona (sur de Italia) y fundó una secta comunitaria, la escuela pitagórica, considerada la primera organización que fomentó el estudio de las matemáticas por amor al conocimiento y no sólo por necesidades prácticas.

A Pitágoras se le atribuye la demostración del teorema que lleva su nombre: en todo triángulo rectángulo el cuadrado construido sobre la hipotenusa es igual a la suma de los cuadrados construidos sobre los catetos. Se desconoce el procedimiento que utilizó para demostrarlo.

A la escuela pitagórica se le atribuye la invención de las palabras *filosofía* (amor al conocimiento) y *matemática* (aquello que se aprende).

El lema de esta escuela era “Todo es número” lo cual significaba que todas las magnitudes podían expresarse cuantitativamente con los números naturales o por relaciones entre éstos (fracciones). Prodújose un escándalo en la organización cuando un siglo después se percataron de que la hipotenusa de un triángulo rectángulo isósceles de catetos iguales a uno no podía expresarse con números naturales ni con fracciones, descubriendo así los números llamados después irracionales, que guardaron en secreto.

El emblema de los pitagóricos era el pentágono regular estrellado —que seguramente sabían dibujar con regla y compás, debiendo conocer para ello la división de una recta en media y extrema (la relación dorada o “sección”)— utilizando posiblemente métodos similares a los usados por Euclides dos siglos y medio después. Conocían los poliedros regulares de 4, 6 y 12 caras: tetraedro, hexaedro y dodecaedro; algunos autores creen que también conocían el octaedro y el icosaedro, de 8 y 20 caras, respectivamente.

A Pitágoras se atribuye la invención de las palabras *parábola*, *elipse* e *hipérbola*, para designar que una magnitud era igual, menor o mayor que otra; y que había aprendido en Mesopotamia que entre dos números, A y B, hay media aritmética, media geométrica, media armónica y proporción dorada: A es a la media aritmética como la media armónica es a B.

540 AC

Los pitagóricos fueron los primeros en comprender que los fenómenos de la naturaleza podían estudiarse y entenderse por medio de las matemáticas; a ellos se debe el descubrimiento de las primeras leyes de la acústica aplicadas a la música.

Pitágoras investigó sobre la teoría de las proporciones y estableció que dados dos números, A y C (siendo A menor que C), hay entre ellos 10 medias, llamémoslas B, y entre estos tres números definió 10 proporciones distintas para calcular dichas medias. La escuela pitagórica es la fundadora

de la Teoría de Números y a ella se debe la clasificación de los números en: primos, compuestos, pares, impares, perfectos, abundantes, deficientes y amigos. También lograron procedimientos para determinar la suma de varias series.

Consideraban además que el espacio y el tiempo estaban formados por puntos e instantes, respectivamente, estableciendo así conceptos “discretos” para el mundo físico y no admitiendo para éste el aspecto “continuo”, hecho que dio lugar a muchas discrepancias con sus contradictores.

500 AC

En China se inicia la utilización de la numeración con barras.

Origen de un dodecaedro de piedra etrusco, descubierto cerca de Padua (Italia).

El hindú Apastamba escribe el *Sulvasutra*, que trata de mediciones y de construcción de figuras geométricas.

480 AC Filolao de Tarento.

Después de Pitágoras fue el más eminente miembro de la secta. Postuló la primera teoría no geocéntrica del universo afirmando que el centro de éste era un fuego central alrededor del cual giraban Mercurio, Venus, Marte, Júpiter, Saturno, el Sol, la Luna y la Tierra.

Como el total de cuerpos celestes era 9 —excluyendo la esfera de las estrellas fijas— Filolao supuso que existía una contra-Tierra colineal con la Tierra y el fuego central para completar los 10 cuerpos, ya que este número se consideraba con propiedades místicas, pues es igual a la suma de los puntos que generan las tres dimensiones geométricas: $10 = 1 + 2 + 3 + 4$.

Filolao también estudió las proporciones y lo relativo a las medias aritmética, geométrica y armónica y llamó al hexaedro o cubo el *armónico geométrico* porque su número de vértices (8) es media armónica entre el número de caras (6) y el de aristas (12).

Los primeros escritos sobre el pitagorismo se deben a Filolao y por ellos se enteró Platón de la escuela pitagórica, varias décadas después.

460 AC Anaxágoras de Clazómena (488-428 AC). Filósofo, astrónomo y matemático jónico. Fue profesor de Pericles, el famoso estadista ateniense que gobernó durante 40 años. Por afirmar que el Sol no era una deidad sino una gigantesca piedra caliente tan

grande como la península del Peloponeso, estuvo prisionero en Atenas.

Se considera que Anaxágoras fue el primero que estudió el problema de la cuadratura del círculo; en su época se inició la investigación de los otros famosos problemas de la antigüedad: la duplicación del cubo y la trisección del ángulo.

450 AC Parménides de Elea.

Fue el fundador de la escuela eleática cuyo principio fundamental era el de la unidad y permanencia del ser, punto de vista que contrastaba profundamente con las ideas pitagóricas de multiplicidad y cambio. Parménides fue quizá el primero en considerar que la Tierra era esférica.

Zenón de Elea —discípulo de Parménides— fue de los primeros en utilizar para las demostraciones el denominado método dialéctico o de reducción al absurdo, basado en que si una proposición es falsa entonces conduce a contradicciones. Fue adversario de la escuela pitagórica. Zenón se hizo célebre con sus dos conocidas paradojas, la de Aquiles y la de la dicotomía, que pusieron en duda las teorías pitagóricas de que el espacio y el tiempo estaban constituidos por puntos e instantes discretos. Estas paradojas sentaron las bases de la teoría del continuo, establecida por Eudoxio un siglo después.

Por estos años se intensificó la utilización del sistema deductivo de razonamiento: plantear una serie de premisas y con base en ellas llegar a una conclusión.

Hipasos de Metaponto. Fue miembro de la escuela pitagórica y posiblemente quien descubrió los números irracionales al tratar de hallar la diagonal de un cuadrado con el teorema de Pitágoras y, o, al dividir una recta en media y extrema —relación dorada o sección— para construir el pentágono regular.

Se cree que Hipasos fue expulsado de la secta pitagórica por haberse adjudicado la construcción del dodecaedro regular y por revelar sus descubrimientos de los números irracionales, descubrimientos que destruían el fundamento básico de la secta que aceptaba sólo la existencia de los números enteros. Luego murió en un naufragio.

440 AC Hipías de Élida.

Diseñó la curva llamada trisectriz —y posteriormente también cuadratriz— con la cual se puede dividir un ángulo en cualquier número de partes. Después de la circunferencia, ésta fue la segunda línea curva conocida en el mundo antiguo.

Hipías trabajó mucho tratando de solucionar solamente con regla y compás los tres problemas clásicos del mundo antiguo: la cuadratura del círculo, la duplicación del cubo y la trisección del ángulo. Hoy en día está suficientemente demostrado que dichas soluciones son imposibles.

(Esta cronología continuará en la siguiente edición de la revista)



Las ecuaciones son poesía pura



Dr. Ignacio Umaña De Brigard

“El origen del agua

Hubo un tiempo en que la hormiga era la dueña del agua; esa época fue llamada ‘el verano de la hormiga’. Entonces escasearon el maíz, la yuca y las frutas, y el jaibaná de la tribu fue a comunicarse con ella y le dijo: ‘Queremos vivir, dadnos agua’; ella se negó y lo atacó. En el forcejeo se estrellaron contra el gran árbol que contenía el agua y la frescura de ésta fue llenando todo de vida; la hormiga, viéndose perdida, pidió que la soltara y gritó: ‘ustedes van a perder el agua’, y el jaibaná la arrojó contra la roca y la convirtió en miles de hormigas pequeñitas. Preocupado por la maldición, pidió prestadas las alas al águila y vio que el tronco del árbol formaba un gran río, que las hojas que quedaron flotando en el aire formaron las nubes y que la vida florecía en todas partes; ¿cuál era la amenaza de la hormiga? Entonces se remontó hasta los confines del mundo y vio desiertos; voló rápidamente a su pueblo. Debía decirles que los árboles eran sagrados, eran el agua, eran la vida”.

Matemáticas y naturaleza son conceptos que nos remiten irremediamente a la fecunda vida del ingeniero Ignacio Umaña de Brigard. He leído la anterior fábula con el Presidente del Consejo Directivo de la Escuela, para entregarla a manera de mensaje a los lectores de la Revista en su última entrega del 95. Conversar con el doctor Umaña significa, entre otras muchas cosas, reafirmar el periodismo y particularmente el género de la entrevista, como uno de los oficios más enriquecedores del mundo. Además significa conocer una parte muy intensa de la vida colombiana en los ámbitos político, académico, gerencial, industrial y, sobre todo, la gestión, el desarrollo y la proyección de la vida de la Escuela.

Son muchos los cargos ocupados con brillante desempeño por el ingeniero civil de la Universidad Nacional Ignacio Umaña en el medio nacional y en el internacional. Su experiencia docente lo ha conducido también a las más altas posiciones: presidente del claustro y Consejo de Electores de la Escuela Colombiana de Ingeniería, representante del Colegio Máximo de las Academias en el Consejo de la Universidad Nacional, presidente de la Sociedad Colombiana de Ingenieros.

Para hablar con quien es uno de los fundadores de la Escuela, he acudido a la cita con un montón de preguntas y un estudio sobre boleros como bandera humana, un tema que el doctor Umaña reivindica como derecho a la ternura y a la evocación.

¿Considera usted importante una alianza entre la industria y la academia?

Es fundamental. La industria sin la academia de la ingeniería es una industria que va al fracaso.

¿Por qué ha sido tan tardía esa alianza en Colombia?

Es un fenómeno extraño; los industriales pensaban que no era importante conseguir esa ayuda de la academia.

¿Cómo sería en este caso la proyección de la Escuela Colombiana de Ingeniería?

Hay que buscar una conexión más íntima entre los estudiantes de la Escuela y la industria. Cada día hay más demanda por ingenieros de la Escuela; es una de las pocas universidades que tiene una lista de industrias que le solicitan profesionales.

¿Está de acuerdo en llamar a los medios de comunicación, a la manera de los teóricos sociales, como el "cuarto poder"?

En la democracia que vivimos, la libre expresión les otorga una gran representación, que los ha convertido en un "cuarto poder".

¿Es la ingeniería una alternativa distinta e inteligente, en términos de la comunicación de masas, para desmontar todo ese grupo de actividades nefastas para el país que tienen tanto protagonismo en su vida diaria?

Creo que sí. Podemos hablar un poco de cuál puede ser la intervención de la ingeniería en general, y particularmente la de la Escuela, en el mundo político colombiano. Usted ve que los pocos ingenieros que han intervenido en la vida pública han dejado una estela en la política nacional, una clarísima huella. Laureano Gómez, con todos sus

y dejó obras como el Aeropuerto Internacional y el Centro Administrativo Nacional; programó un plan vial de envergadura; trajo la televisión a Colombia. Como usted ve, los pocos ingenieros que han intervenido en política se han destacado en la vida nacional.

¿Le gustaría recibir una cátedra magistral por satélite?

Sí, cómo no. La Escuela Colombiana de Ingeniería se ha preocupado por este tema. Hemos dado impulso a estas ideas para que los estudiantes se conecten a todas las redes internacionales.

El nuevo Centro de Investigación y Estudios Especiales que abre la Escuela para apoyar todo el trabajo mencionado por usted, ¿es el primero y el único en el país en su género?

Existen en Colombia otros pero no con estas características tan especiales.

¿Por qué anotó usted, en el discurso conmemorativo de los 20 años de labores de la Escuela, que ella se había posicionado dentro del contexto académico del país como la primera facultad de Ingeniería Civil?

Esto partió de un estudio hecho por una serie de profesionales ajenos a la Escuela, publicado en la revista *Semana*. Entre las personas que intervinieron había gente de las distintas universidades colombianas como los Andes, la Javeriana y la Universidad Nacional. Quise retomar en aquella ocasión algo que se había publicado en una revista tan seria a manera de reflexión para las personas vinculadas al gremio de la ingeniería.

“La industria sin la academia de la ingeniería es una industria que va al fracaso”.

atributos y defectos, dejó una marca en la política colombiana: era ingeniero. Otro que logró una presencia en la República fue Mariano Ospina Pérez; como ingeniero su intervención fue sobresaliente. Virgilio Barco, y su labor como Alcalde de Bogotá. El general Rojas Pinilla era ingeniero

UPEC LTDA
INGENIEROS CIVILES

RICARDO PEREZ R.
MAURICIO CORTES R.

Diseño y
Construcción
de Estructuras

Calle 94 No. 15-19 • Oficina 204
Tel: 256 59 03 • Fax: 236 97 11
Santafé de Bogotá, D.C.

Los integrantes de la comunidad de la Escuela se han ubicado dentro del contexto nacional como personas que han sido galardonadas con los principales premios y honores otorgados a la ingeniería colombiana; además, muchos de ellos son sus amigos personales; ¿propone esta situación diferente a la de otros sectores de la ingeniería en el país?

Quienes conducen la Escuela y han estado vinculados a ella a partir de su fundación son un selectísimo grupo de ingenieros. Todos son profesionales de altísimos conocimientos; graduados en el país, han viajado al exterior a completar sus estudios para traer sus experiencias a Colombia. Tanta solidez académica se debe a esto. La Escuela no es una universidad improvisada que reunió un grupo de amigos que a veces desconocen un tema. El origen de la Escuela tiene como fundamento una columna vertebral constituida por un grupo de profesionales que idearon, proyectaron y crearon una institución a la cual han seguido totalmente vinculados. Ellos son realmente quienes la hicieron y quienes deben seguir impulsándola. Todos ellos continúan asistiendo a congresos y actividades internacionales en sus temas; siguen vinculados a la cátedra; son activos en su profesión; no se han "fosilizado" ni quedado un instante atrás en sus conocimientos; hacen parte de una avanzada de la ingeniería muy importante para consolidar una labor de largo aliento.

¿Recuerda sus cátedras de ingeniería de la Universidad Javeriana y de la Nacional? ¿En qué aspectos las cambiaría?

Eso ya es historia antigua. Si usted me pregunta que si yo pensaría en modificar lo que fue mi cátedra, le contestaría que no. Si dictara una cátedra hoy en día, sería totalmente diferente, como es lógico.

El país sabe de su intensa amistad y admiración por el presidente Lleras Restrepo. Hace unos días usted me comentó una anécdota sobre algo que le ocurrió con el presidente Lleras cuando él viajó a México y usted era el embajador colombiano en esa nación. ¿Cómo puede expresarse acerca de él en otros momentos de la vida de este ilustre colombiano?

Para mí, uno de los grandes hombres que ha tenido Colombia y América entera fue Carlos Lleras Restrepo. Siempre he dicho que si el diccionario quisiera hacer una buena definición de la palabra estadista, no tendría necesidad de explicar mucho; hablaría de un hombre como él. Me honra haber sido su amigo; haber sido funcionario de su Gobierno y haber recibido sus consejos. Esa anécdota a la que usted se refiere, es importante que se conozca. Estando como embajador en México recibí una visita suya. Iba como invitado a dictar unas conferencias y tuve la oportunidad de pasar largos ratos con él visitando gente que lo había conocido cuando estuvo exiliado allí. Le pregunté si le gustaría hablar con el presidente



El Gobernador de Cundinamarca, Ignacio Umaña De Brigard, rodeado de campesinos que se acercaron a saludarlo en la plaza de Junín. Pocos minutos antes había sido fervorosamente aclamado por una multitud compuesta por cerca de tres mil campesinos (1954).

De la Madrid; estuvo de acuerdo y le pedí una cita. Son muy estrictos los mexicanos en el tiempo que concede el Presidente en sus entrevistas. El Presidente me expresó que nos recibiría durante media hora. A las 11 de la mañana ya estábamos conversando con Miguel De la Madrid. Miraba yo un poco impaciente el reloj porque pasó la media hora y la conversación continuaba. Por casi dos horas el presidente De la Madrid consultó a Lleras Restrepo no solamente sobre la situación económica de Colombia sino de América y el mundo. Terminada la reunión, expresé mis disculpas al Presidente mexicano por el tiempo prolongado de la entrevista, a lo cual respondió: "No tiene usted de qué preocuparse; intencionalmente prolongué esta reunión y debo agradecerle el que me haya presentado a don Carlos. Me ha ofrecido tal clase de economía y dado una visión tan profunda de este tema sobre América y el mundo, que para mí ha significado una verdadera lección". Esta ocasión describe de cuerpo entero lo que era Carlos Lleras Restrepo.

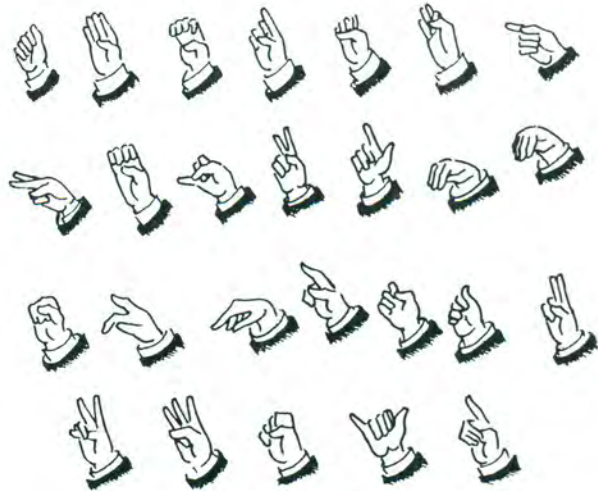
La mayoría de los institutos descentralizados y organismos para ordenar la vida del país fueron producto de las ideas fecundas del presidente Lleras Restrepo; ¿cuáles tienen estrecha relación con la ingeniería?

Para mencionar algunos, el presidente Carlos Lleras fue el creador del Fondo Vial, con impuesto o sobretasa especial a la gasolina, para financiar importantes proyectos de obras públicas. Siempre pensó que ese dinero nunca debía desviarse de su objetivo. La gran mayoría de institutos descentralizados fueron ideados por él para darle más actividad e importancia a la relación economía-ingeniería, factor determinante en el desarrollo del país.

¿Por qué aún no encontramos la fórmula para asegurar la continuidad de las buenas obras de un gobierno en Colombia?

Ésa es una de nuestras características y una de nuestras deficiencias. Todo el que llega considera que lo que hizo el anterior no sirve y vuelve a comenzar. Es una constante de los países en desarrollo.

EXISTEN MANERAS MAS FACILES PARA QUE SU EMPRESA SE HAGA ENTENDER EN INGLES.



Si, es un método valido, pero los ejecutivos de su empresa necesitan aprenderlo de una forma más productiva.

En CONINGLES tenemos el sistema y el método, para que el ingles de sus ejecutivos de resultados productivos para su empresa.

CENTROS DE INTERES

Las clases para sus ejecutivos son dirigidas y desarrolladas con la aplicación del idioma en la vida laboral.

TIEMPO

Sus ejecutivos determinan las horas para tomar las clases.

CONTROL

Usted tendrá un control de eficiencia y rendimiento de cada uno de sus ejecutivos.



Calle 71 No. 13-56 • Tels.: 2 357553 - 2 493159



¿Cómo ha integrado su amplia experiencia diplomática a los problemas del país?

Los conocimientos que otorga un cargo diplomático, son una experiencia que se aplica diariamente.

Su amplia trayectoria política le ha permitido dejar muchas experiencias al país; hablemos de una que recuerde especialmente.
Me llena de satisfacción la de mi primera gobernación de Cundinamarca; haber logrado pacificar la zona de La Palma y Yacopí, donde existía una extrema situación de violencia.

“Tenemos gente importante que puede liderar el país”.

¿Tiene Colombia un norte político? ¿Es optimista?

Soy optimista y hay que serlo. Creo en la gente de este país que está conformado por una gran clase media, a la cual todos pertenecemos. Esa clase media que tiene ganas de trabajar y salir adelante.

En muy pocos lugares de trabajo a los que uno llega por razones del oficio, un periodista encuentra la bandera nacional ubicada junto a una foto donde se encuentran cuatro grandes presidentes colombianos, como ocurre en su oficina. ¿Hace falta hacer más patria?

Amo a Colombia. Esa foto pertenece a una ceremonia que recuerdo con cariño; fue una condecoración que me dio el gobierno mexicano, “El Águila Azteca”, otorgada al completar mi labor como embajador.

¿Por qué se prolongó tan inusualmente su período como embajador?

Me nombró el doctor Turbay y el doctor Betancur me pidió que me quedara. El doctor Barco también me lo solicitó, pero ya era demasiado tiempo de estar alejado del país.

¿Cree que Colombia tiene nuevos líderes?

Sin duda, tenemos gente importante que puede liderar el país.

¿Cómo le parece a usted la idea de las directivas de la Escuela de abrir una facultad de economía?

Me parece una idea magnífica. Dentro del currículo de ingeniería, consideramos importante que los ingenieros tengan bases definitivas para su desarrollo profesional, y ese instituto o especialización nueva programada para el II semestre del 96 será un complemento indispensable para el mayor éxito de los profesionales egresados de la ECI.

Carlos Castro Saavedra decía que era posible hacer “una alianza entre las ecuaciones y los versos”.

¿Podemos hacer una alianza entre la ingeniería y los boleros que tanto le gustan?

Las ecuaciones son poesía pura. Todo buen ingeniero tiene que estar íntimamente vinculado a los boleros. La música es parte integral de la formación de un ingeniero, ¿no le parece? La evocación que traen los boleros me hace sentir joven.

Un bolero que le guste mucho, ¿cuál?

Muchos. Los boleros cantados por Manzanero y acompañados por su piano. Estando en México tuve la oportunidad de conocer al máximo intérprete del bolero, Pedro Vargas, y hacer amistad con él.



JORVAL CIA. LTDA.

Ingeniería Eléctrica Representaciones



GROUPE SCHNEIDER
Merlin Gerin Square D Telemecanique

Automatización industrial - Productos electrónicos de control y potencia - Subestaciones - Líneas Redes - Montajes industriales

Calle 72 No. 24-16/20 - Tels.: 231 84 20 - 264 09 32 - 240 67 79 - 630 00 49
Telefax: 225 87 20 - Santafé de Bogotá, D.C.



¿Sabe usted que don Pedro Vargas quería ser un tenor destacado para la ópera y la cambió por los boleros?

Sí. Y tal vez por eso lo llamaban muy cariñosamente "El tenor de las Américas". Aquí tenemos boleristas sensacionales, como el ingeniero Jaime R. Echavarría.

¿Por qué cree que la juventud está retomando los boleros? ¿Ninguna música tan evocadora y romántica para volver a escuchar?

La gran mayoría de los boleros son verdaderas poesías. Es poesía cantada, y poesía que se puede bailar, cosa muy importante.

¿Corre peligro de irse a bailar?
Eso, ¡siempre!

¿Qué opina de uno de los pocos desencuentros que han planteado Alvaro Mutis y García Márquez acerca de los boleros? El primero dice que prefiere siempre escuchar un lied de Brahms o de Schumann y que los boleros son feos y detestables. Gabo opina que su novela El amor en los tiempos del cólera quiso ser escrita como un gran bolero y que los boleros son divinos.

Pienso que la posición de Alvaro es un poco por llevarle la contraria a su gran amigo. Creo que en el fondo le gustan. Comparar la música clásica con los boleros es como comparar el caviar con las "papas chorriadas". Imposible.

¿Qué está leyendo ahora? ¿Qué prefiere leer?

Acabo de leer *El mundo de Sofía*. Se lo recomiendo. Me encanta también leer sobre sistemas, porque están en permanente transformación. Ahora quiero ahondar sobre todo en el tema de las redes. Estoy sorprendido con mis nietos de cinco y seis años manejando un computador.

¿Tal vez ser analfabeto en el siglo XXI será no saber manejar un computador?

Así es, y también no saber idiomas.

¿Por qué conserva aquí en su oficina tan bello retrato de Antonio Nariño? ¿Tiene que ver con la promulgación de los Derechos del Hombre?

Antonio Nariño ha sido uno de los más ilustres hombres de la patria.

Entonces el doctor Ignacio Umaña quita el retrato de la pared. Detrás ha conservado una tarjeta que lee como ilustración a mi pregunta:

"Decía de Nariño don Tomás Rueda Vargas, que Bolívar era la Independencia; Santander, la República, y Nariño, la Patria. Y agregaba Alberto Lleras: "Eliminemos a Bolívar y no habría habido Independencia. Eliminemos a Santander y, aun con independencia, no habríamos tenido República; Nariño ni aun en hipótesis puede eliminarse, porque es la Patria, antes de serlo, la intuición de la Patria, la profecía de la Patria" ↵

"Las ecuaciones son poesía pura. Todo buen ingeniero tiene que estar íntimamente vinculado a los boleros. La música es parte integral de la formación de un ingeniero".
