

REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE

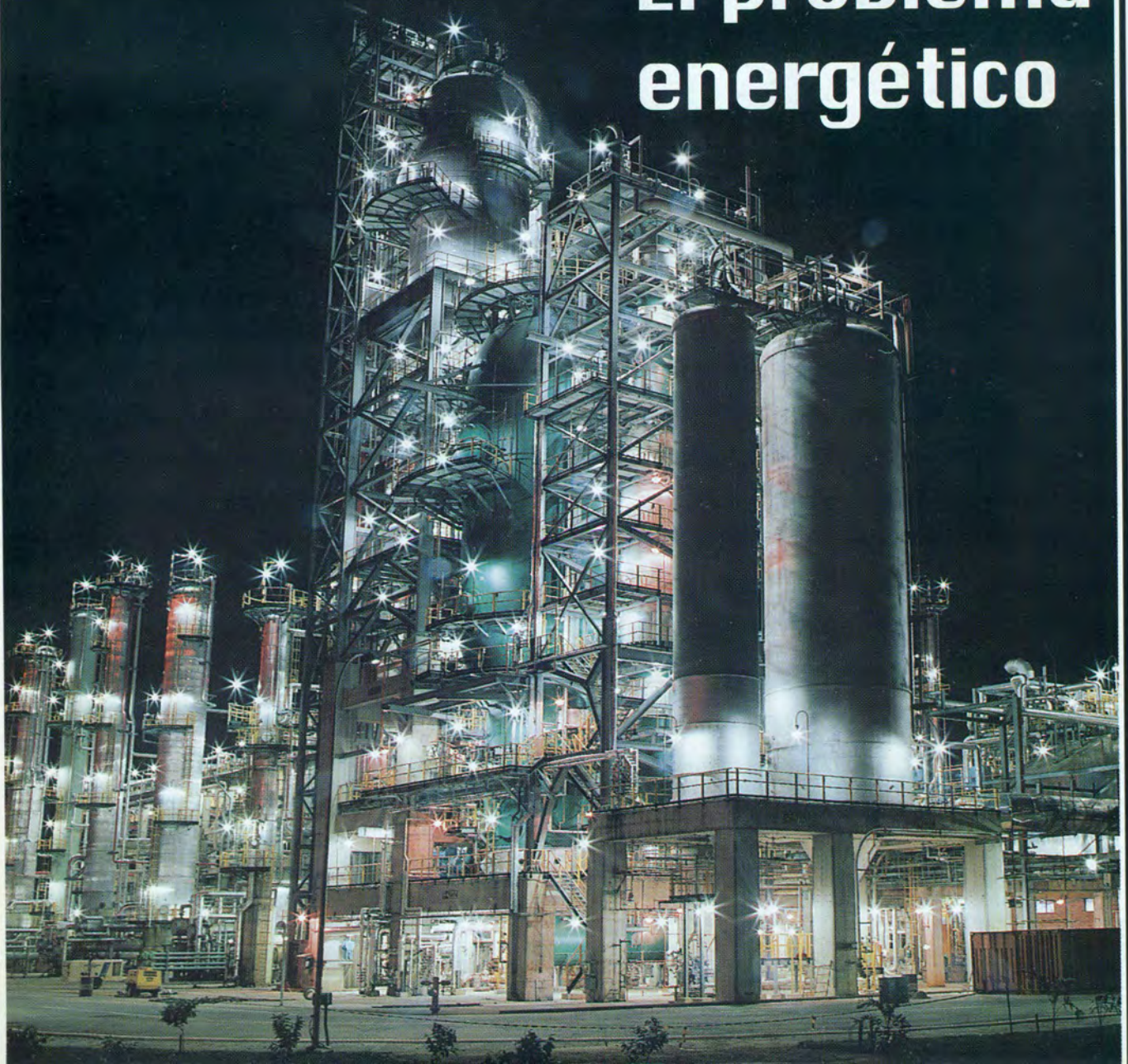
INGENIERIA

Año 6 N° 22

Abril - Junio de 1996

PERMISO DE TARIFA POSTAL REDUCIDA N° 1419 DE ADPOSTAL

El problema energético



La universidad y el problema energético

Ing. Roberto Ríos Martínez



in duda, uno de los retos más interesantes para la humanidad ha sido y será el abastecimiento seguro, confiable, continuo y económico de las diferentes formas de energía, que garantice su bienestar y su desarrollo permanentes.

A pesar de que tan sólo en los años setenta se comienza en Colombia a prestar atención a los asuntos energéticos, el país y los responsables del servicio enfocan sus trabajos en este campo contemplando sólo la utilización parcial de algunos recursos energéticos, por ejemplo, el uso del agua, del carbón y del gas para la generación de energía eléctrica, sin considerar un *tratamiento integral* de todos los recursos energéticos disponibles y de aspectos tales como planeamiento, tarifas, impacto ambiental y uso racional de la energía.

En los estudios energéticos, que generalmente tienen características de *multidisciplinarios*, deben participar especialistas de las siguientes áreas, entre otras: geología, geofísica, matemáticas, física, economía y ecología, y de ingeniería en las especialidades de eléctrica, petróleo, civil, mecánica, sistemas y ambiental.

Por otra parte, los análisis *integrales* del problema energético deben contemplar las diferentes fuentes de energía, tales como la hidráulica, la solar, la nuclear, la biomasa, los fósiles (carbón, petróleo, gas), las alternativas (eólica, geotérmica, del mar), y aspectos relacionados con la explotación, la transformación, el transporte, el planeamiento energético, el impacto ambiental, el uso racional de la energía, la demanda, el racionamiento, y lo relacionado con tarifas, subsidios, costos, pérdidas, administración y gerencia.

Teniendo en cuenta la importancia y carácter integral del problema energético del país, la Escuela Colombiana de Ingeniería, como parte de su estrategia para fortalecer los vínculos sector productivo-academia, dedicó uno de sus foros a este importante asunto.

En el presente ejemplar de esta revista los lectores encontrarán información significativa con respecto al problema energético del país presentada y discutida en el foro ↴

Crisis económica y crisis política

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.

Un ambiente político favorable es una condición necesaria para un buen manejo económico que inevitablemente afecta intereses. Los grupos están más dispuestos a aceptar los costos cuando los gobiernos tienen una imagen favorable y cuentan con un amplio apoyo ciudadano.

RELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES ECONÓMICAS Y POLÍTICAS

No siempre se hace explícita la forma como los aspectos políticos se manifiestan. En los países democráticos con cierta madurez las crisis políticas aparecen como fenómenos de corto y, a lo sumo, de mediano plazo. La más larga de los últimos 25 años en América del Sur se presentó durante la administración Allende en Chile y no pasó de dos años. En general, se puede esperar que no sean suficientemente largas como para alterar las variables estructurales, como son la productividad, la formación de la mano de obra, la tecnología, el acervo de capital y las expectativas de los empresarios. Incluso, en los países que experimentan guerras, luego de cinco años, estas variables recuperan sus tendencias históricas. Por exclusión de materia, los factores políticos

afectan la economía por conducto de las variables macroeconómicas de corto y mediano plazo.

La situación de crisis se presenta cuando los gobiernos enfrentan un estado de impopularidad, descontento e incredulidad que llevan a rechazar todas las decisiones económicas. Tal ha sido el caso de Venezuela que no ha logrado que la población acepte los mayores impuestos o Argentina que no ha conseguido una estructura salarial compatible con el conjunto de la economía. Algo similar se puede decir cuando existe una oposición política suficientemente fuerte para movilizar la opinión sobre cualquier decisión económica del gobierno. En estas condiciones, los gobiernos no pueden garantizar un manejo macroeconómico mínimo para mantener los balances macroeconómicos en equilibrio y los precios relativos en orden. Muchas veces se ven indefensos ante cuantiosos déficit fiscales, tasas de cambio artificiales y anarquía laboral que conducen a procesos hiperinflationarios y fugas de capitales que ter-

minan en el desorden económico. La crisis política se convierte en crisis de credibilidad económica.

Otro causal de perturbación es la incertidumbre. En algunas circunstancias las crisis políticas significan cambios ideológicos en la dirección del Estado y en las reglas del juego. Esto lleva a los agentes económicos a postergar las decisiones en espera de las definiciones o por temor al cambio. Sin embargo, este no es el caso actual de la economía colombiana. La solución presidencial no plantea un cambio fundamental en la orientación económica. La política comercial se halla comprometida en los acuerdos de integración y la orientación macroeconómica está en manos del Banco de la República. Las

mayores dudas se plantean con respecto a la política social, que ha creado grandes expectativas populares y tuvo serios contratiempos en el primer año, cuando se incumplieron tanto las metas de gasto social como de empleo. En cualquier caso, la viabilidad y eficacia de esta política dependerán de un gran acuerdo nacional en torno a las

reformas del Estado y a la política macroeconómica.

Es claro que las crisis políticas afectan la economía únicamente cuando la hacen ingobernable. En ese caso se afecta la capacidad de las autoridades económicas para definir



las reglas de juego y el marco de referencia. Es perfectamente posible que se entre en un estado de descontrol que termine desestabilizando el sistema económico. En cambio, cuando las perturbaciones políticas no afectan la gobernabilidad y la discrecionalidad sobre las grandes variables macroeconómicas los efectos son temporales y luego son dominados por las fuerzas económicas.

En un principio la crisis política apareció como un proceso interno y hasta el momento no ha alterado significativamente la estabilidad ni la gobernabilidad. Los factores de riesgo de la economía no mostrarán mayores variaciones y las decisiones oficiales no se han visto bloqueadas por razones políticas.

Lo anterior no ha sido adecuadamente entendido. No siempre se advierte que la crisis económica viene de tiempo atrás y que sólo se ha visto agravada desde la descertificación por los aspectos políticos. Así algunos analistas, sin mayor reflexión, han pasado a atribuir la crisis económica a la crisis política.

EL DETERIORO DE LA ECONOMÍA

El interrogante puede despejarse con un examen retrospectivo de los hechos que, como bien puede constatar el lector, fueron señalados en mi columna de *El Espectador* y en esta revista (véase "El Estado de la economía", Escuela Colombiana de Ingeniería, octubre-diciembre de 1995).

El deterioro se comenzó a sentir en los primeros meses de 1995 cuando se registró el desplome de los precios de la bolsa y el debilitamiento de las ventas de la construcción y el comercio. En el siguiente trimestre se

trasladó a la industria que experimentó una desaceleración en su tasa de crecimiento y al desempleo que aumentó en relación con los meses anteriores. Más tarde, en el segundo semestre el proceso se aceleró rápidamente hasta adquirir al final del año claros visos de recesión. Esta realidad se vio deformada por el estimativo de crecimiento de 5.3% divulgado por Planeación al final del año.

En una columna titulada "¿La economía crece en recesión?" (*El Espectador*, noviembre 26

de 1995) mostré que la cifra oficial no era compatible con los índices más comunes de actividad productiva. En lo corrido del año las ventas del comercio crecían 2%, los combustibles 2%, el consumo de energía industrial descendía y el empleo 1.8%. Estábamos así ante una economía cuya producción se incrementaba sin combustibles, energía y mano de obra y, lo más sorprendente, no vendía lo que producía. Por lo demás, la cifra del PIB estimada por el lado de la producción no guardaba ninguna consis-

tencia con la demanda agregada, que está representada en un 80% en el consumo y la inversión privada, y todos los indicadores coincidían en señalar que estas dos variables avanzaban por debajo de 3%. En realidad, en 1995 la economía no creció más de 3.5%.

La sobreestimación del producto interno bruto ha creado gran confusión. A principio del año el país encontró que la economía, luego de crecer a tasas superiores a 5%, registraba índices de actividad que revelaban incrementos inferiores al aumento de la población y en muchos casos negativos. Así, de acuerdo con la ANDI la industria creció 0.6% en los dos primeros meses, y según el DANE las ventas del comercio cayeron en enero 6% y el desempleo aumentó 2.6 puntos porcentuales en marzo. Basta, sin embargo, un rápido repaso para advertir que en el segundo semestre de 1995 se presentaron cifras similares, aunque menos acentuadas. En dicho período la producción industrial no creció y en varios meses registró caídas, las ventas del comercio bajaron y en diciembre el desempleo aumentó 1.7 puntos porcentuales. Esta es una clara evidencia de que el país no se encuentra ante un cataclismo que reventó de un momento a otro. Más bien, está pasando

La situación de crisis se presenta cuando los gobiernos enfrentan un estado de impopularidad, descontento e incredulidad que llevan a rechazar todas las decisiones económicas.



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

por un acelerado proceso recesivo que se ha venido gestando desde hace más de un año, es decir, antes del proceso ocho mil, y cada día adquiere formas más alarmantes.

LA DESCERTIFICACIÓN

La descertificación modifica las condiciones de 1995, adicionándole a la crisis política una dimensión externa con claras consecuencias económicas. Por ahora, significa la pérdida de créditos externos por cuantías no despreciables y la amenaza de la suspensión de las preferencias arancelarias. Si bien se trata de efectos de alcance limitado, no es menos cierto que el mayor daño no está tanto en las sanciones directas como en la imagen internacional del país. La determinación constituye un serio golpe a la credibilidad de la economía colombiana que llevará a los inversionistas y a los bancos a preferir otros lugares y a los nacionales a desplazar sus recursos al exterior.

Lo anterior es especialmente complejo en las condiciones actuales de la economía. El país está pasando por los insucesos de las aperturas que han sufrido la mayoría de los países de América Latina. El experimento provocó una entrada masiva de importaciones que se ha manifestado en un déficit en cuenta corriente de 5.7% del PIB con todos los visos de aumentar y en el debilitamiento de las actividades industriales y agrícolas de

alto valor agregado. Por lo demás, las acciones monetarias orientadas a detener el desequilibrio cambiario se han reflejado en elevadas tasas de interés que han acentuado el deterioro de los sectores productivos.

El sistema entró en una recesión al mejor estilo latinoamericano y en un aumento creciente del desempleo. Las autoridades monetarias están contra la pared, vendiendo divisas para sostener la banda cambiaria y propiciando tasas de interés de 50%. La modificación de estas condiciones puede llevar a una devaluación masiva y su mantenimiento a un agravamiento de la recesión y el desempleo.

La descertificación dificultará la obtención de los recursos para financiar el monumental déficit en cuenta corriente. Las autoridades monetarias se verán obligadas a vender más divisas y elevar las tasas de interés, lo que creará mayores dudas sobre la economía colombiana y acentuará la recesión. Existe el riesgo de entrar en un proceso perverso en el cual la caída de reservas ocasiona más descon-

fianza en la economía colombiana y ésta mayores caídas de reservas.

INGOBERNABILIDAD

El otro aspecto que confirma la ingobernabilidad es la renuncia del ministro de Hacienda que es un elemento clave del andamiaje del Estado. La suerte de este funcionario muchas ve-

ces va más allá de su voluntad e incluso de la del presidente. En este sentido, la salida de Perry no puede atribuirse a factores personales sino a las realidades políticas y económicas del país.

Hasta finales de marzo el ministro Perry sostenía que la economía evolucionaba en perfecto estado y crecería cerca de 5%. Más aún, desestimó la información de la ANDI sobre la base de que ella no reflejaba la realidad. Al parecer, el optimismo del ministro se desva-

neció con las cifras reveladas por el DANE a finales de abril. Tal como se mostró anteriormente, las cifras de la producción industrial, ventas de comercio, registros de construcción y desempleo son las peores de los últimos 20 años y dignas de las recesiones más profundas del continente.

Ante esta realidad, no podía desconocerse que el modelo económico había hecho crisis y que el país estaba entrando en las dificultades económicas de Venezuela, México y Argentina. También era evidente que el manejo de esa situación requiere medidas drásticas que implican serios conflictos con el Banco de la República, los organismos internacionales y el mismo gobierno. A menos que Perry estuviera dispuesto a dar estas batallas dentro de la pérdida de credibilidad y gobernabilidad de la actual administración, cada día que perma-

La solución presidencial no plantea un cambio fundamental en la orientación económica. La política comercial se halla comprometida en los acuerdos de integración y la orientación macroeconómica está en manos del Banco de la República.

JOSE DARIO HERNANDEZ Y ASOCIADOS Ltda.

ingenieros - arquitectos

**CONSTRUCCION
E INTERVENTORIA**

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

neciera en el ministerio significaba un mayor deterioro de la actividad productiva y un mayor desgaste. Tal como lo afirma en la carta de renuncia, su contribución puede ser más eficaz fuera que dentro de la administración.

El discurso presidencial del primero de mayo deja en claro la debilidad del gobierno para enfrentar la crisis económica. El programa de reactivación esbozado no guarda relación con la gravedad del diagnóstico. Los esfuerzos están orientados a ampliar el gasto público, restringir el contrabando y estimular la construcción de vivienda subsidiada. En la práctica se trata de paliativos que no tocan el modelo económico ni la política del Banco de la República, que es donde se encuentran las raíces de la dolencia.

COMENTARIO FINAL

Sin duda, el error económico del actual gobierno no ha sido por acción sino por omisión. A principios de 1995 existían claras evidencias de que el modelo económico había pro-

picado serios daños estructurales a la economía que se reflejaban en el cuantioso déficit en cuenta corriente, la caída del ahorro y el deterioro de la industria y de la agricultura. Por lo demás, varios de los países de América Latina que iniciaron con anterioridad la implantación del mismo modelo se precipitaban en serias crisis cambiarias o de desempleo. Infortunadamente, no se hizo nada o muy poco para subsanar las fallas estructurales. La preocupación ha girado en torno a la política monetaria que no sólo no está en capacidad de corregirlas sino que, por el contrario, las ha agravado.

En la actualidad, el tipo de cambio está pegado al techo de la banda, las tasas de interés llegan al 50%, la inflación tiende a recrudecerse y la actividad productiva se encuentra en recesión. Estas condiciones, que son el resultado de los errores de la apertura y la política monetaria, se verán agravadas por la pérdida de credibilidad ocasionada por la descertificación. No nos podemos llamar a engaño. La econo-

mía enfrenta serias dificultades que sólo podrán superarse satisfactoriamente en la medida en que se reconozcan y se actúe con anticipación.

En síntesis, la crisis política se ha convertido en un factor de agravamiento, o si se quiere, en un acelerador del deterioro económico. No hay duda de que la campaña liberal recibió recursos del narcotráfico. Así mismo, la descertificación significó una pérdida de credibilidad en la economía colombiana que dificulta la obtención de recursos externos y ha generado un ambiente de expectativas negativas. Tal vez lo más grave es que en los últimos meses el gobierno experimenta una pérdida de credibilidad y gobernabilidad que no le suministran las bases para adoptar los ajustes que permitan detener el deterioro de la economía y en general del orden público. Dentro de este contexto, la prolongación de la crisis política contribuiría a agravar las tendencias de la economía. Lo que no cabe esperar es que su solución presidencial, cualquiera que sea, resuelva los problemas de las altas tasas de interés, de la caída del ahorro, del monumental déficit en cuenta corriente y del deterioro del sector productivo que han sumido el sistema en la recesión y el desempleo.

A la luz de estos planteamientos, no es difícil concretar el diagnóstico. La crisis política no es la causa de la crisis económica sino su agravante. Si se deja que los episodios políticos obnubilen y deformen la realidad económica y no se actúa en la raíz de los males, el país se encontrará ante grandes sorpresas. Entre ellas, la economía puede terminar en un estado de estancamiento e inestabilidad de difícil retorno.

Cuando las perturbaciones políticas no afectan la gobernabilidad y la discrecionalidad sobre las grandes variables macroeconómicas, los efectos son temporales y luego son dominados por las fuerzas económicas.



Ferretería

PEGASO'S 170 LTDA

CEMENTO
GRAVILLA
ARENA
BLOQUE
HIERRO

FERRETERIA EN GENERAL

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

Reflexiones y sugerencias sobre liderazgo

Dr. Enrique Rugeles

Doctor Honoris Causa en Administración de Empresas (EAN); Alta Gerencia Blaricum School-Holanda, Universidad de los Andes; Programa para ejecutivos senior, Universidad Indiana Inalde, Universidad de la Sabana; Programa Presidente de Empresas, Universidad de los Andes; ha sido miembro de Junta Directiva, Gerente y Asesor Empresarial de importantes compañías nacionales.

UN COLEGA EN NUEVA YORK VE A LOS LÍDERES ASÍ.

ESE FUE MI PRIMER ENTENDIMIENTO

- **Liderazgo es acción, no posición.**
- **¿Por qué algunos líderes son más exitosos que otros?**
- **¿Hay patrones comunes que caracterizan a los líderes exitosos?**
- **¿Cuáles son los patrones que los hacen menos exitosos, menos efectivos?**

Como muchos, he tenido gran interés en entender por qué algunos líderes son más exitosos que otros. A lo largo de los años he observado que los líderes más exitosos parecen hacer cosas y trabajar con la gente de manera similar. Decidido a identificar estos patrones comunes, me he enfocado en un grupo de filosofías comunes y atributos que la mayoría de los líderes exitosos parecen poseer. Pero antes de discutir estos atributos, consideremos algunas definiciones de líder. Un líder:

- Es el principal jugador del equipo, es el "aglutinador" que mantiene el equipo unido.
- Inspira y guía el equipo hacia una meta común.
- Demuestra integridad.
- Es una fuente continua de energía.
- Alienta y fomenta el comportamiento deseado de los otros.
- Es responsable.
- Logra resultados.
- Es un ejemplo para los demás.

De ninguna manera lo anterior es una lista exhaustiva de cómo es un líder. Sin embargo, es suficientemente apropiada para entender la importancia de las cualidades esenciales para desarrollar, cuidar y fomentar una organización exitosa. Es un hecho que con independencia de las habilidades

y del talento de las personas que conforman una organización, si carece de un líder efectivo, el potencial de la organización se ve considerablemente reducido.

Es posible que usted quiera preguntarse si su líder de proyecto o su gerente o el gerente de su gerente poseen estos atributos; pero es más importante que usted se evalúe con base en cada uno de estos atributos. Ahora sí veamos los atributos:



CONCEBIR Y ENUNCIAR UNA VISIÓN

En su carácter de líder es importante concebir y enunciar apropiadamente una visión, algo que usted puede compartir con su equipo o sea una imagen con la cual todos los integrantes del equipo puedan identificarse y comprometerse. Si esto se cumple, su visión se traducirá en un propósito para el equipo.

El tener un propósito genera un efecto poderoso que ayuda a que la

misión se cumpla positivamente. No sólo se canalizan las energías del grupo hacia una meta única, sino se asegura que las prioridades y compromisos derivados del proyecto, apoyarán completamente la visión.

Tenga en cuenta que para definir una misión usted debe tener claramente definido dónde está, y a dónde quiere llegar. Esto es esencial para liderar a otros hasta su destino. Solamente en esas condiciones puede estar seguro que la jornada será exitosa, etapa por etapa. Los grandes logros sólo son posibles a través de grandes visiones.

NO TEMA EQUIVOCARSE. TAMPOCO LE TEMA A ADMITIR EL ÉXITO

La vida está llena de paradojas. La persona que supera fracasos es la per-

sona que probablemente será exitosa. Cada fracaso ofrece una lección, y de cada lección surge una fortaleza. El

Los grandes logros sólo son posibles a través de grandes visiones.

miedo hace perpetuar los fracasos. Aquellos que tienen miedo no son líderes; ellos se satisfacen siendo complacientes, buscan seguridad para mantener el *statu quo* sin importar lo que ellos son.

Ahora observa aquellas personas cuyos fracasos parecen ser visibles, pero

que son capaces de levantarse y prepararse para el siguiente reto. Si fracasar significa crecimiento y oportunidades de aprender, no debemos temer al fracaso. Usted fallará una y otra vez, pero entienda que las fallas verdaderas son sólo aquellas experiencias de las cuales usted no aprende cosa alguna.

Ahora hablemos del éxito: en nuestra cultura se cree que el éxito es algo permanente y que cada vez que se obtiene, permite expresarse con optimismo y ofrece felicidad inmediata. El éxito es algo que acompaña normalmente a las personas que cumplen objetivos. El éxito es algo que usted imprime a cada cosa que hace.

APRENDA A MANEJAR Y ACEPTAR LAS CRÍTICAS

Nosotros podemos evitar las críticas no hablando, no haciendo cosa alguna y siendo nadie.

Si usted acepta las críticas, rara vez estará desilusionado cuando las recibe. Comprenda que hay dos tipos de críticas: unas constructivas y otras destructivas.

La crítica constructiva bien intencionada le ayuda a reflexionar. Quienes lo critican están ayudándole; así aprenderá de sí mismo y sabrá el impacto que genera como resultado de sus acciones. La crítica puede ayudarle

a seleccionar opciones y a crecer en la dirección de sus objetivos.

La crítica destructiva que recibe puede ser maliciosamente presentada y puede que no le enseñe algo, pero también puede ser un intento infortunado de alguien que le proporciona información útil aunque no sepa cómo comunicarse. Muchas de las críticas nos llegan a través de las personas torpes. No importa que algunas personas desaprobemos nuestras acciones. Recuerde que la gente que critica, solamente está expresando su propia opinión. Si se inmoviliza con la crítica permite que los demás lo controlen. Estaría demostrando que le importa más lo que los demás piensan, que lo que usted piensa de sí mismo. Cuando analiza una crítica, si no puede aprender nada de la misma, olvídela y siga adelante.

ASUMA RIESGOS

Las grandes hazañas normalmente se forjan corriendo grandes riesgos.

Riesgo es algo más que una palabra de seis letras. La capacidad de asumir riesgos cambió una percepción de que el mundo era plano, le dio a la humanidad alas para volar y le dio a la gente la oportunidad de entender sus propias capacidades. Si usted quiere lograr algo extraordinario tendrá que tomar riesgos. Los riesgos pueden ser en pequeña escala, como

cuando usted decide tomar un atajo para llegar más temprano a casa o cuando usted disiente y decide sustentar su desacuerdo. Si usted practica tomar pequeños riesgos, estará mejor preparado para correr riesgos mayores. Si usted perpetúa tal costumbre, reconocerá que su nivel de energía y entusiasmo crecerán en proporción al riesgo que

Si fracasar significa crecimiento y oportunidades de aprender, no debemos temer al fracaso.

asume. Es frecuente que las personas disfruten más las tareas riesgosas, las cuales recordarán más y contribuirán mejor a la construcción de su carrera.

Proyectistas Civiles Asociados Ltda.

Diseño

PCA PCA
PCA PCA
PCA PCA
PCA PCA
PCA PCA
PCA PCA
PCA PCA
PCA PCA

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

DELEGUE

Nadie logrará ser un líder que puede hacerlo todo por sí mismo y llevarse todo el crédito.

Pocos son los líderes que no delegan. Ellos piensan que pueden hacer el trabajo mejor y más rápidamente, y temen darles a los demás el trabajo. Para otros, es el temor de perder una oportunidad de reconocimiento. Cuando un líder no delega para enfocar toda su atención y reconocimiento en él mismo puede volverse en su contra.

Si usted apreció las oportunidades que otros le dieron para aprender, déles a los demás las mismas oportunidades. Todos ganarán.

TOME DECISIONES

Una vez el "qué" ha sido decidido, viene el "cómo". No debemos tomar el "cómo" sin aceptar el "qué".

La organización reaccionará a sus acciones. Cuando usted se demora en tomar decisiones también está postergando acciones (procrastinando). Demorando la toma de decisiones, no se maneja eficientemente la organización. Esta demora puede llegar al punto en que el progreso de la organización se vea afectado severamente. El resultado es una inactividad que se propaga en la organización y que solamente el líder puede corregir. Los únicos que no toman decisiones equi-

vocadas son aquellos que no toman decisiones.

Sin embargo, si usted espera hasta estar seguro de que no hay riesgo alguno, perderá competitividad.

SEA PERSISTENTE

Grandes trabajos son realizados no gracias a la fuerza, sino a la persistencia.

Perseverancia: característica universal de un líder exitoso. Este atributo puede impulsar a una persona común a lograr proezas no comunes. Por ejemplo: la perseverancia lleva a un químico a hacer 20.000 mezclas antes de obtener el producto final, a un atleta a lograr la victoria en las olimpiadas, a un artista a crear una obra de arte, a un biólogo a localizar el gene que causa la invalidez.

Las capacidades físicas e intelectuales varían en la gente. Sin embargo, es estimulante saber que todos tenemos habilidades innatas para ejercitar la persistencia y determinación para lograr lo que queremos.

Ser persistente puede hacer la diferencia entre soñar y hacer realidad los sueños. Actúe como si fuera imposible fallar. Usted puede lograr casi cualquier cosa que se proponga, si usted es persistente.



manera que pierda el control sobre su propia felicidad.

En cualquier caso, si mantiene un buen nivel de alegría y sentido del humor sus logros pueden mejorar considerablemente. La definición de felicidad varía entre los seres huma-

nos. Algunos filósofos hablan sólo de momentos de felicidad, o de una manera de transitar por la vida. Lo importante es que tenga tranquilidad consigo mismo y capacidad para sentirse bien a pesar de las circunstancias.

El éxito es algo que usted imprime a cada cosa que hace.

SEA SERIO ACERCA DEL HUMOR

En medio de la tensión que se genera en muchas reuniones, el humor puede ser el remedio que distensiona.

Con mucha frecuencia tomamos las cosas muy seriamente. Fallamos en relajarnos y en encontrar el humor en nosotros mismos y en nuestras situaciones. Qué terrible frustración para una organización el no poder expresar el lado positivo de los problemas que se enfrentan diariamente. Como líder apoye una pequeña dosis de humor en la organización. Mostrar sentido del humor ayuda a mantenerse tranquilo cuando se está bajo

SEA FELIZ

La felicidad es difícil de definir e imposible de medir. Puede concebirse como el desarrollo pleno del potencial humano. Sea feliz, siéntase bien consigo mismo. No se esfuerce por ser feliz. SEA feliz.

Usted tiene todo lo que necesita para sentirse bien. No sólo necesita un ascenso, un premio, un carro nuevo, unas vacaciones, pensionarse o cualquier otra cosa para ser feliz. La felicidad es una actitud de auto-realización. No debe permitir que fuerzas externas lo controlen de tal



presión y permite enfrentar los problemas con cabeza fría.

Precaución: no sea sarcástico. Mientras que algunos pueden pensar que su comentario es divertido, puede dejarse, también, un sentimiento de incomodidad en otros. El sarcasmo puede herir la confianza que otros han depositado en usted. La gente aprecia humor benevolente y no humor sarcástico. Si usted tiene dificultad para evitarlos, al menos demuestre aprecio por los demás. El humor es útil no solamente para mantener la salud de la gente, sino también para contribuir a la salud de la organización.

DEJE SU EGO ATRÁS

Todos tenemos ego. Para algunos el ego puede causar parálisis, frenando su búsqueda de crecimiento y oportunidad. Aquí hay una paradoja: casi siempre la persona que busca atención es la que menos atención recibe. Un ego abundante no ayuda a ganar reconocimiento ni admiración. En cambio, tiene un efecto repulsivo.

Un super ego origina una conducta arrogante que hace su trabajo más difícil de lo que en realidad es. Todos hemos escuchado comentarios como el siguiente: "Se le subió el puesto", "Ahora se cree Dios". Como consecuencia ahuyenta a los seguidores y, generalmente, comienza a imponer la propia autoridad, es decir, la persona empieza a trabajar en su contra, a cambiar su estilo y a caerse de su pedestal.

PIENSE ANTES DE ACTUAR. NO CRITIQUE APRESURADAMENTE

Resista la tentación de criticar apresuradamente. Cuando sospeche que un trabajo es pobre haga preguntas y

escuche las respuestas. Aprenda a escuchar. Dales a los demás la oportunidad de explicar el qué y el porqué. Asegúrese de entender el problema y las circunstancias. Ataque las razones, no a las personas. Ayude a que la persona se beneficie de esta experiencia. Coopere con el aprendizaje y el crecimiento de la gente que lo rodea. Cuando es necesario llamar la atención, hay que hacerlo en privado.

Como líder, usted debe creer en su habilidad para dirigir el trabajo y debe lograr los resultados deseados manteniendo un balance apropiado entre energía y talento.

EL COMPROMISO DEL LÍDER

Comprométase únicamente con aquello que sea alcanzable. Si el compromiso suyo es débil, igual serán los compromisos que dependan de usted. Haga lo que dice que va a hacer. No amenace, establezca una disciplina para que los compromisos se cumplan oportunamente en su organización. Es muy peligroso manejar mayores responsabilidades o darle más libertad para actuar, si no tiene una disciplina que lo lleve siempre a cumplir los compromisos con los cuales se ha comprometido.

ENTRENE A SU EQUIPO. SEA MODELO

Trabaje continuamente para construir una organización más fuerte de la que había el mes pasado. Cuando se enfrente a un problema supérelo y luego enfoque sus esfuerzos a corregir la causa del problema. El verdadero líder es quien guía con el ejemplo. Practique lo que usted espera de otros. Demuestre preocupación y so-

La crítica constructiva bien intencionada le ayuda a reflexionar.

porte hacia los demás. Invierta en desarrollo de habilidades y actitudes. Siga invirtiendo. Durante la vida laboral un trabajador debe ser reentrenado de ocho a diez veces. Una parte importante del entrenamiento se logra asignándole al personal responsabilidades y retos más allá de los propios de su cargo. Como líder debe ser modelo, todos estarán evaluándolo permanentemente en su comportamiento.

MANTENGA UNA ACTITUD GANADORA

La calidad del trabajo se afecta tanto por las habilidades como por las actitudes.

Actitud es la disposición, manera o acercamiento a las cosas. Una de las características más admiradas que puede tener es una buena actitud o una actitud positiva. Una actitud positiva puede traer placer a la realización de un trabajo tedioso o difícil; puede hacer parecer el día más corto e inclusive mejorar la productividad y calidad del trabajo realizado. La gente que constantemente mantiene una actitud positiva tiende a tener más energía positiva. Estas personas se apoyan en lo positivo y obtienen los resultados que se proponen.

En muchos casos la actitud es más importante que la experiencia. Todos sabemos que las personas pesimistas encuentran mucha dificultad para detectar las oportunidades.

Como líder, debería preferir gente con actitud positiva que busque opciones y cree soluciones.

Para lograr que una actitud positiva se propague en su equipo debe demostrar y fomentar esta característica.



Comprenda que su actitud es contagiosa. Adopte una actitud ganadora en las tareas con las que se compromete, con ello animará al personal en las tareas que ellos deben realizar.

CREA EN SÍ MISMO

Usted es lo que ha querido ser. La visión de sí mismo se convierte en su realidad. Como líder, usted debe creer en su habilidad para dirigir el trabajo y debe lograr los resultados deseados manteniendo un balance apropiado entre energía y talento. Fíjese más en los resultados que en los esfuerzos y actitudes subjetivas.

Si no cree en sí mismo, por favor cambie de actividad.

RESUMEN

Quien se realiza como ser humano se aproxima a la felicidad. Algunos escritores comentan que una cosa es estar vivo y otra vivir, dicen que la felicidad no es un sitio al cual uno llega, sino una manera de viajar. Los líderes son responsables

de abrir otros horizontes y mostrar aspectos de la vida que generen realizaciones. La visión del líder siempre es a largo plazo y siempre debe mostrarle a la gente, sus seguidores, mejores perspectivas.

Contrario a la creencia común, creo que todos tenemos capacidades de ser líderes exitosos. Todos. En este mundo hay espacio para millones de líderes. Póngase al frente

del timón y convierta sus sueños en realidad. El ingrediente más importante en el liderazgo es su decisión de ser líder.

“Si uno avanza confiadamente en la dirección de sus sueños y se esfuerza para vivir la vida que se ha imaginado, se encontrará con un éxito inesperado en pocas horas”.

(Henry David Thoreau)



Ingeniería y Aplicaciones Especializadas

Autopista Norte N° 169-25 Of. 203
Santafé de Bogotá
Tel: 670-8729
Fax: 615-3059
Bp. 630-3111 Cod. 10765

- IMPERMEABILIZACIÓN
- CINTAS P.V.C.
- BLUESTOP
- JUNTAS DE POLIURETANO
- ADITIVOS PARA CONCRETO
- JUNTAS EPOXICAS
- MEMBRANAS IMPERMEABILIZANTES
- PISOS
- ENDURECEDORES

Ensayo rápido de DBO

Ing. Lucy E. González M.* e Ing. Jairo A. Romero Rojas**

*Ingeniero Civil, M Sc. Ingeniería Ambiental

**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

Uno de los indicadores más importantes en el diseño y operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales es la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). La DBO se define como la medida de la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para la oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua bajo condiciones aerobias. En condiciones estándar el ensayo se realiza a 20 °C y 5 días de incubación.

El ensayo de DBO es un bioensayo cuyas reacciones son el resultado de la actividad biológica, la cual depende en gran proporción de la temperatura. Incrementando la temperatura a un valor óptimo de actividad biológica se puede disminuir el tiempo de incubación y obtener así resultados más rápidos, con mayor economía de recursos. En muchos casos, esperar cinco días para un resultado de la DBO es demasiado y, consecuentemente, es útil desarrollar y evaluar la aplicabilidad del bioensayo realizado en un período más corto.

Los resultados de DBO se utilizan principalmente para:

- Determinar la concentración de materiales orgánicos biodegradables de las aguas residuales.
- Determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requiere

para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.

- Determinar el tamaño de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales.
- Medir la eficiencia de algunos procesos de tratamiento.
- Valorar la carga poluidora sobre ríos y fuentes receptoras de residuos orgánicos, así como su capacidad de autopurificación.

La utilidad de una prueba de DBO a corto plazo es evidente. Resultados rápidos de DBO permitirían una operación mejor de las plantas de tratamiento en donde esta prueba se usa para control. Podrían efectuarse muchas más pruebas de DBO en un tiempo dado, permitiendo una mayor flexibilidad en la operación. Un margen de 1 ó 2 días, en la obtención de

los resultados de DBO, podría posiblemente prevenir la polución de una corriente, en los casos de descarga de aguas residuales sobre ella.

El proyecto, base de este artículo, evalúa una metodología más rápida para determinar la demanda bioquímica de oxígeno, en dos días o dos y medio días a una temperatura de 35 °C, en vez de cinco días y 20 °C del ensayo estándar⁽⁶⁾.

FUNDAMENTOS

Los estudios de cinética de DBO establecen, generalmente, que la reacción de DBO es una reacción de primer orden; es decir, que la tasa de reacción es proporcional a la cantidad de materia orgánica oxidable remanente en cualquier instante. Si se supone que la tasa de reacción está controlada por la cantidad de alimento disponible para los microorganismos se puede establecer que:

$$\frac{dL_t}{dt} = -KL_t \quad (1)$$



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

Donde, L_t = Demanda carbonácea de oxígeno remanente para un tiempo t (mg/L)
 t = Tiempo (d)
 K = Constante de reacción base natural (d^{-1})

La expresión anterior representa la tasa a la cual se oxida la materia orgánica o la velocidad a la cual se usa oxígeno para estabilizar el residuo. Por lo tanto,

$$\frac{L_t}{L} = e^{-kt} = 10^{-kt} \quad (2)$$

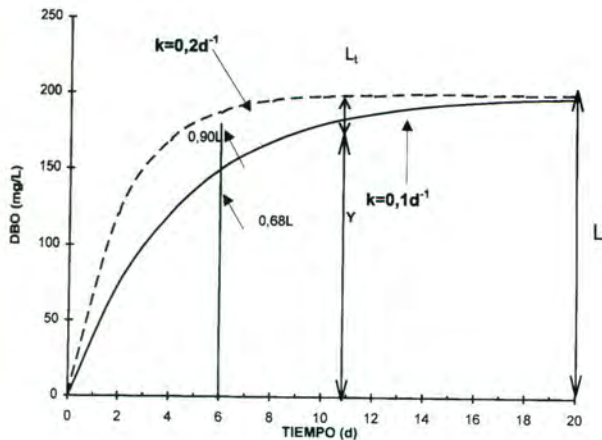
Donde, L_t = DBO remanente al tiempo t , mg/L
 L = DBO última o DBO remanente para $t=0$, mg/L
 t = Tiempo de incubación transcurrido, d.
 $K = 2,303 k, d^{-1}$
 k = Constante de reacción, base decimal, d^{-1}

Esta última expresión indica que la fracción de DBO remanente es función de la constante de reacción K y del tiempo de incubación.

En términos de DBO satisfecha:

$$Y = L - L_t \quad (3)$$

La importancia del valor de la constante de reacción K puede visualizarse si se tiene en cuenta que para un tiempo de reacción de cinco días y $K=0,23 d^{-1}$, $k=0,1 d^{-1}$, el porcentaje de DBO ejercido es del 68%, mientras que si $K=0,46 d^{-1}$, $k=0,20 d^{-1}$, el porcentaje de DBO ejercido es del 90%, como puede observarse en la gráfica No.1.



Gráfica 1. Efecto del valor de k sobre la DBO.

Por lo tanto, el incremento en el valor de K permite remover más rápidamente materia orgánica y consecuentemente reducir el período de tratamiento. De ahí la importancia de conocer el valor correcto de K .

La tasa de reacción biológica de DBO aumenta con la temperatura hasta un valor óptimo que se ha considerado es de $35^\circ C^{(5)}$. Por encima de dicho valor es probable que la tasa disminuya debido a la destrucción de las enzimas por las altas temperaturas.

El cambio en la constante, en función de la temperatura, se expresa matemáticamente por la ecuación de Arrhenius:

$$K_T = K_{20} \theta^{T-20} \quad (4)$$

Donde,

K_T = Constante a la temperatura T, d^{-1}
 K_{20} = Constante a la temperatura $20^\circ C$.
 T = Temperatura, $^\circ C$.
 $\theta = 1,135$ para $4^\circ C < T < 20^\circ C^{(7)}$
 $\theta = 1,056$ para $20^\circ C < T < 30^\circ C^{(7)}$
 $\theta = 1,047$ para $T > 20^\circ C^{(7)}$

Lo anterior permite afirmar que:

$$K_{35^\circ C} = K_{20^\circ C} (1,047)^{15} \quad (5)$$

$$K_{35^\circ C} = 2K_{20^\circ C} \quad (6)$$

Consecuentemente:

$$DBO_5^{20} = L(1 - 10^{-5k_{20}}) \quad (7)$$

$$DBO_t^{35} = L(1 - 10^{-tk_{35}}) \quad (8)$$

De las tres últimas ecuaciones se obtiene que para $t = 2,5 d.$, la DBO a $35^\circ C$ es igual a la DBO estándar, o sea:

$$DBO_5^{20} = DBO_{2,5}^{35} \quad (9)$$

Sin embargo, estudios realizados por Chaudhuri y otros⁽⁵⁾ indican que la correlación se optimiza para $t=2$ días.

METODOLOGÍA Y EXPERIMENTACIÓN

Se realizaron ensayos de Demanda Bioquímica de Oxígeno a 2; 2,5 y 5 días a $20^\circ C$ y $35^\circ C$, utilizando la metodología recomendada por el Standard Methods⁽¹⁾.

En la etapa experimental se ejecutaron diez ensayos de DBO a los cinco días y $20^\circ C$; diez ensayos de DBO a los 2,5 días y $35^\circ C$ y diez ensayos de DBO a los dos días y $35^\circ C$, sobre muestras sintéticas preparadas con una concentración de $150 mg/L$ de glucosa y $150 mg/L$ de ácido glutámico, con DBO conocida de $198 \pm 30,5 mg/L^{(1)}$ ó $199,4 \pm 37 mg/L^{(2)}$.

Posteriormente, se llevaron a cabo, de manera sucesiva, etapas de trabajo de campo y pruebas de laboratorio. Como trabajo de campo, se tomaron 10 muestras de agua residual del alcantarillado de Chía o afluente a la planta de tratamiento municipal. En el laboratorio se ejecutaron diez ensayos de DBO a los cinco días y 20 °C; diez ensayos de DBO a los dos días y 35 °C y diez ensayos de DBO a los 2,5 días y 35 °C.

Para finalizar la experimentación se realizaron ensayos para elaborar dos curvas de Demanda Bioquímica de Oxígeno a 10 días, una a 20 °C y la otra a 35 °C para el agua residual de Chía. Las curvas anteriores se efectuaron con el propósito de calcular las constantes de degradación del agua residual a las dos temperaturas.

Para los ensayos con el agua sintética, se utilizó como siembra un lodo activado sintético, preparado en el laboratorio con seis cepas bacteriales, con el fin de garantizar siempre la misma población.

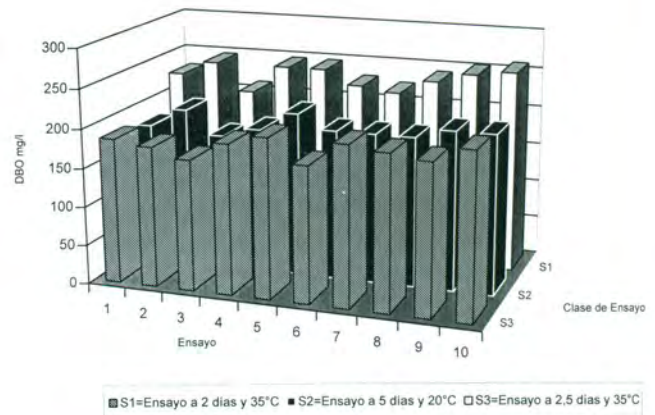
RESULTADOS

Agua Sintética

En la Tabla No. 1 y en la gráfica No. 2 se presentan los resultados de los ensayos de DBO, a las temperaturas de 20 °C y 35 °C; a 2 - 2,5 y 5 días; obtenidos de los análisis de las muestras sintéticas con 150 mg/L de glucosa y 150 mg/L de ácido glutámico, para la cual se adopta el valor estándar de DBO a 5 días y 20 °C igual a 198 ± 30,5 mg/L⁽¹⁾.

Tabla 1. Resultados de DBO de las muestras de agua sintética

PARAMETRO	DBO ₅ ²⁰	DBO ₂ ³⁵	DBO _{2,5} ³⁵
Ensayo No. 1	180	186	228
Ensayo No. 2	204	180	246
Ensayo No. 3	174	168	210
Ensayo No. 4	186	192	246
Ensayo No. 5	210	204	246
Ensayo No. 6	192	174	228
Ensayo No. 7	192	204	222
Ensayo No. 8	192	198	240
Ensayo No. 9	204	192	252
Ensayo No. 10	204	210	258
No. Ensayos	10	10	10
Promedio Muestra mg/L	194	191	238
Desviación Estándar Muestra mg/L	12	14	15
Valor Mínimo, mg/L	174	168	210
Valor Máximo, mg/L	210	210	210
Error Estándar Promedio, mg/L	3,8	4,4	4,7
Error Rel. Promedio, %	2	2,3	1,9
Varianza	136	190	216
Int. de Confianza del 95% para 9 GL	194 9	191 ± 10	238 11
t=2,262	185 < DBO	181 < DBO	227 < DBO
	< 203	< 201	< 249



Gráfica 2. Resultados de DBO, agua sintética.

Utilizando como criterio de validación de los métodos la desviación estándar, S, y las normas del Standard Methods^(1,2), el valor promedio de la DBO del agua sintética debe encontrarse dentro de los límites siguientes:

$$DBO - 3S < \overline{DBO} < DBO + 3S \quad (10)$$

Por lo tanto:

$$107 < \overline{DBO} < 290 \text{ mg/L} \quad (11)$$

Lo anterior permite afirmar que los métodos sustitutos evaluados, DBO₂³⁵ y DBO_{2,5}³⁵ son válidos para hallar la DBO. (Ver tabla No.1).

Refinando el criterio del Standard Methods, utilizando 2S en lugar de 3S, se tiene:

$$DBO - 2S < \overline{DBO} < DBO + 2S \quad (12)$$

$$137 < \overline{DBO} < 259 \text{ mg/L} \quad (13)$$

Con esta refinación del criterio, los dos métodos sustitutos para hallar la DBO, a 2 y 2,5 días y 35 °C, siguen siendo válidos. (Ver tabla No. 1)

Restringiendo aún más el criterio, con 1S en vez de 3S, se tiene:

$$DBO - S < \overline{DBO} < DBO + S \quad (14)$$

$$168 < \overline{DBO} < 229 \text{ mg/L} \quad (15)$$

En este caso, el criterio sólo lo satisface el ensayo de DBO₂³⁵, como se ve en la tabla No.1.

Lo anterior permite concluir que, dentro del criterio del Standard Methods, los procedimientos para hallar la DBO a 35 °C, tanto a 2 días como a 2,5 días son válidos. Sin embargo, el refinamiento del criterio indica que el método más aconsejable, para el agua sintética, es el de dos días a 35 °C.

Ahora bien, aplicando el Criterio de la Prueba t de Student⁽⁶⁾, para un nivel de confianza del 95% y 9 grados de libertad, el intervalo de confianza se define por la expresión:

$$\mu = \overline{DBO} \pm t_{0,025} \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (16)$$

Donde,

$$\begin{aligned} \overline{DBO} &= 198 \text{ mg/L} \\ t_{0,025} &= 2,262 \\ S &= 30,5 \text{ mg/L} \\ n &= 10 \text{ (Número de ensayos)} \end{aligned}$$

Luego

$$\mu = 198 \pm 2,262 \frac{30,5}{\sqrt{10}} \quad (17)$$

$$\mu = 198 \pm 22 \text{ mg/L} \quad (18)$$

$$\text{Intervalo: } 176 \leq DBO \leq 220 \quad (19)$$

Con este criterio se observa, de nuevo, en la Tabla No.1, que el método más válido, para la muestra sintética, es el de los 2 días a 35 °C.

Agua residual

En la tabla No. 2 y en la gráfica No. 3 se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de DBO para las muestras de agua residual del afluente a la planta de tratamiento de lagunas de estabilización de Chía, a las temperaturas de 20 °C y 35 °C; a 2 - 2,5 y 5 días.

Como puede deducirse del análisis de los resultados de la tabla No. 2, ambos ensayos serían válidos para sustituir el ensayo estándar de DBO. Sin embargo, para las

Tabla 2. Resultados de DBO de las muestras de agua residual municipal

PARAMETRO	DBO ₅ ²⁰	DBO ₂ ³⁵	DBO _{2,5} ³⁵
Ensayo No. 1	201	188	210
Ensayo No. 2	184	146	166
Ensayo No. 3	344	314	357
Ensayo No. 4	259	228	267
Ensayo No. 5	296	233	270
Ensayo No. 6	260	230	279
Ensayo No. 7	284	272	309
Ensayo No. 8	277	233	285
Ensayo No. 9	241	217	251
Ensayo No. 10	258	212	244
No. Ensayos	10	10	10
Promedio Muestra mg/L	260	227	264
Desviación Estándar Muestra mg/L	46	45	52
Valor Mínimo, mg/L	184	146	166
Valor Máximo, mg/L	344	314	357
Error Estándar Promedio, mg/L	15	14	16
Error Rel. Promedio, %	5,8	6,2	6,1
Varianza	2116	2025	2704
Interv. de Confianza del 95% para 9 GL	260 33 227<	227 32 195<	264 37 227<
	DBO<293	DBO<259	DBO<301

muestras de agua residual municipal, el ensayo a 2,5 días y 35 °C tiene una correlación superior.

En las gráficas No. 4 y No. 5 se muestran los resultados experimentales de DBO a 20°C y 35°C, respectivamente, para un periodo continuo de 10 días. El cálculo, por el método de los mínimos cuadrados, de la ecuación de la curva de DBO a 20 °C, para el agua residual, con los datos de los 10 días, permite deducir el modelo siguiente:

$$DBO = 261 (1 - 10^{-0,17t}) = 261 (1 - e^{-0,39t}) \quad (20)$$

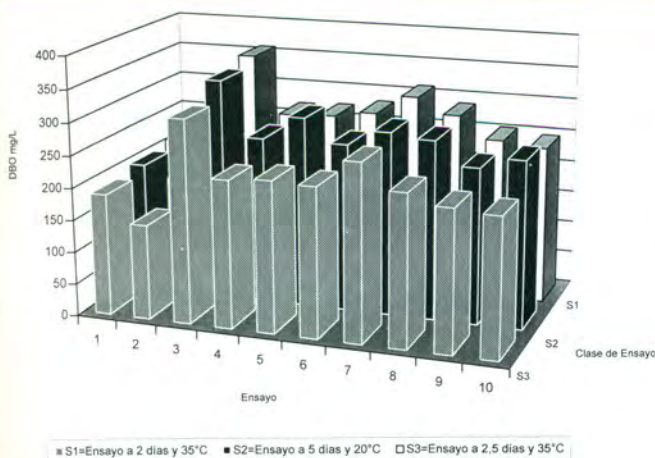
La ecuación correspondiente de la curva de DBO a 35 °C, para el agua residual, calculada por el método de los mínimos cuadrados, con los datos de los 10 días, permite deducir el modelo siguiente:

$$DBO = 269 (1 - 10^{-0,34t}) = 269 (1 - e^{-0,80t}) \quad (21)$$

En la gráfica No. 6 se representan las dos ecuaciones anteriores. De dicha gráfica se deduce evidentemente que el valor de la DBO a los 5 días y 20 °C es aproximadamente igual al valor de la DBO a los 2,5 días y 35 °C, para el agua residual del municipio de Chía; lo cual demuestra la validez del método experimental sustitutivo:

$$DBO_5^{20} \approx DBO_{2,5}^{35} \quad (22)$$

$$224 \approx 231 \quad (23)$$



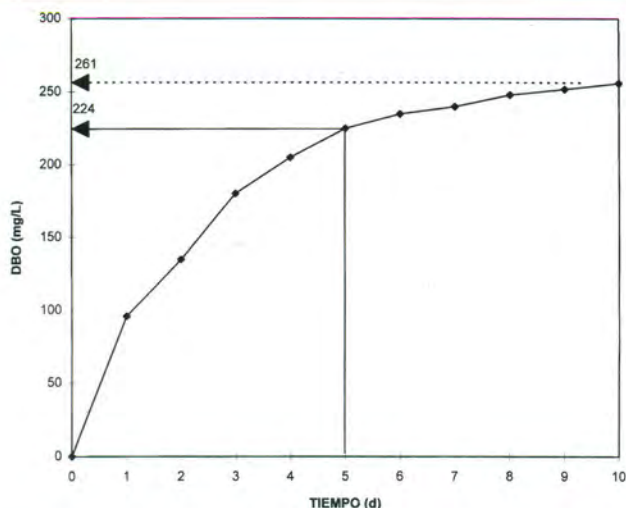
Gráfica 3. Resultados de DBO, muestras de agua residual

Además, de acuerdo con los valores deducidos para K a 20°C y a 35°C , se obtiene, según la ecuación de Arrhenius:

$$K_T = K_{20} \theta^{T-20} \quad (24)$$

$$\theta = 1,049 \quad (25)$$

El valor anterior de $\theta = 1,049$ corresponde, casi exactamente, al valor frecuentemente citado en la literatura de $1,047^{(7)}$.



Gráfica 4. Curva experimental de DBO a 20°C para el agua residual.

Comparación de los Procedimientos de Análisis de DBO^(1,2,3,4,8)

Para establecer estadísticamente si los procedimientos formulados dan resultados comparables con el método estándar, se usa la prueba t para análisis con menos de treinta muestras. Los valores promedio de los dos grupos de datos (\bar{Y}_1 y \bar{Y}_2), se comparan mediante las fórmulas para t y para la desviación estándar compuesta, S_c , así:

$$t = \frac{[\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2]}{S_c \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (26)$$

Donde:

\bar{Y}_1 = DBO promedio del primer grupo de ensayos, mg/L

\bar{Y}_2 = DBO promedio del segundo grupo de ensayos, mg/L

n_1 = Número de ensayos en el primer grupo

n_2 = Número de ensayos en el segundo grupo

S_c = Desviación estándar compuesta, de los dos grupos de ensayos, mg/L

Tabla 3. Comparación de los promedios

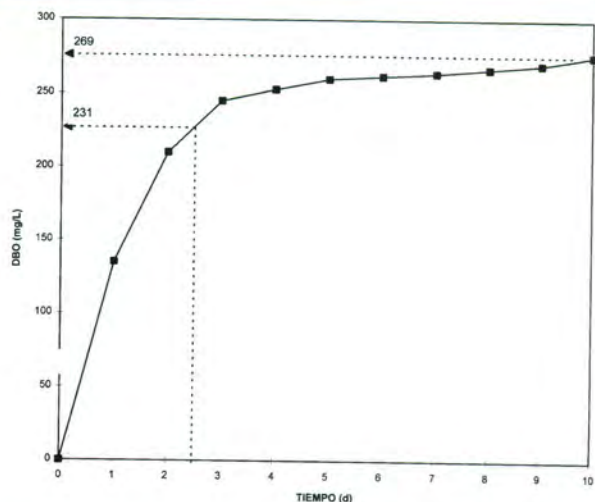
PARAMETRO	DBO ₅ ²⁰	DBO ₂ ³⁵	DBO _{2,5} ³⁵
No. Datos (N)	10	10	10
Promedio (\bar{y})	260	227	264
Desviación Estándar (S)	46	45	52
D.E. Promedio Compuesta (S_c) (Ec. 27)	-	46	49
t de Student (Ec. 26)	-	1,604	0,183
t_c = Valor Crítico de t para un 95% de confianza y 18 Grados de Libertad	-	2,101	2,101

$$S_c = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (27)$$

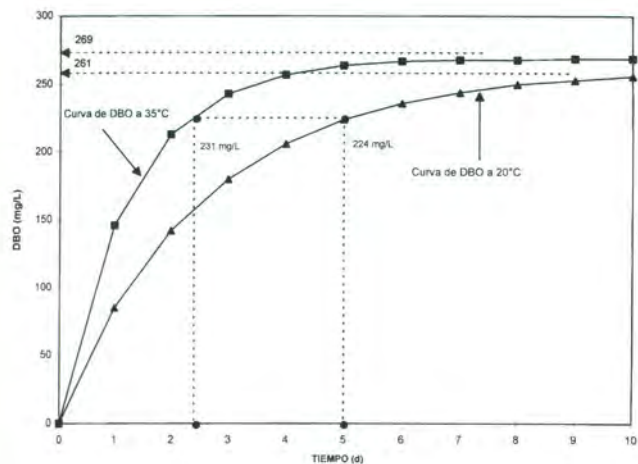
Donde:

S_1 = Desviación estándar del primer grupo de ensayos
 S_2 = Desviación estándar del segundo grupo de ensayos

La tabla No. 3 incluye la comparación de los valores de DBO promedio, obtenidos según los procedimientos sustitutos, con el promedio obtenido por el método estándar, para el agua residual. Como puede observarse, el valor de t para los promedios de ambas pruebas a 35°C , es menor que el t crítico; por lo tanto se puede concluir que se obtiene un nivel de confianza mayor del 95%; o sea que no existen diferencias significativas entre los dos ensayos de DBO a 35°C con el ensayo a 20°C . Sin embargo, es evidente que correlaciona mejor la $DBO_{2,5}^{35}$ con el ensayo estándar de DBO_5^{20} .



Gráfica 5. Curva experimental de DBO a 35°C para el agua residual.



Gráfica 6. Curvas calculadas de DBO a 20 °C y 35 °C para el agua residual.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los ensayos de DBO efectuados a 2 días y 35 °C; DBO a 2,5 días y 35 °C y DBO estándar a 5 días y 20 °C, para la muestra sintética, son comparables, de acuerdo con el criterio estadístico de la prueba t de Student y del Standard Methods. Al refinar el criterio estadístico, se encontró que el ensayo más aconsejable es el de la DBO a 2 días y 35 °C para el agua sintética.
- Para el agua residual municipal, los ensayos de DBO a 2 días y 35 °C; DBO a 2,5 días y 35 °C y DBO a 5 días y 20 °C, son estadísticamente comparables. Sin embargo, al refinar el criterio estadístico se encontró que el ensayo más aconsejable para el agua residual es el de la DBO a 2,5 días y 35 °C.
- La diferencia hallada entre los ensayos aconsejables para el agua sintética (2 días) y para el agua residual (2.5 días) se debe probablemente a la utilización de

simientes bacteriales diferentes para cada una de las aguas.

- Los experimentos efectuados, con el agua sintética y con el agua residual, muestran que tanto el ensayo de DBO a los 2 días y 35 °C como el ensayo de DBO a 2,5 días y 35 °C, predicen con buena aproximación el valor de la DBO estándar a los 5 días y 20 °C.
- La investigación confirmó, para el agua sintética, las conclusiones de Nilay Chaudhuri y otros, en el sentido de que el ensayo sustitutivo se optimiza para 2 días y 35 °C⁽⁵⁾. Sin embargo, la DBO estándar del agua residual de Chía, con características bioquímicas específicas, determinó una mejor equivalencia a los 2,5 días y 35 °C.
- Experimentos con muestras de aguas residuales de distintas localidades, con diferentes características, enriquecerían la información sobre la equivalencia del ensayo de DBO a 35 °C y 2,5 días con el ensayo estándar de DBO a 5 días y 20 °C. Lo anterior permite recomendar la necesidad de efectuar estudios adicionales de experimentación sobre el tema propuesto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) APHA, AWWA, WPCF., *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 17^a ed., Washington D.C. 1989.
- (2) APHA, AWWA, WPCF., *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 16^a ed., Washington D.C. 1985.
- (3) BOX G.E.P., HUNTER W.G. y HUNTER J.S., *Statistics for Experimenters*, New York, 1978.
- (4) COCHRAN W.G. y COX G.M., *Experimental Designs*, 2^a ed., New York.
- (5) CHAUDHURI N., TYAGI P.C., NIYOGI N., THERGAONKAR V.P. y KHANNA P., *BOD Test for Tropical Countries*, Vol. 118, No. 2, march/april, 1992.
- (6) GONZALEZ M.L.E., *Ensayo Rápido de DBO*, Tesis para optar al título de M.Sc. Ingeniería Ambiental énfasis Área Sanitaria, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Santafé de Bogotá, D.C., 1995
- (7) METCALF & EDDY Inc., *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse*, Mc Graw Hill, 3^a ed., 1991.
- (8) WPCF, *Wastewater Sampling for Process and Quality Control, Manual of Practice No. OM - 1*, 1980



ConConcreto S.A.

CONSTRUYENDO FUTURO CON SENTIDO HUMANO

Medellín Cra. 42 No. 75-125 (Itagüí) Autopista Sur Conmutador: (94) 2812977

Santa Fe de Bogotá Cra. 6. No. 115 - 65 Of.: 308F Conmutador (91) 6202166

Cali Cra. 100 No. 16 -20 Edif. Av. 100 Conmutador (92) 3331222

El proyecto UNESCO-IDAMS, una herramienta al servicio de la investigación científica

Ing. Bernardo Liévano

Ingeniero Civil, Universidad Javeriana; profesor de Física y Matemáticas, Escuela Colombiana de Ingeniería; de Acústica, Universidad de los Andes; consultor de UNESCO, París, para el proyecto IDAMS.

Desde mediados de la década de los años ochenta, la UNESCO decidió desarrollar un paquete de análisis estadístico, dotado de las últimas técnicas en esa rama de la matemática, con destino a los países miembros, en especial a aquellas naciones que se encuentran en vía de desarrollo. En el año de 1991, la Escuela Colombiana de Ingeniería fue invitada a ser parte del grupo de consulta para el desarrollo y la diseminación del paquete IDAMS en el mundo, junto con otros países que hacen parte del grupo de consulta ITAG (International Technical Advisory Group) tales como Francia, Bélgica, Inglaterra, Estados Unidos de América, Hungría, Rusia e Italia. A continuación se describe someramente el contenido y la orientación de IDAMS.

¿QUÉ ES IDAMS?

IDAMS es un paquete de *software* para la validación, manipulación y análisis estadístico de datos. Está organizado como una colección de programas dentro de un ambiente común, de manera que el lenguaje de control para acceder a diferentes funciones es el mismo a través de todos los programas. Ejemplos del tipo de datos que se pueden procesar con

IDAMS son: respuestas a las preguntas hechas a personas en una encuesta, información acerca de los libros de una biblioteca, características personales y desempeño de los alumnos en una escuela, medidas de un experimento científico. El aspecto común de estos datos es que consiste en valores de variables para cada una de las colecciones de objetos-casos; por ejemplo, en una muestra de un levantamiento, las preguntas son las variables y los encuestados son los casos.

Existen numerosos paquetes y programas para ayuda en el análisis estadístico de tales datos. Una característica especial de IDAMS es que también suministra facilidad para ha-

cer una validación extensa de datos (por ejemplo, verificación de estructura y de consistencia) antes del análisis. Estos pasos previos esenciales son ignorados por muchos paquetes estadísticos. En lo que concierne al análisis, IDAMS emplea técnicas clásicas tales como la construcción de tablas, el análisis de regresión, el análisis de variancia de una entrada, el análisis de discriminación y conglomerados, y también algunas técnicas más avanzadas tales como el análisis factorial de correspondencias, el ordenamiento parcial de puntajes, el ordenamiento por rangos de alternativas y la tipología iterativa.

Las facilidades de IDAMS, divididas en términos generales en manejo de datos y análisis, son proporcionadas por 28 programas separados cuyas funciones se resumen más adelante.

OMICRON
Ingenieros Asociados Ltda.

Alberto Reyes Uribe
Jorge E. Torres Correa
Marco A. Valentín G.
Oscar D. Rodríguez Q.

● DISEÑO Y CONSTRUCCION DE
INSTALACIONES ELECTRICAS Y
MECANICAS

Calle 55 No. 14-76 Teléfono: 345-0388
Fax: 310-7570 Apartado Aéreo 50472
Santafé de Bogotá

AMBIENTE DEL SISTEMA

Versión de IDAMS para microcomputadores (micro IDAMS)

Los requisitos de *hardware* y *software* para micro IDAMS son:

- IBM-PC/XT, ATE, PS/2 o un computador compatible.
- Un mínimo de 640 k bytes de memoria.
- Un mínimo de 3M bytes de espacio en disco duro.
- Una unidad de *diskette*.
- No se requiere impresora, pero se recomienda. El tamaño del papel y, o, las fuentes disponibles deben permitir la impresión 132 caracteres por línea.
- Micro IDAMS usa un coprocesador 8087 o un coprocesador 80287 si encuentra instalado alguno de ellos; si no lo hay, entonces micro IDAMS suministra muchas de las funciones 8087/ 80287 dentro del *software*.
- Micro IDAMS trabaja con los siguientes adaptadores de pantalla: MA, CGA, EGA y VGA (EGA o VGA son indispensables para GRAPHID).
- Micro IDAMS es ejecutable bajo la versión 2.1 (o bajo una más reciente) del sistema operacional MS-DOS (o PC-DOS).

DOCUMENTACIÓN

La documentación que acompaña a IDAMS consiste en:

- Manual del usuario de IDAMS
- Recordatorio de parámetros y palabras clave (*Quick reference card*)

PROGRAMAS PARA EL MANEJO DE DATOS

Listar y copiar archivos (COPY). Herramienta para producir múltiples copias y, o, listados de un archivo.

Verificación de la estructura de los datos (MERCHECK). Verifica que estén presentes los registros correctos para cada caso en un archivo de múltiples registros por caso. Produce un archivo de salida que tiene un número igual de registros por caso. Se pueden eliminar registros inválidos o duplicados y se pueden insertar registros faltantes con códigos especiales para valores omitidos.

Clasificación e intercalación de archivos (SORMER). Es un utilitario de propósito general para clasificar datos en forma ascendente o descendente hasta por cinco campos de clasificación. Se pueden intercalar hasta 16 archivos.

Construcción de un archivo de IDAMS (BUILD). Lee un archivo de datos primarios (que puede tener múltiples registros por caso) junto con un diccionario que describe las variables que se van a seleccionar. BUILD verifica la presencia de valores no numéricos en campos numéricos; los campos en blanco se pueden recodificar en valores numéricos especificados por el usuario, y otros no numéricos se reportan y reemplazan con nuevos. La salida es un archivo de IDAMS que comprende un archivo de datos con un solo registro por

caso y un diccionario asociado que describe cada campo en los registros de datos.

Verificación de códigos inválidos (CHECK). Reporta casos de un archivo de datos que tengan valores inválidos en las variables. Los códigos válidos para cada variable los especifica el usuario en las proposiciones de control de programa y, o, se toman los registros de códigos y nombres del diccionario.

Verificación de consistencia (CONCHECK). Reporta casos con inconsistencias entre dos o más variables. Las proposiciones de *Recode* de IDAMS se utilizan para especificar las relaciones lógicas requeridas.

Corrección de datos (CORRECT). Actualiza un archivo al aplicar correcciones a valores individuales de variables para casos específicos.

Listar datos (LIST). Se pueden listar los valores de variables y, o, casos seleccionados (originales o recodificados) en diferentes formatos.

Subdivisión de un archivo de IDAMS en subconjuntos (SUBSET). Produce un nuevo archivo de IDAMS (datos y diccionario) con casos y, o, variables seleccionados del archivo de IDAMS de entrada. Tiene una opción para verificar casos duplicados.

Transformación de datos (TRANS). Este programa se usa para salvar las variables creadas por la facilidad de recodificación de IDAMS en un archivo permanente.

Agrupación de datos (AGGREG). Agrupa registros (por ejemplo, individuos en hogares) y produce un nuevo archivo de IDAMS con un registro para cada grupo. Las variables en el nuevo registro son estadísticas de resumen de variables específicas de los registros individuales, por ejemplo, la suma, la media y valores mínimo y máximo.

Intercalación de archivo de IDAMS (MERGE). Se pueden inter-

calar dos archivos de IDAMS con casos de emparejamiento, de acuerdo con un conjunto común de variables llamadas variables de encaje. Hay cuatro opciones para seleccionar casos para el archivo de IDAMS de salida: 1) sólo casos presentes en ambos archivos (intersección); 2) cada caso en ambos archivos (unión); 3) cada caso en el primer archivo, y 4) cada caso en el segundo archivo. El usuario especifica cuáles variables de cada uno de los dos archivos de entrada van a la salida. Existe una opción para encajar un caso de un archivo con más de un caso del segundo archivo, por ejemplo, para añadir datos de hogares de un archivo al registro de cada individuo en un segundo archivo.

Importación, exportación. Además de las funciones descritas, IDAMS cuenta con la posibilidad de tomar y, o, enviar datos y diccionarios de o hacia otros paquetes estadísticos tales como micro OSIRIS, SSPS, etc.

Presentación de la versión en español del Manual de Uso IDAMS al señor Federico Mayor, director general de la UNESCO. París, Francia, 19 de octubre de 1994.



TÉCNICAS PARA EL ANÁLISIS DE DATOS

Tablas de distribución de frecuencias y estadísticas asociadas (TABLES). Las opciones incluyen: 1) frecuencia univariada simple y acumulativa y porcentaje de distribución; 2) estadísticas univariadas: media, mediana, moda, variancia, desviación estándar, asimetría, *kurtosis*, 3) tablas de frecuencias de 2 y de 3 entradas con porcentajes fila, columna y total; 4) tablas de valores medios de una variable independiente, y 5) estadísticas bivariadas: pruebas *t* de medias entre pares de filas, *ji* cuadrada, coeficiente de contingencia, *v* de Cramer, *taus* de Kendall, *gamma*, *lambdas*, *ro* de Spearman, y tres pruebas no paramétricas: Wilcoxon, Mann-Whitney y Fisher

Distribución y funciones de Lorenz (QUANTILE). Funciones de distribución con 2 a 100 subintervalos, funciones de Lorenz, curva de Lorenz y coeficientes de Gini, y la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Diagramas de dispersión (SCAT). Diagramas de dispersión, estadísticas univariadas (media, desviación estándar y N) y estadísticas bivariadas (*r*

de Pearson y estadísticas de regresión: coeficiente B y constante A).

Correlación de Pearson (PEARSON). Calcula los coeficientes *r* de correlación de Pearson, covariancias y coeficientes de regresión para puntajes primarios. Se puede solicitar eliminación de datos faltantes por parejas o por casos. Las matrices de correlación de salida se pueden usar como entrada a otros programas, por ejemplo, REGRESSN.

Análisis de clasificación múltiple (MCA). Examina las relaciones entre diversas variables predictoras (control) y una sola variable independiente, y determina el efecto de cada predictor antes y después del ajuste de sus intercorrelaciones con otros predictores. Suministra información de las relaciones bivariadas y multivariadas entre predictores y la variable dependiente.

Regresión lineal (REGRESSN). Suministra una capacidad general de regresión múltiple para análisis de regresión y estándar y por pasos. Se puede usar un archivo de IDAMS o una matriz de correlación como entrada, y se pueden obtener residuos (con la estadística de Durbin-Watson para su correlación de primer orden).

Análisis factorial de correspondencias, productos escalares, covariancias y correlaciones (FACTOR). Cubre un conjunto de componentes principales de análisis factorial y análisis factorial de correspondencias. Por cada análisis construye una matriz que representa las relaciones entre variables y calcula sus valores propios y vectores propios. Calcula los valores de caso y, o, variable dando para caso y, o, variable su ordenada, su calidad de representación y su contribución a los factores. Se puede obtener una representación gráfica de casos y, o, variables en el espacio factorial. El programa distingue entre casos y variables activos y pasivos.

Análisis discriminatorio lineal por pasos (DISCRAN). Busca la mejor

función lineal de discriminación de un conjunto de variables que reproduce, hasta donde sea posible, una agrupación *a priori* de los casos. Utiliza un procedimiento por pasos, es decir que en cada paso entra la variable más poderosa. El programa distingue tres muestras de casos: la muestra básica sobre la cual se hacen los análisis discriminatorios principales, la muestra de prueba sobre la cual se verifica la potencia de la función de discriminación y la muestra anónima que se usa sólo para clasificar los casos.

Ordenamiento parcial de puntajes (POSCOR). Construye escalas ordinales de puntajes a partir de intervalos de variable o de intervalos ordinales. Se calculan los puntajes por caso involucrado en el análisis y la medida de la posición relativa del caso dentro del conjunto de los mismos. Los puntajes, opcionalmente con otras variables especificadas por el usuario, salen en la forma de un archivo de IDAMS.

Tipología iterativa y clasificación ascendente (TYPOL). Crea una variable tipológica como el resumen de un gran número de variables cuantitativas y cualitativas. El usuario escoge los números inicial y final de grupos, el tipo de distancia usada y la manera de comenzar la tipología inicial. Los grupos de la tipología inicial se estabilizan con un procedimiento iterativo. El número de grupos se puede reducir con un algoritmo de clasificación jerárquica ascendente. El programa distingue entre variables activas que participan en la construcción de la tipología y variables pasivas para las cuales se calculan las estadísticas principales dentro de los grupos de la tipología.

Ordenamiento de alternativas por rangos (RANK). Determina un orden razonable de alternativas por rangos usando datos preferenciales y tres procedimientos diferentes de asigna-

ción de rangos, uno basado en la lógica clásica y otros dos basados en la lógica difusa. Los datos preferenciales pueden representar una selección o un rango de alternativas. Se pueden especificar dos tipos de relaciones individuales preferenciales: débil y estricta. Con la asignación difusa de rangos, los datos determinan completamente los resultados obtenidos, mientras que con la asignación clásica el usuario tiene la posibilidad de controlar los cálculos.

Análisis de conglomerados (CLUSTAN). Hace análisis de conglomerados a partir del particionamiento de un conjunto de objetos (casos o variables) en un conjunto de conglomerados determinado por uno de seis algoritmos, tres basados en el particionamiento alrededor de medoides y los otros tres basados en una aglomeración jerárquica.

Escalamiento multidimensional no métrico (MDSCAL). Este es un procedimiento de escalamiento multidimensional no métrico para el análisis de similitudes. Opera sobre una matriz de medidas de similitud o disimilitud y está diseñado para hallar la mejor representación geométrica de los datos en el espacio. El usuario controla la dimensión de la configuración obtenida, el tipo de distancia métrica usada y la manera de manejar las ataduras (valores iguales) en los datos de entrada.

Análisis de configuración (CONFIG). Hace análisis sobre una configuración sencilla de entrada, creada, por ejemplo, con el programa MDS-CAL. Tiene la capacidad de centrar, normar, rotar, trasladar dimensiones y calcular distancias entre puntos y productos escalares. Se puede graficar la configuración después de cada transformación.

Búsqueda de estructura (SEARCH). Procedimiento de segmentación binaria para desarrollar modelos predicti-

vos. La pregunta ¿qué dicotomía en cuál predictor dará el mejoramiento máximo en la habilidad para predecir valores de la variable dependiente? dentro de un esquema iterativo, es la base del algoritmo usado.

Exploración interactiva gráfica de los datos (GRAPHID). Un módulo separado, Graphid, está disponible en micro IDAMS para explorar datos a través de despliegues gráficos. El despliegue básico se encuentra en la forma de gráficos de dispersión múltiple para diferentes pares de variables. Se puede graficar información adicional tal como histogramas y líneas de regresión. Los gráficos se pueden manejar de varias maneras. Por ejemplo, se pueden marcar en un gráfico casos seleccionados y luego resaltarlos en otros gráficos. Se pueden aumentar partes del gráfico (*zoom*). Las matrices de IDAMS se muestran como gráficos de tres dimensiones en los cuales se representan las variables en dos de los ejes y la tercera dimensión se usa para mostrar el tamaño de la estadística en la matriz (por ejemplo, coeficiente de correlación) para cada par de variables.

El sistema IDAMS es distribuido en Colombia por la Escuela Colombiana de Ingeniería y, de acuerdo con la política de UNESCO, se distribuye gratuitamente (sólo se cobran costos de distribución local) a entidades sin ánimo de lucro públicas o privadas. Además, a través de la Escuela Colombiana de Ingeniería se mantiene un contacto permanente con los diferentes científicos y matemáticos que participan en el desarrollo y la implementación de nuevas técnicas en el análisis de datos

Consumo de energía y rendimiento lumínico de bombillos incandescentes y del electrónico (economizador)

Ing. Luis Jorge Agudelo

Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Colombia; estudios en Electrotecnia, Universidad Técnica, Berlín Occidental, Alemania; director del Departamento de Electrotecnia y profesor, Escuela Colombiana de Ingeniería.



Para estar a tono con el tema actual del ahorro de energía, se hace aquí un estudio experimental del consumo y el rendimiento lumínico de los bombillos incandescentes más usuales en el alumbrado residencial y de comercios pequeños, así como de los del bombillo fluorescente "electrónico" o ahorrador de energía.

I. PRUEBAS ELÉCTRICAS

Tipo de bombillo	Consumo nominal (w)	Voltaje nominal (v)	Voltaje de prueba (v)	Corriente tomada (A)	Potencia tomada (W)	Temperatura exterior* (°C)
Bombillo incandescente Philips	40	110-120	115	0,35	38,75	aprox. 120
Bombillo incandescente Philips	60	110-120	115	0,54	62,1	aprox. 120
Bombillo incandescente Philips	100	110-120	115	0,85	99	aprox. 120
Bombillo incandescente Sylvania	150	155	115	0,8	90	aprox. 120
Bombillo electrónico EXCELL LIGHT "Luz del día"	16	120	115	0,18	14	aprox. 36

* Temperatura sobre el bulbo.



ARQUITECTURA E INGENIERIA

GERENTE: PILAR ROJAS MACÍAS

- ▶ Elaboración de planos de ventas, modelos tridimensionales
- ▶ Cálculo de estructuras
- ▶ Digitalización
- ▶ Servicio de PLOTTER
- ▶ Sistemas CADD para arquitectura e ingeniería

DISTRIBUIDOR AUTORIZADO



AUTODESK

Calle 115 No. 43-21 Apto. 102 - Tels.: 2154448 - 6129279 - Fax 6129280

II. PRUEBAS LUMINOTÉCNICAS

Intensidad de iluminación:

- En superficie horizontal debajo de vertical a 1,50 m del bombillo.
- En superficie horizontal a 1 m del sitio a, mismo plano horizontal.

	a (lux)	b(lux)
Bombillo incandescente Philips de 40W transparente	20	15
Bombillo incandescente Philips de 60W esmerilado	44	26
Bombillo incandescente Philips de 100W transparente	58	30
Bombillo incandescente Sylvania de 150 W (a 115V)	42	25
Bombillo electrónico EXCELL LIGHT de 16 W	20	15

Nota: El bombillo de 150 W, 155 V, tiene el filamento en posición vertical de modo que para obtener máxima luminosidad se aconseja colocarlo en posición horizontal.

COMENTARIOS SOBRE EL DESEMPEÑO DEL BOMBILLO ELECTRÓNICO O ECONOMIZADOR DE ENERGÍA EN PRUEBA

Con 115 V, voltaje promedio usual (y con 120 V) el bombillo dio intensidad luminosa de 20 lux, la cual es equivalente a uno incandescente de sólo 40 vatios. Su luminosidad es "fría" o sea pálida, demasiado blanca, lo cual indica la ausencia de frecuencias del rojo en el espectro lumínico. En cambio, los bombillos incandescentes manifiestan una luminosidad "cálida" por la presencia de bajas frecuencias en las ondas de luz que corresponden al rango que hace que esta luz sea más "acogedora". Existen lámparas fluorescentes que tienen esta característica, la cual depende de la sustancia fluorescente que contenga como recubrimiento interior.

Se hizo la prueba de la luminosidad a una altura de 1,50 m sobre el sitio de trabajo ya que esta altura es la normal, por ejemplo, en una oficina cuyo techo o cielo raso en donde está adosada la luminaria tiene un promedio de altura de 2,30 m sobre el piso, y el escritorio, mesa de trabajo, mesa de comedor, etc., tiene aproximadamente una altura de 0,80 m.

Para sitios de trabajo como oficinas y similares son aconsejables y ya usuales las lámparas fluorescentes de tubos o en general de descarga gaseosa que produzca luz difusa, a diferencia de los bombillos incandescentes cuya fuente es concentrada, puntual, de alto brillo, lo que les da gran dirigibilidad del flujo luminoso usual en reflectores o dispositivos productores de un haz luminoso de fuerte intensidad para producir *spots* en los escenarios de espectáculos.

USOS

El bombillo "electrónico" fluorescente "luz del día" como el que se está estudiando es apropiado, en concepto muy personal del autor del presente artículo, para iluminaciones en sitios de poca exigencia como pasillos, escaleras, salas de estar, dormitorios, etc., y para pequeñas lámparas de escritorio. Para comedores y restaurantes donde no se requiere gran iluminación, se puede pensar que no es aconsejable debido a que su luz, la cual se puede calificar como demasiado blanca, no les da el color apropiado a las viandas, color que se requiere para que tengan un buen aspecto visual.

CONSIDERACIONES DE TIPO ECONÓMICO

1. Del lado del consumidor

Costo del bombillo incandescente de 40W (20 lux) \$ 400 (1995)

Costo del bombillo electrónico de 16W (20 lux) \$12.000

Duración del primero, según norma 800 horas

Duración del segundo, según datos del fabricante 9.000 horas

Costo del bombillo - hora: del 1o $\frac{400}{800} = \$0,50$

del 2o $\$12.000/9.000 = \$1,33$

Un bombillo electrónico de \$12.000 dura lo mismo que 11 bombillos incandescentes de 40W, ambos con la misma luminosidad de 20 lux a 1,50 m; 11 bombillos de 40W valen (1995) \$ 4.400.

Estos últimos tienen la ventaja de que se compran a plazos por costos de \$ 400, mensuales o anuales según su frecuencia de uso. Para el economizador hay que desembolsar \$ 12.000 de rígido contado.

Otra consideración importante es la de que para poder leer sin fatiga una persona joven (20 años) con visión normal necesita como mínimo 240 lux. Una persona menos joven (50 años) necesita 1000 lux en promedio (según tablas). Bueno, tal vez no tanto, pero digamos que 480 lux siempre que la juventud visual haya sido bien administrada. De todas maneras son $240/20 = 12$ bombillos a 1,50 metros de distancia del libro o uno a 37,5 cm del material de lectura o trabajo similar. La luz se debilita con el cuadrado de la distancia a la fuente. A esta última distancia, 37,5 cm, la intensidad de iluminación sería de 250 lux. Buena.

2. Costo de la energía

Prácticamente todo el alumbrado residencial se obtiene con base en bombillos incandescentes. Tomando un costo promedio de \$40 por KWH, el bombillo incandescente de 40W en una hora cuesta $0,040W \times 1H \times 40 = \$ 1,60$. El electrónico que toma 16W para los mismos 20 lux cuesta en la misma hora $0,016 \times 1 \times 40 = \$ 0,64$ h o sea 2,5 veces menos que el incandescente. Hay casos frecuentes en que el bombillo se usa solamente 1 hora diaria o menos (baños, alcobas y otros). ¿En cuánto tiempo retorna la inversión de \$ 12.000 al costo de \$ 0,64/hora?:

Economía por bombillo - hora: $\$ 1,60 - 0,64 = \$ 0,96/\text{hora}$

Tiempo de retorno de la inversión: $\frac{\$12.000}{0,96/\text{hora}} = 12.500 \text{ horas.}$

que para 1 hora diaria de uso corresponde a $\frac{\$12.500H}{365h / \text{año}} = 34$ años.

Pero como la vida del bombillo es de sólo 9.000 horas, la

El bombillo incandescente duraría 800 H/365 H/año = 2 años 2 meses. Los fabricantes del bombillo electrónico aconsejan no encenderlo y apagarlo con mucha frecuencia sino usarlo en forma lo más ininterrumpida posible. No es el caso de entrar a investigar las razones a este respecto.

En el caso de usarse, por ejemplo, 10 horas diarias en forma continua, para reemplazar un bombillo incandescente de 40W (20 lux) la cuenta se reduciría bimensualmente en $(0,040 \times 0,016) \text{ KW} \times 10H \times 60 \text{ días} \times \$40 = \$ 576$ por bombillo, pero la duración sería sólo de $9.000/365 \times 10 = 2,5$ años.

3. Del lado de la empresa de energía

Se reduce el recaudo en un 60% pero esta energía liberada puede venderse a otros consumidores, o economizarse para uso futuro, evitando así eventuales racionamientos, o sea apagones, aunque se puede pensar que la carga eléctrica debida a luz incandescente no constituye un porcentaje apreciable en relación con la carga global de otros tipos.

RESUMIENDO

1. El bombillo fluorescente electrónico aquí investigado economiza un 60% del costo de la energía *pero* su luz



es pobre pues sólo equivale a uno incandescente de 40W.

2. Su costo es elevado (\$12.000) aunque su duración es también alta (9.000 horas). Por costo equivale a 30 bombillos incandescentes de 40W y por duración a 11 de ellos.

Nota

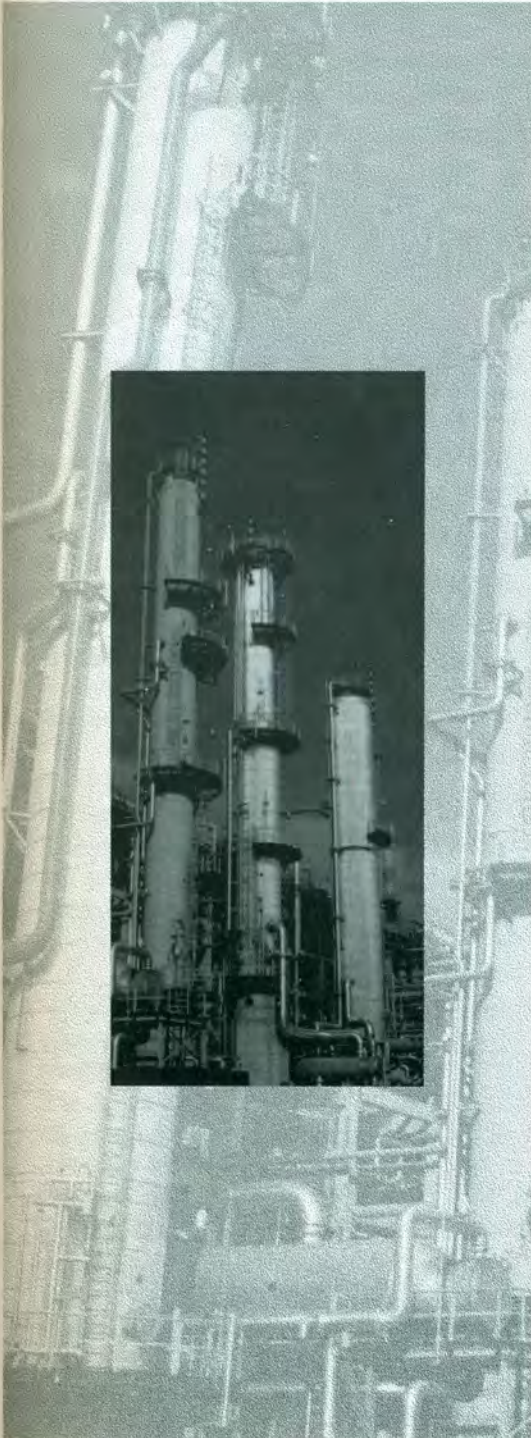
Existe en el mercado un bombillo del mismo tipo y con potencia de 18 vatios, equivalente, según datos, a 75W; su costo: \$18.000.

BIBLIOGRAFÍA

Biblioteca técnica Philips de luminotecnia ↙

ENCUENTROS ECI SOBRE PROBLEMAS NACIONALES

El problema energético



Con el propósito de fortalecer los vínculos entre los sectores productivos y académicos del país, y de propiciar el estudio de los grandes problemas nacionales en materias que impliquen cuestiones tecnológicas y sociales, la Escuela Colombiana de Ingeniería viene desarrollando una serie de encuentros destinados a abrir espacios de reflexión y debate acerca de las trayectorias, las influencias y los diversos puntos de vista de aquellos problemas que, finalmente, han de ser objeto de la correspondiente formulación de soluciones.

En cumplimiento de este ambicioso plan, a finales de mayo se llevó a cabo una mesa redonda sobre el tema del problema energético, en la cual participaron:

- *Dr. Juan Antonio Acosta, Ingeniero Mecánico de la Universidad Nacional; Director del consorcio del proyecto Salto I; profesor de Mecánica estructural de la Escuela Colombiana de Ingeniería.*
- *Dr. Henry Navarro, Director de Planeación de la Empresa de Energía de Bogotá.*
- *Dr. Marino Estrada Ángel, Ingeniero Químico de la Universidad Nacional; profesor de Centrales y Estructuras hidráulicas de la Escuela Colombiana de Ingeniería.*
- *Dr. Álvaro Infante Zapata, Ingeniero Consultor; profesor de Generación Térmica de la Escuela Colombiana de Ingeniería.*
- *Dr. Gabriel Sánchez Sierra, Ingeniero Electricista, Universidad Nacional; ha sido consultor de la Organización Latinoamericana de la Energía; funcionario del Banco Mundial; Gerente de la Empresa de Energía de Bogotá.*

Las exposiciones de estos participantes se resumen en los siguientes párrafos ↴



Mesa redonda sobre el problema energético

Participantes: Dr. Juan Antonio Acosta, Dr. Henry Navarro, Dr. Marino Estrada, Dr. Álvaro Infante, Dr. Gabriel Sánchez Sierra

I. RESUMEN DE LA MESA REDONDA

Ing. Paula Ríos

Antes de considerar la problemática energética actual, se debe tener en cuenta que tanto el sector energético como el eléctrico han tenido un desarrollo notable en los últimos decenios. Hace 25 años sólo se pensaba en las ventajas del carbón, el gas se concentraba únicamente en la costa atlántica, los hidrocarburos se tenían que importar y los gastos del sector no podían ser soportados por la economía nacional. Hoy, nuestro país es uno de los exportadores más importantes de carbón

a nivel mundial, tiene una buena base hidrocarburífera para enfrentar el futuro y generalizó el uso del gas en todo el territorio nacional. Esto confirma que somos un país rico en materia energética por su misma complementariedad (hidroelectricidad, gas, petróleo y carbón).

Sin embargo, el sector eléctrico colombiano atraviesa una época difícil. Se encuentra en un periodo de transición en el que se intenta salir del anacronismo del Estado empresario al mercado abierto, competitivo entre dicho Estado y el sector privado. Esta etapa transitoria, por la cantidad de cambios que involucra, crea conflictos y hace que la adaptación a la nueva situación energética sea lenta y un tanto complicada.

Se puede establecer que el problema energético en Colombia se debe a que se ha hecho un desarrollo de la generación basado en la hidroelectricidad. Este desarrollo tiene la desventaja de un alto grado de incertidumbre respecto a que haya o no disponibilidad de agua, a que la variabilidad del clima se ajuste a las condiciones requeridas.

Además, como por mucho tiempo la mayor parte de la generación de energía era hidroeléctrica, las térmicas fueron descuidadas en su mantenimiento, debido a restricciones económicas, y fueron afectadas por retrasos en las nuevas inversiones y modernizaciones.

Esta problemática es resultado de la corrupción, de los malos manejos administrativos, de la deficiente planificación, del endeudamiento del sector y de una equivocada política en la determinación de la proporción entre hidroelectricidad y termoelectricidad. Se debe también al mal funcionamiento del sector como sistema en su diseño organizacional y en el proceso de toma de decisiones, a la crisis financiera, a la falta de mantenimiento y, por supuesto, a los atentados de la guerrilla y a las variaciones climáticas, entre las que se encuentra el fenómeno del Niño. Pero la causa principal, de la cual se derivan casi todas las anteriores, es la presencia ineficiente del Estado en el sector eléctrico.

El Estado se ha caracterizado por ser un mal empresario en este sector, debido a que no tiene presiones de rentabilidad. Cuando ha causado que las empresas del sec-

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

- › OBRAS CIVILES
- › CARRETERAS
- › MONTAJES
- › ESTRUCTURAS
- › URBANISMO

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



tor se encuentren en bancarrota por su mala administración, el mismo gobierno intenta rescatarlas quitándoles recursos a los sectores sociales (salud, educación, vivienda) para pasárselos a uno de los pocos sectores que pueden ser autosuficientes, el sector eléctrico.

Un efecto fundamental de la presencia ineficiente del Estado es la falta de gerentes con criterios claros, diferentes de los políticos, que ejerzan el manejo adecuado de las empresas de energía. Por otra parte, la suma de los problemas energéticos causa una incertidumbre permanente en el país que obstaculiza la formulación de los planes de desarrollo económico. Se siente el síndrome de racionamiento con todo su peso paralizante.

Para solucionar esta crisis, es necesario contar con la participación del sector privado y que éste actúe en igualdad de condiciones con el sector público. Aunque esto sólo se logra con el tiempo, ya que en este momento es muy difícil para una compañía privada tener rentabilidad, vender la energía por encima de sus costos y poder competir con empresas del Estado, en las cuales el gerente no tiene ninguna presión de rentabilidad y apenas está interesado en colocar toda

su energía y tener un flujo de fondos más o menos aceptable.

Como nos encontramos en un proceso de privatización de la generación, se debe considerar periodos de amortización más reales. Si se amortiza en un periodo muy corto, en las hidroeléctricas, debido a su muy alta inversión inicial por KW, los precios se van a niveles sumamente altos; entonces conviene más el

El Estado se ha caracterizado por ser un mal empresario en este sector, debido a que no tiene presiones de rentabilidad. Cuando ha causado que las empresas del sector se encuentren en bancarrota por su mala administración, el mismo gobierno intenta rescatarlas quitándoles recursos a los sectores sociales (salud, educación, vivienda) para pasárselos a uno de los pocos sectores que pueden ser autosuficientes, el sector eléctrico.

del sector privado es que puede funcionar solo, sin necesidad de que Planeación Nacional intervenga. La empresa privada hace sus cálculos y decide si lo mejor para ella es una turbina de gas, una carboeléctrica o una

Hace 25 años sólo se pensaba en las ventajas del carbón, el gas se concentraba únicamente en la costa atlántica, los hidrocarburos se tenían que importar y los gastos del sector no podían ser soportados por la economía nacional.

uso de las térmicas. Si se pudiera financiar la deuda externa a 10 años, la carboeléctrica sería la solución ideal y más económica.

Se quiere proponer el establecimiento de un plan en que el gobierno pueda firmar contratos de compra de energía a largo plazo; de lo contrario no se obtendrá la inversión que se necesita, en su mayoría inversión extranjera (si no hay contratos a largo plazo, no entra el sector privado al negocio energético).

Una de las grandes ventajas

como medio para la satisfacción de la demanda. Sin embargo, el plan energético nacional establece una estrategia que busca mayor equilibrio entre las plantas térmicas y las hidroeléctricas. Se está llegando a una proporción de 65% de energía hidroeléctrica y 35% de térmica, y se contempla un incremento adicional en el aporte de gas.

En conclusión, el sistema eléctrico nacional es menos vulnerable en la actualidad. Contamos con suficientes fuentes de energía y capacidad instalada. Estamos viviendo bajo una nueva estructura del sector, donde el mercado está abierto para que el inversionista privado venga y haga sus inversiones.

Esta estructura es favorable para el sector porque el inversionista privado trabaja bajo otras reglas para hacer su empresa, para operar y contratar mejorando la eficiencia general.

II. DESARROLLO DE LAS EXPOSICIONES

El siguiente es el cuestionario puesto a consideración de los participantes en el debate cuyas respuestas se transcriben a continuación.



1. *¿En qué consiste el problema energético de Colombia?*
2. *¿Cuáles son las causas de este problema?*
3. *¿Cuáles sus efectos?*
4. *¿Qué alternativas se prevén para solucionarlo?*

DR. JUAN ANTONIO ACOSTA

Este problema puede ser tan complejo o tan sencillo como uno quiera. La exposición que voy a hacer va a ser muy corta; voy a exponer las ideas concretas sobre cada uno de los puntos, y a dejar a los más expertos hablar de cifras y estadísticas que pueden aportar mayor claridad, o mayor confusión, al problema.

- El problema energético en Colombia, desde mi punto de vista, es muy sencillo: no hay suficiente energía, y eso es algo que nosotros podemos comprobar todos los días. No hay capacidad para la expansión suficiente de la industria; no hay capacidad instalada suficiente; hay problemas de restricción de la producción y de la entrega de energía, que es un producto, a los usuarios, sean éstos industria o personas naturales. Ustedes experimentan todos los días que les cortan la luz; el problema es que no hay suficiente energía para todos ni para todas las necesidades del país.

Las causas del problema son simples. Hay tres puntos de vista desde los cuales se puede mirar el problema: el político, el técnico y el económico. Se pueden tratar como problemas independientes o como problemas ligados necesariamente entre sí.

- El problema político consiste en la falta de voluntad política para desarrollar los proyectos que se necesitan para lograr una capacidad instalada suficiente que permita al país funcionar y desarrollarse adecuadamente. Tenemos varios ejemplos, entre ellos el problema del Guavio, el cual

se identifica como aquel en que se robaron la plata, el que costó más de lo que tocaba; y por causa de esto todo el mundo comenzó a criticar las centrales hidroeléctricas y a suponer que no se podía salir del problema sin gastar mucho más de lo que se justificaba. Efectivamente, cuando los políticos decidieron que estábamos sobredimensionados en energía, se pararon muchos de los proyectos de inversión y se detuvo la marcha de otros, obteniéndose como resultado el racionamiento del 92.

Dentro de las políticas del gobierno no hay prioridad para la producción de energía en el país; la prioridad del gobierno Samper es el salto social, y para eso tiene que invertir gran cantidad de dinero en esa prioridad que él mismo estableció; por lo tanto, la prioridad de la energía se ha dejado a un lado y no se han hecho las acciones políticas necesarias para que se puedan desarrollar los proyectos que requiere el país.

- El problema técnico tiene que ver con la falta de tecnología en el país. Todos los grandes proyectos que se hacen aquí necesitan de tecnología extranjera; no tenemos tecnología suficiente en este momento, aunque la podemos tener en un futuro cercano si nos decidimos por eso; no tenemos la tecnología suficiente para desarrollar los proyectos que puedan producir la energía que el país necesita. Eso significa mayores costos, menor capacidad para efectuar mantenimientos adecuados y menor capacidad para la operación de las plantas, aunque es evidente que las empresas de energía del país han desarrollado una gran experiencia en cuanto a manejo de plantas hidroeléctricas.

- El problema económico consiste en que no hay plata, es decir, que no hay plata para este renglón específico.

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.



Hay una cantidad de dinero que se puede invertir y hay una cierta cantidad de dinero que se está invirtiendo porque se necesita urgentemente.

El país se ha acostumbrado a una política de “apagar incendios” en cuanto se refiere al problema energético, como fue el caso del racionamiento del 92. Ésta es la reacción normal del país, a la que nos hemos acostumbrado; todos queremos “apagar incendios” y no planear a muy largo plazo.

Las alternativas para la solución del problema son:

- Se debe educar al país en cuanto al uso de la energía. Pensamos que la energía es un servicio que se nos debe porque somos nosotros. Si se recibe energía en la casa, es porque nos la tienen que dar, y si se gasta más de lo que se tiene que gastar, no importa porque yo la pago. Esta mentalidad tiene que cambiar. La gente debe entender que la energía nos cuesta a todos y que si se gasta de más es algo

que se le está quitando al del lado o a nuestros hijos en el futuro. Muchos de los generadores de energía utilizan recursos no renovables y eso implica que estamos gastando algo que vamos a necesitar en el futuro.

- Se requiere una política del gobierno en cuanto a la solución de los problemas energéticos. Eso requiere que el gobierno decida hacer una planeación a largo plazo y hacer una programación que se pueda cumplir, para que dentro de veinte años podamos tener la energía que requerimos.

- Empezar a hacer en forma más intensiva transferencias de tecnología, para que el país pueda desarrollar sus propios proyectos de energía y para que éstos puedan llegar a costar menos de lo que están costando en este momento.

DR. HENRY NAVARRO

En Colombia sí hay energía; es más, el nuestro es uno de los países que tienen una complementariedad energética o una diversidad energética muy amplia, que generalmente no tienen todos los países. Aquí tenemos hidroelectricidad, te-

nemos uno de los mejores potenciales a nivel internacional, estamos en el cuarto o quinto puesto a nivel mundial de potencialidad de desarrollo hidroeléctrico, tenemos gas, petróleo y carbón. Se podría decir que somos un país rico energéticamente.

Entonces cuál es el problema, si todo el mundo anda con la incertidumbre de que habrá o no racionamiento en el futuro, que es lo que todos los días los medios de comunicación aprovechan para sus grandes titulares pero que de pronto se ha generalizado más de lo que realmente es el problema. ¿Qué quiero decir con esto? El problema energético en Colombia es que somos un país que depende de la hidroelectricidad, por alguna razón que no vale la pena discutir en este momento. En el pasado el planeamiento del país era centralizado pero ya no lo es y por eso el futuro nacional no tiene un plan centralizado, porque estamos en una economía más de mercado; estamos en una nueva realidad del sector y seguramente ya no hay un planeamiento centralizado sino más bien uno de mercado y más en el caso de la generación.

En ese pasado, con aquel planeamiento centralizado, se tomó una decisión: Colombia es rico en recursos hidroenergéticos, entonces hagamos proyectos hidroeléctricos y, segundo, hagamos proyectos hidroeléctricos de gran tamaño; eso significaba hacer proyectos de 1000MW como Chivor, Guavio, etc., que tenían grandes tiempos de construcción (6-8 años), lo cual indicaba que se debían correr muchos riesgos, como realmente pasó. Uno es que se venía proyectando una tasa de crecimiento de la demanda del 10% y se empezó a hacer muchos proyectos y, dos, que cuando bajó la tasa de crecimiento en el tiempo, los siguientes años, ya los proyectos estaban en avance y entonces no se podían paralizar. Algunos sí se paralizaron, como en el caso del Guavio, con funestas consecuencias en el año 92.



Planta de ruptura catalítica Cracking, Barrancabermeja.



Entonces, el problema energético en Colombia es que hemos hecho un desarrollo de la generación basado en la hidroelectricidad, y ésta tiene un problema que es la alta incertidumbre de que haya o no disponibilidad de agua; y eso sí que se ha acentuado, más con la variación del clima a nivel mundial y sobre todo en la zona ecuatorial donde tenemos años muy secos o años muy húmedos. El 92 fue el año más seco de toda la historia del país y eso es lo que explica, además del retraso del proyecto Guavio, el hecho de que no había suficiente agua para atender la demanda. Entonces, hay energía en Colombia; lo que pasa es que nos dedicamos a hacer hidroelectricidad y eso tiene muy alto riesgo; el problema es que si queremos eliminar el riesgo con una planta hidroeléctrica, o con muchas, hay que sobredimensionar o sobreinstalar estas plantas para poder eliminar esos riesgos, y eso vale mucha plata; y en Colombia no hay plata.

Como se manejó mucho por el lado hidro, nosotros generábamos el 80-85% de la energía de un año por hidroelectricidad; las térmicas se veían como el comodín, como lo secundario. Entonces, en cierta forma, hubo un descuido en el mantenimiento térmico, si se puede llamar descuido. Realmente en el fondo, cuando uno analiza las cifras de las empresas que tenían generación térmica, se halla que las tarifas en Colombia no daban los suficientes

ingresos. No hay plata en el sector, y entonces los mantenimientos y nuevas inversiones o modernizaciones se retrasan; y como el fuerte era hidro pues se ataca la hidro: problemas de grandes proyectos, problemas en el tiempo; y la térmica, pues en cierta forma es secundaria frente al gran aporte del hidráulico.

Resumiendo, el problema energético en Colombia es que se decidió colocar los "huevos en una sola cesta" y esta se llama hidroelectricidad. En Inglaterra pasó lo mismo, pero con el carbón; allá hubo una huelga en la década de los setenta y otra en los ochenta y fueron unos racionamientos terribles, porque dependían del carbón en un 99%. Por lo tanto, "poner los huevos en una sola cesta" es muy peligroso, y eso nos pasó acá. Ya el plan energético nacional, que por primera vez tiene el país, en este momento establece una estrategia que también se plasma en el plan del salto social, en el cual se dice que vamos hacia una componente más equilibrada entre térmica e hidroeléctrica; estamos migrando a una componente 65%

CONCRELAB LTDA.
LABORATORIO DE CONCRETOS SUELOS Y PAVIMENTOS

PRACTICAMOS ENSAYOS DE:

- Hormigón y agregados
- Cementos
- Compactación Proctor
- Densidades en el terreno
- Mezclas bituminosas
- Marshall, Hubbard Field
- Compresión simple, CBR
- Ensayos de morteros
- Ultrasonido
- Pruebas de carga

**CONSTRUCCION Y VENTA DE EQUIPO PARA CONTROL DE CALIDAD
CUARTOS HUMEDOS CON ENERGIA SOLAR PARA CURADO DE HORMIGON**

Calle 60A N° 70-36
Teléfonos y Fax: 251 3701 - 223 5656 - 276 2014 - 436 1637 - 436 4506 - 430 5840
Santafé de Bogotá, D.C. - Colombia



hidro, 35% térmica, con un incremento adicional sobre todo en el aporte de gas.

También en el caso del gas hay una nueva discusión: ¿hacemos más gas?, ¿qué pasa con el carbón? Parece que el gas es más económico que el carbón; sin embargo, hay mucho carbón en Colombia y no podemos volver a cometer el mismo error de centrar todo el desarrollo en el gas. Si hay problemas en el gas vamos a tener problemas en el abastecimiento.

Conclusión: creo que estamos mirando ya a ser menos vulnerables de lo que éramos en el pasado.

Creo que esta pregunta ya fue respondida en cierta forma. Las causas se dieron al tomar una decisión estratégica que, ya se demostró, no fue la mejor, de hacer el desarrollo sólo sobre plantas hidroeléctricas.

Hay una incertidumbre permanente a nivel del país, de la prensa y de las personas, y hay el síndrome de razonamiento en todo lo que se vive diariamente. Cada rato, los funcionarios públicos vemos los casos de los ministros, el anterior y el actual, que cada vez que salen a dar declaraciones, pues, tienen un problema cuando tienen un sistema en el que el 80% se genera con hidro y les preguntan si va a haber o no racionamiento; es como si les dijeran: consulte su bola de cristal y diga si va a llover este año o si el otro año no va a llover, para que pueda definir si habrá o no un racionamiento. Entonces, se ha venido apuntalando los proyectos en desarrollo para mejorar la componente térmica y tratar de hacer unos análisis con condiciones críticas, para asegurarse por lo menos con algún grado de certeza y siendo pesimistas, de que se pueda decir que no habrá racionamiento, como en este momento se puede decir, en un año afortunada-



mente bastante bueno hidrológicamente.

No hay que poner los “huevos en la misma cesta”; hay que diversificar las fuentes energéticas si realmente se quiere hacer este desarrollo, y eso es lo que se está haciendo.

En conclusión, sí hay energía y suficiente capacidad instalada; no podemos sobreinstalarlos más porque el costo también lo pagan los usuarios; mejor es la complementariedad energética. Sobre la mala calidad del servicio, es posible que se esté presentando, no pienso que sea un servicio perfecto. El problema no es político, desde el punto de vista de que estamos en una nueva estructura del sector, donde ya está abierto el mercado para que el inversionista privado venga y haga las inversiones. En este momento, con la estructura que hay, que es una estructura que está siendo favorable al sector, en el sentido de que introduce un inversionista privado que tiene otras reglas del juego para hacer su empresa, para operar y contratar y, por otro lado, con su conocimiento del negocio y su posibilidad de mejorar la eficiencia, entonces, no va haber un plan central sino un plan indicativo nada más. Y el problema está en los inversionistas que vengan y que sientan que éste es un negocio también, porque el servicio público no debe entenderse como un

negocio de beneficencia, dado que se terminaría prestando mal la calidad del servicio, como tal vez es lo que estamos viendo, cuando se trabaja con tarifas muy bajas.

DR. MARINO ESTRADA

El sector eléctrico colombiano tiene dos problemas de los cuales se derivan todos los demás:

Problemas estructurales: si hay un sector que sea multidisciplinario, que requiera una gran cantidad de profesionales muy especializados, es el suministro de energía eléctrica. Necesita ingenieros térmicos, ingenieros geólogos, ingenieros hidroeléctricos, ingenieros de petróleo, ingenieros de gas, ingenieros electricistas, sociólogos, políticos, ingenieros ambientalistas.

En Colombia no hay una sola entidad rectora, que hubiera podido imponer un plan de desarrollo. En el año de 1953 se contrató para hacer el primer plan nacional de electrificación. Este plan fue realizado en el año de 1964. En 1979 Planeación Nacional, ISA y el gobierno alemán hicieron un tercer plan nacional de desarrollo. Como en la formulación de estos planes intervienen gran cantidad de personas y no hay una sola entidad rectora, esto permite que estos planes



Subestación Eléctrica Termopaipa.

sean distorsionados a la conveniencia de los políticos de turno. Entonces, hay multitud de entes que hacen la misma función, con el origen de fondos comunes, pero que tienen conflictos de intereses. Yo soy ministro de Minas, y me encontré que el plan dice que hay que construir la central de La Miel. La central de La Miel queda en mi departamento, queda en mi municipio, y yo puedo decir que esa central se construya con fondos nacionales, la electrificadora de Caldas; pero si la central va a quedar en Armenia, yo se la puedo dar al ICEL, y si va a quedar en Sogamoso, que la construya ISA. Los fondos son comunes, pero yo puedo dárselas a tres entidades.

Las tres empresas que mejor han funcionado en el país no han recibido plata del presupuesto nacional. Las tres empresas que peor han funcionado en el país dependen todas del Ministerio de Minas y todas han recibido enormes cantidades de plata del presupuesto nacional. Las nuevas medidas llevaron a destruir las empresas que estaban funcionando bien en Colombia; están totalmente destruidas y totalmente amarradas.

Las construcciones, expansiones e incluso, la operación de las centrales se efectúan más con criterio político y de carácter regional que con carácter de interés nacional. La escogencia

de las centrales se efectúa esencialmente con carácter político.

DR. ÁLVARO INFANTE

La incapacidad del sector eléctrico para atender la demanda en forma continua, económica y confiable.

Según la información dada en el libro "El apagón en el sector eléctrico", las causas son:

- La corrupción y los malos manejos administrativos.

- La mala planificación, el endeudamiento del sector y una equivocada política de la determinación de la pro-

porción hidroelectricidad contra termoelectricidad.

- Mal funcionamiento del sector como sistema: diseño organizacional, proceso de toma de decisiones, crisis financiera, falta de mantenimiento, costos irreales, racionamientos.

- Actos de Dios: fenómeno del Niño, atentados de la guerrilla, agitación laboral.

Yo me voy a concentrar en el planeamiento hidrotérmico del sistema eléctrico colombiano. En el tercer estudio a nivel nacional de energía, en el cual participaron suizos, alemanes, rumanos y colombianos, en marzo del 82 se produjo el estudio en el cual una de las conclusiones importantes fue la siguiente: "El programa de generación contempla una contribución limitada de energía térmica; su participación bajaría del 14% en el año 84 al 7% en el año 2000, debido a que se cuenta con un gran número de proyectos hidroeléctricos más económicos que pueden servir de base para la expansión hasta el final del periodo". Afortunadamente, no se tuvo en cuenta porque en el año del apa-

Costos comparativos

	Carbo-eléctrica	Turbina de gas		Hidroeléctrica	
		C. simple	C. comb.		
Capacidad, MW	600	600	600	1000	1000
Factor de Planta	0.8	0.8	0.8	0.5	0.5
Generación Anual, GWh	4205	4205	4205	4380	4380
Inversión específica, US\$/kW	1000	400	800	1500	2000
Inversión total, US\$ Millones	600	240	480	1500	2000
Precio del combustible	US\$ 20/ton	US\$2.00/ MBtu	US\$2.00/ MBtu	-	-
Período Amortización, años	25	15	15	50	50
Costo de la energía US\$/kWh	0.02878	0.0362	0.0358	0.0355	0.0471

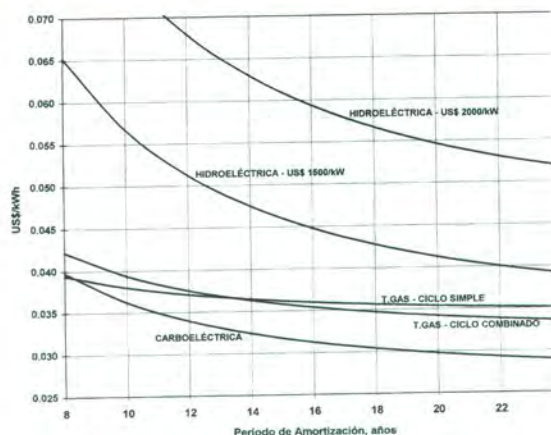


Gráfico 1. Costos comparativos de generación en termoeléctricas e hidroeléctricas. Sensibilidad al periodo de amortización.

gón la proporción térmica era del 22%.

En este cuadro, he tratado de mostrar los costos comparativos que se hacían antiguamente. Es el estudio tradicional, en el que se encuentran cinco plantas diferentes, una carboeléctrica, una planta con turbina de gas en ciclo simple, una planta con turbina de gas en ciclo combinado, y dos hidroeléctricas de diferente costo. Las capacidades en las térmicas son de 600MW y en las hidroeléctricas de 1000MW. Las hidroeléctricas tradicionalmente en el país, debido a factores hidrológicos, han trabajado con un factor de planta aproximadamente de 0.5, mientras que una térmica bien utilizada debe poder trabajarse por lo

menos con el 0.8. Esto nos lleva a que las generaciones anuales son comparables: 4205 KWh al año en las térmicas contra 4380 KWh al año en la hidroeléctrica.

Si se consideran periodos de amortización más reales, que hay que tenerlos hoy en día, más cuando estamos en un proceso de privatización de la generación. Si se amortiza en un periodo más corto, como en las hidroeléctricas debido a la muy alta inversión inicial por Kw, los precios se van a niveles sumamente altos. Entonces ya entramos a analizar la curva siguiente, que es la de las térmicas; en ellas, si se pudiera financiar la deuda externa, ya que plata no hay para hacer estas plantas, si se puede fi-

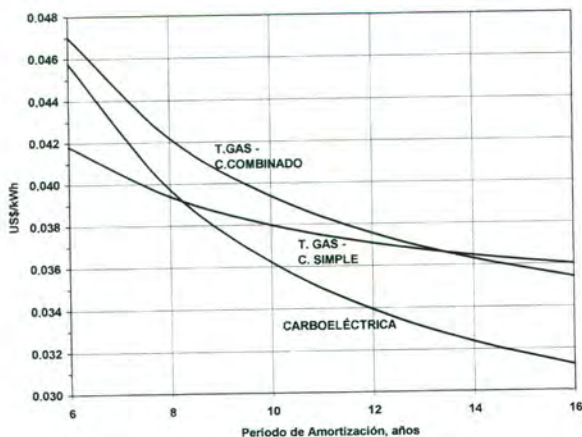


Gráfico 2. Costos comparativos de generación en termoeléctricas. Sensibilidad al periodo de amortización.

nanciara 10 años, la carboeléctrica es la solución ideal y más económica.

Con lo anterior se quiere proponer que se establezca un plan para que el gobierno pueda firmar contratos de compra de energía a largo plazo; de lo contrario, no tendrá la inserción que necesitamos, en su mayoría inversión extranjera (si no hay contratos a largo plazo, no entra el sector privado).

DR. GABRIEL SÁNCHEZ SIERRA

Éste es un seminario del sector eléctrico, no del sector energético. Es demasiado sesgado decir el problema del sector energético; yo creo que se debe hablar del desarrollo del sector energético y en particular del desarrollo del sector eléctrico. Somos agoreros del desastre; el presente nos gusta verlo con la angustia de lo malo del pasado. Este país dormía en las ilusiones del carbón; hoy, después de 25 años, somos el cuarto productor mundial del carbón y uno de los más importantes exportadores de carbón a nivel mundial. En gas, el gas era únicamente concentrado en la costa atlántica; hoy se regó el gas por todo el país. Estos son cambios extremadamente positivos en el desarrollo energético del país. Cuando uno mira hidrocarburos, en la década de los setenta éramos importadores netos y nos íbamos a gastar en ellos US\$ 5.000.000, que eso no lo aguantaba la economía del país; hoy somos exportadores netos, uno de los más importantes a nivel latinoamericano y tenemos una decente base hidrocarbúfera para enfrentar el futuro.

En el sector eléctrico venimos de época difícil, pero debe mirarse con optimismo el futuro y lo que se está haciendo. Éste es un país que está saliendo del anacronismo del Estado metido en todo, a una participación abierta, competitiva, de Estado-sector privado. Y estamos viendo la transición más profunda en los últimos 50 años en el sector eléctrico. Entonces, para mí, si bien es cierto que hay una



Instalaciones del proyecto Drummond. La Loma, Cesar.

situación que hay que saberla enfrentar, yo ni siquiera la clasificaría como un problema; es una situación con oportunidades, es una situación que tenemos que saber manejar. Si ustedes me preguntan, cómo califica usted esa situación del sector eléctrico colombiano, yo la definiría en una palabra que no es ni buena ni mala: estamos en la transición del Estado al mercado abierto, y todas las transiciones, desde la ex soviética a la Rusia de hoy, de la Alemania Oriental a la

Alemania de hoy, son partos dolorosos y eso es lo que estamos viviendo. Esa sería mi caracterización de la situación del sector eléctrico.

Tiene problemas como el subabastecimiento; hay un síndrome de racionamiento que también es problema. Yo rescato los planteamientos hechos, como el tema hidro, el tema del Estado, el tema de la corrupción, la mala planificación, el endeudamiento, todo esto, pero yo lo resumo en otros términos porque todos esos

son resultados de otras situaciones. El tema hidro. Aquí se mencionó Noruega como eficiente, como que nunca tiene un racionamiento, pero no hay que olvidar que en Noruega tienen unas estaciones que garantizan que hay nieve o nieve. Claro que Chile no es así, y el sistema ha funcionado bien; entonces yo no me pongo a discutir mucho el tema hidro y la planeación. Para mí, el resultado malo, que afortunadamente lo estamos cambiando, es un Estado ineficiente. Desde México hasta Argentina, el Estado metido en el sector eléctrico lo hace mal; el resultado de los últimos 30 años de tener el Estado metido en el sector eléctrico latinoamericano es que las finanzas de la Comisión Federal de Electricidad, de la empresa argentina, hondureña, salvadoreña, etc., todas están en bancarrota, y el gobierno a rescatarlas quitándoles el dinero a los sectores sociales (salud, educación, vivienda) para pasárselo a uno de los pocos sectores que puede ser autosuficiente, que es el sector eléctrico.

La tesis central de la causa del problema es el Estado empresario, siendo mal empresario en el sector eléctrico. Y en esto también cuestio-

SERVICIOS Y ASESORIAS EN EL AREA DE ALIMENTACION

Top Catering L.T.D.A.

◆ Administramos la cafetería de estudiantes de la Escuela Colombiana de Ingeniería ◆

Calle 126 No. 6-28 ○ Tels.: 215 36 72 - 215 64 31 - 620 95 07 ○ Fax 215 86 11 ○ Santafé de Bogotá, D.C.

no cosas que se han dicho acá. Es muy distinto EPM abastecer 1.500.000 habitantes que Bogotá abastecer a 7.000.000 de habitantes y 95 municipios. Y tengo que discrepar en el tema de los salarios. Hay bastantes sofismas cuando se habla de las cargas laborales y las prebendas de la EEEB; yo creo que si algo falta es tener un buen esquema laboral y salarial, para que la gente esté motivada.

Hacia donde vamos hay unos efectos. El efecto fundamental de ese Estado ineficiente es que no hay gerentes, no hay criterios claros para que una persona esté al frente de una empresa de energía de Bogotá o cualquier otra; son criterios políticos fundamentalmente. En las empresas del Estado a uno no lo miden como gerente de verdad, ni la junta directiva es de verdad, mientras que en el sector privado si usted es un buen gerente y la empresa tiene utilidades y tiene rentabilidad se queda, y si no, no sirve. Ésa es la gran diferencia; entonces, cuando se mira una empresa eléctrica que se está armando y uno hace todo el análisis económico después de la adjudicación del Estado y resulta que eso no funciona, el sector privado prefiere parar, no tener contratos de largo plazo; la regulación es mala, las tarifas están por debajo de los costos, nos vamos. El sector público no tiene presión de rentabilidad.

Se necesita una participación de verdad del sector privado, en igualdad de condiciones, que son las cosas que en la transición que vivimos son muy difíciles para una compañía privada que debe tener rentabilidad, que tiene que vender la energía por encima de lo que son sus costos para que tenga una rentabilidad, y poder competir con empresas del Estado donde ese gerente no tiene ninguna presión de rentabilidad y lo único que a él le interesa es colocar toda su energía y

tener un flujo de fondos más o menos adecuado.

Yo termino diciendo algo que suena duro, pero una de las grandes ventajas del sector privado es que él solo, sin necesidad de que Planeación Nacional intervenga, él hace sus cálculos y decide si lo mejor para él es una

turbina de gas, si es una carboeléctrica o una planta hidroeléctrica. Yo creo que necesitamos menos Estado metido en un sector donde, infortunadamente, demostró por mucho tiempo que es muy ineficiente. Como confirmación no sólo lo dice Colombia sino toda América Latina. ▽

Las comparaciones no son odiosas, son necesarias

TUBERIA DE CONCRETO TITAN®

la mejor selección



Tubo rígido TITAN® de 60 cm. de diámetro por 2 m. de longitud, bajo carga de 11.5 toneladas, sin soporte lateral.

1. Más resistente

que cualquier otro producto en competencia. Fabricada con hormigón de 350 Kg/cm².

2. Mayor durabilidad y rigidez

Hormigón denso y homogéneo, que no sufre de acartonamiento ni degradación en sus propiedades mecánicas. Mantiene su circularidad en condiciones de trabajo.

3. Juntas estancas y flexibles

La fabricación en posición "campana abajo" asegura medidas exactas y el ajuste del empaque de caucho en la junta.

4. Mayor economía

Por su bajo costo inicial, su rendimiento hidráulico y su larga vida útil.

Tubería sin refuerzo en diámetros desde 15 cm. hasta 100 cm. según Norma ICONTEC 1022 (ASTM C14)

Tubería reforzada en diámetros desde 60 cm. hasta 130 cm. según Norma ICONTEC 401 (ASTM C76).

TITAN
MANUFACTURAS DE CEMENTO S.A.

DEPARTAMENTO DE ASESORIA TECNICA Y VENTAS

Autopista Medellín 1.5 km, costado occidental (Uniabastos, frente a Motorcol)

Por Luz Stella Millán Grajales

La Bolsa de Energía y la situación energética

Entrevista con el Ministro de Minas

Rodrigo Villamizar Alvargonzález
Ingeniero Mecánico de la Universidad del Valle.
Master en Economía, candidato a doctorado en
Economía de la Universidad de Texas, actual
Ministro de Minas y Energía, es nuestro
invitado a la entrevista de esta edición de la
Revista. Recordemos algunos de los más
importantes cargos ocupados por él: Director
General de la XI Cumbre de Países No
Alineados, Embajador Extraordinario
Plenipotenciario en Japón, Presidente del IFI,
Director Ejecutivo de CAPETROL, Gerente
General de PAPELCO - Cali y Director de
Planeación Nacional.



Agradezco al señor Ministro por haberme concedido un tiempo de su apretada agenda, en el día en que se produce una nueva alza en la gasolina y cuando aún no ha atendido a ningún miembro de la prensa nacional. Nuestra conversación girará sobre los siguientes temas: la creación de la Bolsa de Energía, el programa de ampliación de la red de gas, la privatización del sector eléctrico y, por supuesto, la pregunta de rigor: ¿tendremos los colombianos un nuevo apagón?

Ha señalado el Ministro de Minas la oportunidad y pertinencia de estas preguntas y ha enviado un caluroso saludo a la comunidad de la Escuela, en la que recuerda haberse desempeñado como catedrático.

¿Cuándo fue creada la Bolsa de Energía en Colombia?

Se creó el 20 de julio de 1995, un día después de mi posesión como Ministro; con eso quiero significar que estamos apenas en su etapa inicial. La Bolsa de Energía está manejando un 22 ó 24% del mercado total; así las

cosas, todavía está en un nivel bajo de cobertura, y como experimenta fluctuaciones realmente grandes, no se puede pensar que ése sea un punto de referencia definitivo para el futuro del sector. Pero su evolución ha ido por encima de las expectativas, y éste es un

aspecto interesante porque de ahora en adelante todos los contratos y los nuevos proyectos de generación térmica-gas, térmica-carbón e hidroeléctrica, que seguirán siendo fundamentales en Colombia, tendrán que regirse por los precios de

la Bolsa y ya no tanto por los llamados PPA, o contratos de largo plazo, que estábamos haciendo con el fin de atraer a los inversionistas privados. La generación de energía eléctrica en Colombia está pasando a manos privadas.

Son cinco o seis únicamente las naciones que en el mundo tienen la llamada

“bolsa de energía”; ¿por qué Colombia se ubica entre ellas y entra en esta dinámica?

Hace unos años se tomó la trascendental decisión de separar al Estado de la generación. Ya no se costean los proyectos con recursos del presupuesto nacional sino a través del sector privado, y esto no en todo el mundo funciona. Para eso se requiere que haya transparencia en los precios; para su participación, el sector privado considerará los precios determinados por las fuerzas del mercado y no por la decisión de un ministerio o por la influencia política de una electrificadora. Esto impone, casi como requisito indispensable, que exista una bolsa donde sean negociados abiertamente los excedentes del sistema interconectado. Quienes no puedan colocarlos a precios ideales, tendrán que suministrarlos a los precios reales del mercado, que pueden ser más bajos. Esto es benéfico para todo el mundo, incluso para quienes van a entrar a generar energía.

¿Qué resultados arroja el funcionamiento de la Bolsa de Energía con inversionistas privados?

En este momento la Bolsa funciona a través de unos centros de información; el principal está en Medellín, donde funcionan ISA y todo el sistema interconectado, el cual recibe las

cotizaciones de quienes están transando en el mercado y de aquellos que piensan colocar energía libremente en la bolsa; a través de un método de selección, se va dando prioridad a los primeros y, así sucesivamente, se van haciendo ofertas gradualmente a través de ciertos precios; quienes están recibiendo energía pero no tienen contratos a mediano plazo salen a buscar y esperan el momento que crean conveniente; el precio de la energía es el adecuado. Las transacciones se están llevando a cabo en Medellín y también en otras ciudades y pensamos ampliar esto a todo el país. Funcionarían las bolsas de Bogotá, Medellín y Cali. Con la dotación y sistematización de estos centros de intercambio de información, las empresas, sobre todo las distribuidoras, estarán enteradas de las transacciones, los excedentes o faltantes de cada momento.

Esto es importante en las épocas de verano, cuando entran a operar las térmicas y salen las generadoras de energía hidráulica. La Bolsa ha sido un

fenómeno positivo de evolución muy rápida en Colombia; en menos de siete meses ya manejaba la cuarta parte de la demanda de energía.

¿Podemos destacar un ejemplo importante de las cinco bolsas existentes en el mundo? ¿Cuál es la que mejor funciona?

El modelo más importante para mí es el japonés que pude ver de cerca en Tokio, aunque sé que en Estados Unidos hay muchos ejemplos; y en Europa, especialmente Inglaterra. Se puede observar que, a pesar de las diferencias de magnitud, vamos acercándonos con rapidez a lo que puede ser un

sistema estable.

¿Existe una aprobación fundamental del gobierno colombiano para el funcionamiento y fortalecimiento de este tipo de inversión en bolsa?

Lo primero

que debemos anotar es que aquí funciona como elemento básico la regulación. Tenemos la Comisión de Regulación de Energía y Gas que yo



presido. Allí revisamos la normatividad y promovemos una mayor apertura del mercado. Hemos expedido resoluciones para que las empresas generadoras gigantes, como Medellín o Bogotá, antes de cotizar su propia energía la ofrezcan a los terceros —Bogotá, por ejemplo, a través de Guavio o Termozipa—. Y ello genera más mercado y obliga a que buena parte de las empresas, especialmente aquellas que generan y distribuyen, participen en el mercado; ése es el elemento más importante: que los kilovatios se estén transando en el mercado.

¿Las pequeñas empresas de energía registran una serie continua de pérdidas; ¿qué hará el Ministerio para cambiar esto?

Las electrificadoras, especialmente en la parte de distribución, no por pequeñas han de ser no rentables. Lo que pasa es que algunas tienen mercados débiles, como en los casos de Pasto, Sucre y la Guajira, donde la mayor parte de los consumidores son

... para su participación, el sector privado considerará los precios determinados por las fuerzas del mercado y no por la decisión de un ministerio o por la influencia política de una electrificadora.

residenciales de estratos 1 y 2, subsidiados; no hay allí consumidores industriales importantes. Hoy su situación está mejorando con plantas de generación eléctrica, especialmente de gas, ubicadas en ciertas zonas, que les permiten bajar los costos y fortalecer los mercados débiles, aunque creemos que hay mercados tan débiles, que va a ser casi imposible mantenerlos.

¿Qué se haría en esos casos?

Lo primero, sería la liberación de las tarifas; segundo, la racionalización de los subsidios, que son una fuente de conflictos. El tercer paso sería el fortalecimiento de la Bolsa, porque si esas empresas, en cambio de tener que vender sus kilovatios por debajo del costo, los venden a la Bolsa, obtendrán la compensación de los costos mínimos y, ojalá, unos márgenes adicionales. Eso beneficiará a todos los

interconectados; lo mismo que si se lograra mejorar la nivelación de tarifas hacia el futuro; en este momento nos rige el Pacto Social, pero tenemos que ir liberándonos un poco. Tenemos, igualmente, que fortalecer las finanzas de estas empresas, y eso es responsabilidad de este ministerio; estamos interesados en hacerlas más eficientes y productivas, y tenemos programas de manejo, de competitividad y de gestión para que sean más fuertes. Pero esto no se logrará sólo con el juego del mercado; es indispensable que las administraciones locales, las gobernaciones nos ayuden para que estas empresas sean por lo menos autosuficientes; si no lo hacemos así, el capital privado nunca va a entrar a financiar la infraestructura.

Dentro de estas condiciones, ¿cómo se manejará el Pacto Social?

El Pacto Social ha sido acogido por nosotros; nos hemos mantenido dentro de los límites del reajuste tarifario, pensando definitivamente que si toda la economía se acoge al pacto todos los costos van a estar sujetos al nivel máximo de reajuste, que en este momento es del 17%. Al mismo tiempo, el Pacto Social permite incentivos adicionales siempre y cuando correspondan a aumentos de productividad; por eso estamos haciendo las empresas más eficientes.

Y, finalmente, algún día, habremos de terminar el desmonte de los subsidios, lo cual, unido a las tarifas determinadas por el Pacto Social, proporciona a las empresas

un colchón de seguridad.

¿Por qué se hace tan poco comprensible para la gente el sistema tarifario y, particularmente, el desmonte de los subsidios?

Hemos tenido mucha confusión desde el punto de vista normativo. Los subsidios se fueron generando y aumentando, unos por ley, otros por normas locales y regionales y otros, sencillamente, casi por capricho. Veamos el punto de los servicios no autorizados por la ley. La ley 142 dice claramente que se conceden 200 kilovatios a los estratos 1, 2 y 3, que son los que realmente lo necesitan. Al estrato 1 le reconocemos el 100%, al 2 el 60% y al 3 el 30%; de resto, nadie más tiene derecho a subsidio. Si sumamos los subsidios actuales que no han sido autorizados por la ley, encontramos que éstos le cuestan a Colombia unos 420.000 millones de pesos; y que se les están dando a gente que no los necesita, incluso de los estratos 5 y 6. Entonces, nos hemos propuesto desmontarlos,

además no sólo porque queramos, sino porque la ley ordena que todos los subsidios establecidos por ella deben quedar desmontados a más tardar el 11 de julio de 1996.

...la ley ordena que todos los subsidios establecidos por ella deben quedar desmontados a más tardar el 11 de julio de 1996.

Vamos a presentar el proyecto de una nueva ley para que el impacto del desmonte no sea tan fuerte. Ese impacto en algunos casos es demasiado sensible; vamos a tratar de manejar esto según las condiciones particulares de los estratos.

De regreso al Pacto Social y al estrato 4, donde el impacto es violento, ¿qué ocurrirá allí, para mantener el 17%?

No podemos alterar allí ni en ninguna otra parte el aumento de tarifas, que va a ser del 17%. En el desmonte de los subsidios, lo que vamos a hacer es tratar de distribuirlo en dos años; eso alivia un poco, sobre todo, a los estratos intermedios, como el 4, que no tienen subsidios pero tampoco sobretasas. Recordemos que hoy existen sobretasas para el 5 y el 6, mientras para otros estratos los subsidios son muy altos; por eso hemos pensado desmontarlos gradualmente.

¿Qué ocurrirá con las grandes empresas del sector eléctrico, generadoras y



distribuidoras, que están interconectadas?

Las generadoras son fundamentalmente las grandes, como Bogotá, Cali, Medellín, Corelca e Icel. El resto del país no necesita que en cada lugar haya una planta generadora, sino que haya distribuidoras que compren la energía que pueden obtener a través de la red interconectada. La verdad es que ya no importa en Colombia dónde se ubique la represa o el proyecto, porque basta conectarlo a la red. Por ejemplo, Betania le está vendiendo a Cartagena a precios mucho más bajos de lo que le vende Barranquilla a Cartagena.

¿Cuál sería el futuro?

Se tratará de seguir separando la generación de la distribución según lo dispone la ley. En segundo lugar, se pretende fortalecer la generación para que el capital privado se interese en desarrollar planes de expansión, que ya no serán del Gobierno; éste los coordinará pero no los financiará. En cuanto a las distribuidoras, la tendencia es que cada una se concentre en su región y que lo que no venda lo lleve a la Bolsa; no está obligada a venderlo sólo a los departamentos vecinos.

¿El gas se asignará exclusivamente al sector doméstico, o llegará también al sector eléctrico?

El gas debe dar para todo. Colombia tiene mucho gas. El problema

actual es de infraestructura; son los tubos: estamos limitados a pesar del gran esfuerzo que se ha hecho. En nuestro país el consumo de gas va a ser más o menos de un 40% para las plantas térmicas, un 30% para la industria y un 30% para el sector residencial; ése es un equilibrio muy bueno. Hay algunos países cuyo consumo es casi todo residencial y eso lo hace muy costoso, porque este sector tiene que costear toda la inversión; y como no es un sector de alto consumo, las tarifas resultan muy altas. Aquí tenemos consumidores grandes; al lado de cada tubo hay dos o tres plantas térmicas lo cual es un privilegio. En síntesis vamos a tratar de mantener el equilibrio del consumo sectorial proyectado.

¿Qué se está haciendo en el país en este momento para la expansión del gas?

¿Continúa atrasado el plan?

Estamos construyendo cuatro gasoductos; todas las plantas térmicas de gas están colocándose cerca de esos gasoductos, con lo cual garantizamos el 40% del consumo. Ya hay contratos con empresas, como Ecopetrol, BP y Texas, que entregan el gas a la industria directamente. Estamos hablando de que un 60% del gas está básicamente colocado y nos queda un 30 ó 40% que será colocado a través de la red domiciliaria; para eso estamos tramitando

licitaciones por medio de las cuales se entregarán con exclusividad a los distribuidores las áreas diseñadas. Estamos entregándoles gas a los sectores residenciales, especialmente a los de bajos ingresos. Hoy tenemos unas 350.000 viviendas conectadas y para el año 2.000 debemos tener cerca de 2.500.000 conectadas en todo el país. El plan estuvo atrasado porque no había gas; lo encontramos hace muy poco tiempo. No sabíamos que teníamos gas, hasta el punto de que la expansión del sector eléctrico estaba diseñada con base en la energía hidroeléctrica y con apoyo en las carboeléctricas. Pero hoy sabemos que tenemos gas, y bastante; el problema ha sido cómo distribuirlo. Por eso estamos construyendo tubos a toda velocidad.

¿Habrá racionamiento energético en el 96?

Este año, no; y es muy probable que el próximo año tampoco, porque las condiciones que se habían dado para pensar que podría haber racionamiento han mejorado. El verano que esperábamos muy fuerte este año no ocurrió; el fenómeno del Niño no llegó; el plan de gas está funcionando más rápido de lo que esperábamos, y todos los proyectos que necesitamos que entren en este año están en el cronograma. Tebsa de Barranquilla,

Termoflores, Termodorada y Termocentro están entrando a tiempo; para el próximo año entrará otra central importante en el Valle; igualmente Termosierra. Estamos en una situación mejor de la que teníamos hace cinco meses, más optimista.

Quisiera expresarle a todos los miembros de la Escuela que yo soy ingeniero mecánico y sigo insistiendo en que Colombia necesita muchos más ingenieros. Japón tiene un millón de ingenieros y nosotros tenemos treinta y cinco mil; Japón tiene veinte mil abogados y nosotros sesenta y cinco mil; nada contra los abogados o contra el derecho, pero debemos cambiar las proporciones. La gran fortaleza de la China hoy es que tiene ocho millones de ingenieros; Estados Unidos tiene apenas un millón. Hay que seguir insistiendo en la ingeniería. Colombia necesita muchos más técnicos y tecnólogos y gente que sepa transferir tecnología aplicada



Confinamiento inercial para la fusión nuclear controlada

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

La obtención de energía en forma limpia y segura es una de las metas de la humanidad, debido en buena parte a la gran dependencia que se ha creado en el consumo de energía para su bienestar y desarrollo. La comunidad científica mundial lleva varias décadas estudiando alternativas energéticas al uso de combustibles fósiles, puesto que los problemas ambientales que su utilización acarrea han sido ya comprobados y, además, su existencia es limitada. En el volumen anterior de esta revista⁽¹⁾ se publicó un artículo (al cual identificaremos de aquí en adelante como I) en el cual se presentaba la fusión termonuclear controlada como una alternativa energética viable en cuyo desarrollo se ha avanzado mucho en los últimos años. Así mismo se hizo en I una introducción al tema de la fusión y los conceptos generales de plasmas y reacciones nucleares (se recomienda al lector revisar este artículo para ver estos aspectos generales).

Un plasma de fusión consiste en un gas altamente ionizado de deuterio y tritio, dos isótopos del hidrógeno

con masa atómica 2 y 3, respectivamente. El deuterio es abundante en el océano (40 g por tonelada) y el tritio se puede obtener con relativa facilidad del litio, cuya abundancia es de 0.1 g por tonelada de agua de mar; es decir que de un metro cúbico de agua de mar puede obtenerse energía por fusión equivalente a la obtenida de 200 lt de petróleo. Un volumen de agua de mar equivalente a un metro de profundidad de los océanos daría energía por fusión suficiente para satisfacer las necesidades energéticas de la humanidad durante miles de años, a la tasa de crecimiento de hoy. Recordemos que por cada reacción nuclear de fusión entre el deuterio y el tritio se liberan 14.06 MeV de energía, repartida como energía cinética de los subproductos: una partícula alfa (núcleo de helio) y un neutrón.

La fusión nuclear es la fuente de energía del universo. Toda la energía generada por las estrellas, el sol incluido, proviene de fusión nuclear. En el núcleo de las estrellas ocurre la nucleosíntesis del hidrógeno, proceso en el cual se unen dos protones para formar un núcleo de helio con un sobrante de energía. Las condiciones presentes en el núcleo de las estrellas

son extremas: temperaturas del orden de 100 millones de grados y presiones de millones de bares. Para obtener energía por fusión es necesario reproducir en forma controlada estas condiciones en un reactor. Esto implica confinar un plasma a estas altísimas temperaturas. En I se presentaron dos formas de confinamiento: el magnético y el inercial. El confinamiento magnético fue descrito con algún detalle en I. Un reactor de fusión con confinamiento inercial se basa en unos principios físicos y una tecnología muy diferentes de los del confinamiento magnético, aunque la reacción nuclear sea la misma. El tema central del presente artículo es la descripción del confinamiento inercial; los métodos que existen para su obtención y los principios en que se basan.

2. CONFINAMIENTO INERCIAL

El principio básico del confinamiento inercial en un reactor de fusión es la inercia de una implosión. Así como en una explosión se transporta energía desde un centro hacia afuera, en una implosión se transporta energía desde la periferia hacia el centro (ver Figura 1). Es decir que una implosión es una explosión hacia adentro. En una expansión rápida de un cascarón esférico se presenta una implosión del medio rodeado por el cascarón, debido a la conservación de la cantidad de movimiento. Este es el mismo principio de propulsión de los cohetes: al ser emitido el combustible hacia atrás, el cohete se mueve hacia adelante. Aquí, al expandirse el cas-

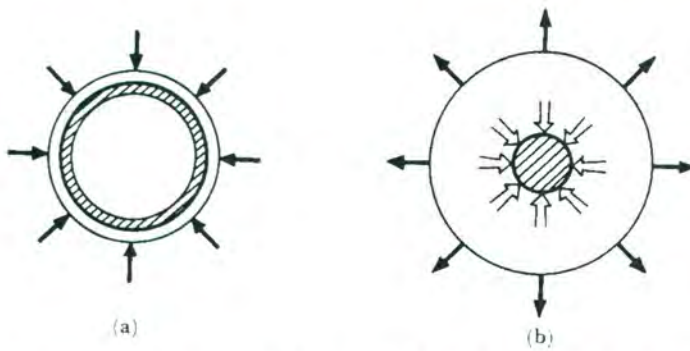


FIGURA 1. Esquema de una cápsula de combustible en un experimento de fusión con confinamiento inercial. a) Irradiación de la superficie de la cápsula con rayos láser, rayos de partículas o rayos X. b) Expansión de la cáscara y la subsiguiente implosión del combustible.

carón, el resto del combustible es enviado hacia adentro.

En un reactor de fusión con confinamiento inercial se implosiona una cápsula rellena del combustible deuterio-tritio a baja densidad (1.0 mg/cm^3) y cubierta de un material de fácil vaporización. Esta cápsula es irradiada con alta energía como se indica en la Sección 3. Esta energía es absorbida por el material vaporizable, que al vaporizarse se expande rápidamente. Esta expansión produce una implosión del combustible, para conservar la cantidad de movimiento.

El combustible de fusión es implosionado con una eficiencia de aproximadamente del 5 al 15%. Esto quiere decir que este porcentaje de la energía es absorbida por el combustible. El resto se utiliza en la vaporización y expansión de la capa superficial. En su configuración inicial, el combustible está en un estado isobárico (presión constante) a una presión de unos 200 gigabares, pero consiste en dos regiones bien definidas: una región central llamada "punto caliente" (*hot spot*) que contiene aproximadamente del 2 al 5% del combustible y la región del combustible principal (*cold fuel pusher*) a una temperatura inferior. La fusión empieza en el "punto caliente" y un frente termonuclear de encendido se

propaga hacia afuera, a la región del combustible principal.

Esta configuración del combustible es muy exigente en cuanto a los requerimientos impuestos por la forma como se irradia la cápsula, incluidas la historia de irradiación y la hidrodinámica de la implosión. La formación del "punto caliente" es uno de los principales problemas del confinamiento inercial. Para que se forme este "punto caliente" durante la implosión, se requiere que el cascarón que está siendo implosionado alcance valores de presión de 1000 megabares y una irradiancia de 10^{15} W/cm^2 , con una velocidad de la implosión de unos $3 \text{ a } 4 \times 10^7 \text{ cm/s}^{(2)}$. Para mantener la simetría de la implosión necesaria para obtener el "punto caliente", se requiere que esta velocidad sea uniforme en un 1%, para así mantener una forma esférica. Si el combustible se mezcla debido a velocidades no uniformes de implosión, no se formará el "punto caliente" y, por ende, no se producirá la ignición del combustible. Estimativos teóricos muestran que para que se obtenga ig-

nición en un reactor de fusión con confinamiento inercial se requiere que el combustible deuterio-tritio sea comprimido a una densidad de aproximadamente 500 veces la densidad original, es decir, del orden de 10^{25} cm^{-3} , y una temperatura de 100 millones de grados, con un tiempo de confinamiento de aproximadamente 10^{-10} s .

La energía de fusión producida por una cápsula está dada por $E_F = \epsilon_f \phi M$, donde ϵ_f es la energía de fusión por unidad de masa, ϕ es la eficiencia de encendido y M es la masa implosionada. Para fusión D-T a una temperatura entre 20 y 40 keV, la eficiencia de la reacción está dada por

$$\phi = \frac{\rho r}{\rho r + 6(gr/cm^2)}$$

donde ρ y r son la densidad y el radio del combustible comprimido. Ya que el tiempo de confinamiento es proporcional a r , el producto ρr es equivalente al producto πr que se utiliza para describir el progreso en confinamiento magnético⁽¹⁾.

La ignición del plasma ocurre cuando la energía depositada por la fusión termonuclear durante un tiempo de confinación o pulso es igual a la energía necesaria para calentar el resto del plasma a la temperatura requerida para fusión. Esto ocurre para valores de $\rho r > 0.21 \text{ g/cm}^2$, que corresponde a una eficiencia de en-

endido de $3.4\%^{(3)}$.

Aunque la ignición es una condición necesaria en un reactor de fusión con confinamiento inercial, no es una condición suficiente, puesto que hay que superar los factores de eficiencia de la implosión (entre 10 y 20) y el

Un volumen de agua de mar equivalente a un metro de profundidad de los océanos daría energía por fusión suficiente para satisfacer las necesidades energéticas de la humanidad durante miles de años, a la tasa de crecimiento de hoy.

factor de eficiencia de la irradiación (*driver efficiency*), que está entre 3 y 20.

Uno de estos factores de 10 puede ser contrarrestado mejorando la eficiencia de encendido φ obteniendo un producto $\rho r = 3$ necesario para un $\varphi = 1/3$. Estas condiciones se pueden obtener con una densidad del combustible de 400 g/cm^3 (equivalente a una densidad del plasma de 10^{26} cm^{-3}), un cascarón esférico con un grosor de $r/2$ y una masa de combustible de 5 mg. Esta masa sería implosionada en 10 ns y produciría una energía de $6 \times 10^8 \text{ J}$. Esta configuración sería fácil de mantener de tal forma que con cinco o seis pulsos por segundo se podría alimentar un reactor de generación eléctrica de un gigavatio. Esta mejora en la eficiencia de encendido parte del hecho de que se ha formado un “punto caliente” en el centro de la cápsula, lo cual depende de la eficiencia de la compresión del combustible y de la forma como se hace la implosión. Es muy importante que se forme el “punto caliente” sin que éste se mezcle con la parte principal del combustible. Si esto se logra, la ignición se presenta en este “punto caliente” y luego se propaga al resto del

combustible. Con un “punto caliente” del 2% del combustible, la energía total requerida para la compresión e ignición del resto de los 5 mg de combustible sería aproximadamente $1.25 \times 10^{25} \text{ J}$. Esto implica una energía de fusión de $2.5 \times 10^7 \text{ J/g}$ y una velocidad de implosión de $2.3 \times 10^7 \text{ cm/s}$. La energía de irradiación necesaria sería $2.5 \times 10^6 \text{ J}$ y el factor de ganancia del proceso (sin contar extracción y generación) sería de 200. Para un reactor comercial de fusión con confinamiento inercial se requeriría un factor de ganancia del proceso del orden de $40^{(4)}$.

Una planta de generación eléctrica de fusión con confinamiento inercial tiene cuatro componentes⁽⁵⁾:

- El sistema de irradiación.
- La fábrica de cápsulas de combustible
- El reactor.
- El generador.

Aquí trataremos más en detalle el sistema de irradiación y el reactor. La fábrica de cápsulas de combustible es donde las cápsulas serán fabricadas y rellenas del combustible D-T. Estas cápsulas requieren de una superficie muy lisa que no contenga estructuras de más de 10^{-4} mm . Debido a que el tritio es muy contaminante —es altamente radiactivo aunque con una vida media de sólo 10 años— el inventario de tritio debe ser restringido y los controles de seguridad muy altos. El generador es el sistema de conversión de la energía térmica proveniente del reactor en energía eléctrica.

Aunque existe un gran interés en la comunidad

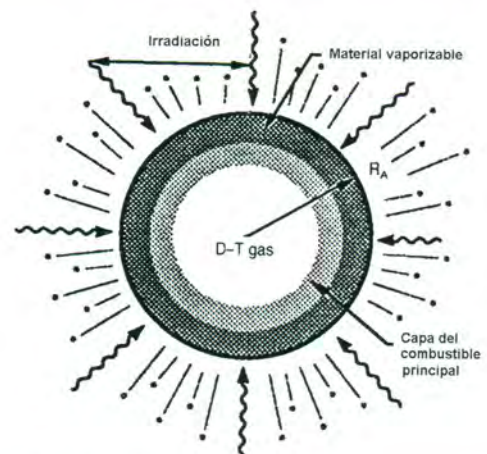


FIGURA 2. Irradiación directa.

científica mundial por obtener energía mediante fusión controlada con confinamiento inercial, la mayor parte de los fondos de investigación dedicados a este tipo de confinamiento provienen de intereses políticos por obtener nuevos conocimientos para el desarrollo de bombas nucleares. Puesto que un experimento de fusión con confinamiento inercial es en esencia una microexplosión nuclear, puede obtenerse información para el desarrollo de bombas sin necesidad de ensayos del tipo de Mururoa, realizados por Francia en los últimos meses.

El final de la “guerra fría” ha traído consigo la desclasificación de mucha información que había sido obtenida como “clasificada” en investigaciones con fines militares realizadas en los laboratorios nacionales de Estados Unidos. Este nuevo flujo de información ha permitido un progreso rápido en las investigaciones de fusión con confinamiento inercial.

3. SISTEMAS DE IRRADIACIÓN

Existen dos sistemas de irradiación⁽⁶⁾: directa e indirecta. La primera (ver Figura 2) consiste en irradiar la cápsula de combustible directamente, ya sea con rayos láser o rayos de partículas cargadas; en la indirecta se irradia

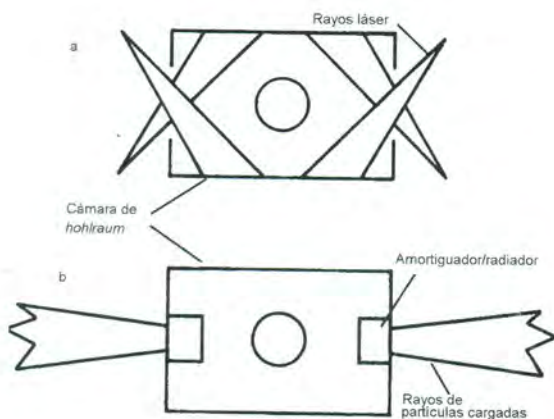


FIGURA 3. Irradiación indirecta. a) Con rayos láser. b) Con rayos de partículas cargadas.

con rayos láser o rayos de partículas cargadas una cámara que rodea la cápsula, la cual está hecha con un material de alto número atómico (*hohlraum*) el cual absorbe la radiación para luego emitir rayos X (ver Figura 3). Los rayos X irradian entonces la cápsula de combustible.

Hay dos tipos de rayos láser que pueden ser utilizados: los de estado sólido (neodimio-cristal) y los de gas (kriptón fluor). Cada uno de éstos tiene sus ventajas. El de estado sólido es el más común debido a su menor costo y al hecho de que puede obtenerse una alta irradiancia (10^{14} - 10^{15} W/cm²) con energías no muy altas, de tal manera que pueden hacerse experimentos con la irradiancia necesaria pero con energías y costos mas bajos; tiene los problemas de que puede sobrecalentarse fácilmente y que tiene una eficiencia relativamente baja (60% a lo sumo). Los láser de gas, como el KrF, tienen las ventajas de que pueden refrigerarse fácilmente haciendo circular el gas por un radiador de calor y que su longitud de onda de 250 nm se acopla bien a la cápsula de combustible; el uso de estos láser es complicado por su periodo de emisión espontánea tan corto, es decir que el gas no acumula energía en los estados excitados por mucho tiempo sino que emite esa energía después de un tiempo muy corto. Por lo tanto, para obtener una buena eficiencia se requiere una continua extracción de

energía del gas, por lo cual el pulso de fusión tiene que ser más corto.

Existen también dos tipos de irradiación con rayos de partículas cargadas, que dependen del tipo de partículas aceleradas. Las hay livianas —litio por ejemplo— y pesadas: xenón, cesio o bismuto, por ejemplo. Las irradiaciones de partículas livianas utilizan en general un sistema de pulsos eléctricos que se acortan progresivamente mediante diferentes técnicas y que luego se aplican a un diodo cuyo ánodo emite las partículas deseadas. Los iones son acelerados normalmente en un solo paso con lo cual se obtienen eficiencias del orden del 20%. Este sistema es usado con frecuencia en laboratorios pequeños debido a su bajo costo. Para reactores comerciales no serviría puesto que se requerirían unos pulsos eléctricos muy intensos que quemarían el diodo.

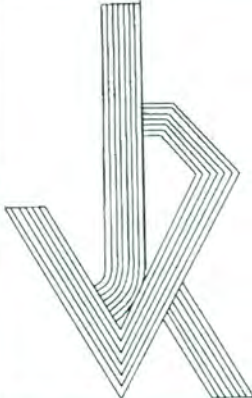
Los aceleradores de partículas pesadas son los más opcionados para ser utilizados en un reactor comercial de fusión con confinamiento inercial, por su durabilidad, confiabilidad, capacidad de trabajar a altos pulsos y su posibilidad de usar altas frecuencias. Rayos de iones de xenón, cesio o bismuto acelerados a una energía cinética de 2 a 10 GeV cumplen las características en cuanto a su rango de frenado para irradiar la cápsula. Hay dos formas principales para acelerar rayos de partículas cargadas pesadas:

con aceleradores de radiofrecuencias o con aceleradores de inducción. Los de radiofrecuencia funcionan con el mismo principio de calentamiento en un plasma de fusión con confinamiento magnético⁽¹⁾. La interacción de la onda electromagnética con los iones acelera a estos últimos. En un acelerador de inducción las partículas cargadas son aceleradas periódicamente mediante celdas de inducción y transportadas por una secuencia de cuadripolos con gradiente alternado; este sistema es más simple y por lo tanto es el más utilizado. El mayor problema de la irradiación con rayos de partículas pesadas cargadas es el de obtener la intensidad del rayo requerida para irradiar la cápsula y causar su implosión.


3.1 Irradiación directa

En la irradiación directa la cápsula de combustible es sometida a un rayo intenso, ya sea de láser o de partículas cargadas. La irradiación directa es más eficiente en el transporte de energía a la cápsula de combustible, pero tiene requerimientos más altos tanto en el foco y la colimación de los rayos como en la superficie de la cápsula. La investigación de la irradiación directa está probablemente atrasada una década con respecto a la de la irradiación indirecta, pero en los últimos años el progreso ha sido muy grande.

Como se mencionó antes, hay dos formas de irradiar la cápsula: con rayos láser y con rayos de partículas cargadas. Debido a que para la irradiación directa el rayo debe tener unas condiciones muy altas de foco y colimación, que son más fácilmente obtenidas con rayos láser que con rayos de partículas, la mayor parte de los experimentos de fusión con confinación inercial e irradiación directa utilizan rayos láser. Los dos principales laboratorios en esta área están en la Universidad de Rochester (Estados Unidos) y la Universidad de Osaka (Japón). Otros laboratorios más pe-



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.

queños se encuentran en el Laboratorio Nacional de Lawrence Livermore (Estados Unidos), el Laboratorio de Investigación Naval (Estados Unidos), la Universidad de Munich (Alemania); existen otros en Rusia, Inglaterra, Italia, China e India.

El laboratorio de Rochester utiliza el láser Omega (ver Figura 4), el cual acaba de ser ampliado para trabajar a una energía de 45 kilojoules (a más de 60 terawatios) y a una longitud de onda de 351 nanómetros; es el láser ultravioleta más potente del mundo⁽⁷⁾. Este es un láser de estado sólido que utiliza neodimio-cristal como fuente; empieza con un solo rayo, el cual es dividido en tres rayos y luego cada uno de ellos es amplificado. Cada rayo amplificado es luego dividido en varios rayos, hasta conformar un total de 60 rayos. La salida de energía es de 60 KJ a 1054 nm. Unos cristales de conversión triplican la frecuencia para producir los rayos finales de 351 nm. Con esta longitud de onda se logra un mejor acoplamiento entre el láser y la cápsula. Estos 60 rayos irradian la cápsula simultáneamente produciendo la vaporización de la cáscara, la implosión del combustible y la ignición del plasma.

El laboratorio de la Universidad de Osaka utiliza un láser llamado Gekko XII, el cual es de neodimio-cristal de 10 kJ a 526 nm. En este laboratorio se han conseguido



FIGURA 4. Láser Omega de la Universidad de Rochester irradiando la cápsula (en el centro).

implosiones de cápsulas vacías de plástico a densidades del orden de $600 \text{ g/cm}^{3(5)}$. Tanto en Osaka como en Rochester se ha observado emisiones de neutrones mucho menores que las correspondientes a una implosión esférica ideal. Esto significa que se están presentando inestabilidades hidrodinámicas producidas por la no uniformidad de la irradiación y por defectos en la superficie de la cápsula; estos defectos pueden fácilmente destruir la simetría de la implosión y crear grandes inestabilidades del tipo Raleigh-Taylor⁽²⁾.

Un rayo láser puede, en principio, ser enfocado a un punto de menor tamaño que la cápsula de combustible, pero esto produce variaciones grandes en la intensidad; es decir que lo que se gana en foco se pierde en uniformidad de la intensidad. Este problema se soluciona partiendo el rayo en muchos rayos pequeños, los cuales se pueden controlar más fácilmente. Hay diferentes formas de uniformar el rayo, las cuales son más fáciles de aplicar a rayos de menor intensidad.

Francia está construyendo en la ciudad de Burdeos un láser que producirá 1.8 MJ a 351 nm y que consistirá en 240 rayos, agrupados en 60 grupos de 4, a un costo aproximado de 1.200 millones de dólares. Este láser será utilizado para implosionar cápsulas de D-T.

3.2 Irradiación indirecta

Para la irradiación indirecta la cápsula de combustible se coloca dentro de una cámara o estuche hecho con material de alto número atómico (ver Figura 3). Los rayos, ya sean láser o de partículas cargadas, son absorbidos por el material de esta cámara, el cual a su vez emite rayos X, y éstos son los que irradian la cápsula y provocan la implosión. Se han conseguido eficiencias de conversión de energía del rayo proyectil en rayos X del orden del 60 al 80%. Estas eficiencias han sido conseguidas con rayos láser. En el caso de partículas cargadas la eficiencia es



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

menor debido al problema de enfoque del rayo. Aun así, los rayos de partículas se utilizan casi exclusivamente en irradiación indirecta y, como se sugirió antes, son los más recomendables para un reactor comercial.

Uno de los puntos principales en la irradiación indirecta es la conversión de la energía en rayos X; una vez producidos éstos en la cámara, la implosión depende exclusivamente de la geometría de la cámara y la superficie de la cápsula. Por lo tanto, las inestabilidades hidrodinámicas son, en principio, más fácilmente controlables. Este sistema ha sido escogido por el Departamento de Energía de Estados Unidos en el diseño del *National Ignition Facility (NIF)*⁽³⁾, el laboratorio que será construido para obtener ignición. El NIF consistirá en un láser de estado sólido de neodimio-cristal que irradia una cámara cilíndrica de 9.5 mm de largo y 5.5 mm de radio, y una cápsula esférica de combustible de 1.11 mm con una cápsula de plástico llena del combustible D-T. Se espera que este laboratorio estará en funcionamiento a finales de esta década utilizando el láser Omega de Rochester.

4. REACTORES

Una cápsula de combustible D-T se consume en un tiempo del orden de 10 picosegundos (10^{-12} s). La interacción con el material que la rodea

puede alargar este tiempo hasta aproximadamente un nanosegundo (10^{-9} s). Los valores esperados de generación de energía en cada pulso son del orden de cientos de megajulios. Por lo tanto, el reactor debe contener los efectos de esta microexplosión, capturar la energía térmica liberada y recoger el tritio liberado. Una pared suficientemente gruesa, que funcione como recogedor de tritio y para frenar los neutrones a 14 MeV, debe cumplir todas estas funciones. Recordemos que los neutrones rápidos cargan aproximadamente el 60% de la energía liberada y que el resto se presenta en rayos X y en la energía cinética

de los desechos, de tal manera que las paredes del reactor serán expuestas a unas descargas de energía muy altas. Existen muchos diseños de reactores que pueden cumplir estos requerimientos. De manera ilustrativa describiremos aquí tres de ellos: el "Sombrero", el "Osiris" y el de "Cascada". Ninguno de estos reactores ha sido construido; son únicamente modelos que están siendo considerados para una futura construcción.

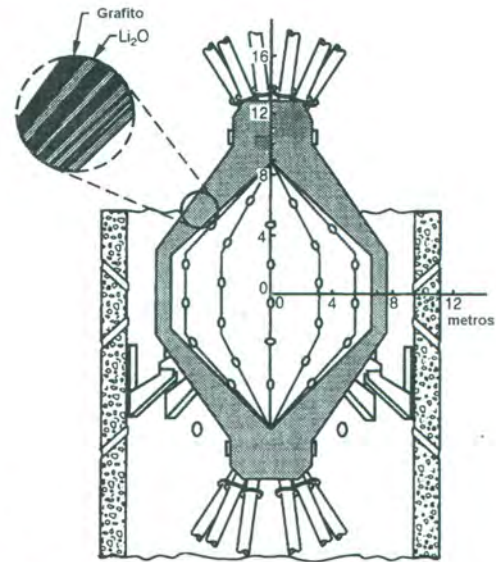


FIGURA 5. Reactor Sombrero. La pared de grafito se protege con gas xenón. Unos gránulos de cerámica absorben el calor y el tritio. Los pequeños círculos representan la entrada de 60 rayos láser. Este es un reactor de irradiación directa con rayos láser.

4.1 Reactor Sombrero

La manera más simple de manejar el problema que presenta un pico muy alto de potencia consiste en la protección de la primera pared con un gas amortiguador, de tal forma que la pared no llega a vaporizarse por las altas cargas. En un reactor Sombrero (ver Figura 5) de irradiación directa⁽⁷⁾, la pared será de un compuesto de carbono recubierta con una capa de gas de xenón a una presión de 0.5 torr. El gas es transparente a los rayos láser, es decir que los rayos láser penetran el gas, pero el gas absorbe los rayos X que produce la fusión de la cápsula. El gas irradia de nuevo estos rayos pero distribuidos en el tiempo, de tal manera que la carga sobre la pared es atenuada.

Dentro de la primera pared hay unos canales por donde fluyen unos granos de cerámica de Li_2O . Los neutrones depositan su energía en estos granos, los cuales cumplen la doble función de retener la energía mediante el frenado de los neutrones y producir tritio, mediante la reacción exotérmica entre el neutrón y el li-

Parámetros de operación de reactores

	Sombrero	Osiris	Cascada
Irradiación (MJ)	3.4	5.0	5.0
Factor de ganancia	118	87	75
Producción de energía (MJ)	400	432	375
Frecuencia de pulso (HZ)	6.7	4.6	5.0
Eficiencia de irradiación (%)	7.5	28	20
Potencia de fusión (MW)	2680	1987	1875
Potencia térmica (MW)	2849	2504	1890
Eficiencia térmica (%)	47	45	54
Potencia eléctrica bruta (MW_e)	1359	1127	1030
Potencia de irradiación (MW_e)	304	82	125
Potencia auxiliar (MW_e)	55	45	15
Potencia eléctrica neta (MW_e)	1000	1000	890
Costo de electricidad (pesos/kWh)	67	56	50 a 62

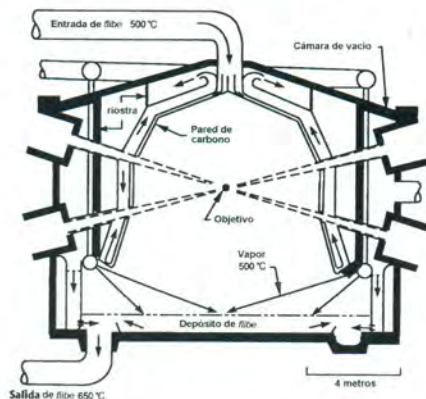


FIGURA 6. Reactor Osiris. La pared de compuestos de carbono se protege con *flibe* derretido, una mezcla de LiF y BeF_2 . Este es un reactor con irradiación indirecta de seis rayos de partículas pesadas cargadas.

tio⁽¹⁾, el cual es usado para fabricar nuevas cápsulas. Estos granos de cerámica son entonces licuificados con helio y transportados alrededor de un ciclo donde se les extrae el tritio y se les enfría. Este enfriamiento produce la energía térmica deseada.

4.2 Reactor Osiris

Osiris es el diseño de un reactor de irradiación indirecta (ver Figura 6)⁽⁷⁾. La cámara será bombardeada por seis rayos de partículas cargadas que entran en ella por las dos direcciones principales. Para soportar la alta carga de potencia, la primera pared, a una distancia de 4 m, está impregnada por un líquido que es una mezcla llamada *flibe*, la cual consiste en 2 tercios de LiF y un tercio de BeF_2 . El *flibe* entra al reactor a una temperatura de 500°C y fluye en la estructura de compuestos de carbono. Como este material es poroso, permite que el *flibe* penetre su estructura y forme una capa interna de unos 2 mm. Cuando la cápsula de combustible explota, los rayos X producidos evaporan esta capa de *flibe* en aproximadamente 10 ns. Este gas absorbe la energía de los neutrones causando una expansión del mismo y una realimentación de *flibe* en la pared porosa. El vapor de *flibe* es conducido al fondo del reactor donde se condensa. Experimentos han demostrado que la

baja presión requerida para la propagación del rayo de partículas cargadas para la siguiente explosión se presenta en aproximadamente 100 ms.

Una característica importante de los rayos de partículas cargadas es que pueden ser desviados fácilmente con campos electromagnéticos, de tal manera que los desechos pueden ser extraídos sin interrumpir el camino del rayo.

La estructura de todo el reactor está protegida en este caso por el *flibe*, y por tanto su duración podría ser de muchos años. Una desventaja de este diseño es que no produce tritio

por lo cual habría que construir reactores exclusivamente para la producción de tritio para la fabricación de cápsulas de combustible.

4.4 Reactor Cascada

El reactor Cascada (ver Figura 7) es de irradiación directa y usará siete rayos de partículas pesadas cargadas⁽⁷⁾. Este diseño utiliza una cobertura de gránulos de cerámica, como el reactor Sombrero, pero en este caso los gránulos están dentro del reactor y caen por gravedad dentro de un tambor que rota (como una mezcladora de cemento) de aproximadamente 5 m de radio. La rotación hace que los gránulos de cerámica permanezcan contra la pared. Estos gránulos cumplen la misma misión de los del reactor Sombrero, es decir que absorben la energía de los neutrones y producen tritio; resisten una temperatura del orden de los 1.800 grados y operan con una eficiencia de conversión de energía térmica en eléctrica del orden del 50%. Las paredes del tambor son de *silicon carbide* de baja activación.

En un reactor Cascada una capa de los gránulos de la pared de unos pocos micrómetros se vaporiza en unos 10 ns. El vapor llena la cámara en unos 10 microsegundos, absorbe par-

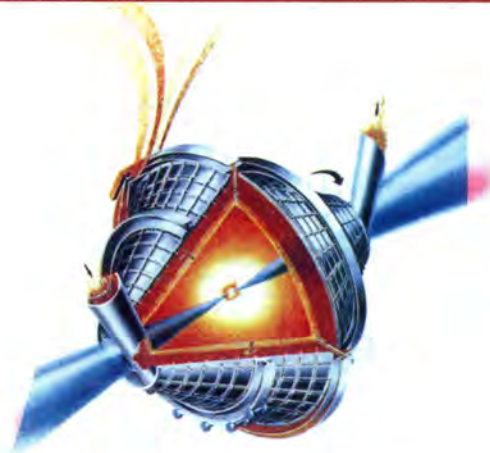


FIGURA 7. Reactor Cascada. Una capa de gránulos de cerámica son mantenidos contra la pared mediante la rotación de la cámara para proteger la pared hecha de *silicon carbide*. Estos gránulos absorben el calor y el tritio producido.

te de los neutrones y vuelve a la capa de gránulos donde se condensa de nuevo. La capa de gránulos es continuamente reciclada para sacar el tritio depositado y enfriar las cápsulas para obtener así la energía térmica deseada.

La fusión nuclear es la fuente de energía del universo. Toda la energía generada por las estrellas, el sol incluido, proviene de fusión nuclear.

5. CONCLUSIÓN

El progreso de la investigación en fusión nuclear controlada con confinamiento inercial ha dependido, como todos los proyectos de un alto costo, de la inversión de los diferentes gobiernos en la investigación de los sistemas de irradiación y de la fusión en sí misma. Durante muchos años los trabajos realizados en esta área eran de tipo "clasificado" por su relación y aplicación directa a las bombas nucleares. Esto ha tenido dos efectos un poco antagónicos. Mientras que durante estos años el flujo de recursos estaba asegurado por sus aplicaciones militares, el hecho de ser "clasificado" dificultaba mucho su progreso por la falta de comunicación entre investigadores y la imposibilidad de aplicar esos conocimientos a la investigación de reactores como generadores de electricidad. En los últimos años esta situación ha cambiado mucho, puesto que la mayor parte de la información ha sido des-

clasificada, pero así mismo los recursos han disminuido.

Como en el caso de los reactores nucleares de fusión con confinamiento magnético, la mayor parte de la física del confinamiento inercial ha sido entendida. Por

otro lado, el desarrollo tecnológico para controlar estas reacciones y extraer la energía liberada está todavía muy atrasado.

Como la cantidad de plasma DT en un reactor de confinamiento inercial es mucho menor que en uno de confinamiento magnético, algunos de los problemas relacionados con el almacenamiento del tritio y las inestabilidades del plasma son menos importantes en los primeros; por tanto, los factores de seguridad y contaminación por tritio son más fáciles de resolver mediante la escogencia de materiales de baja activación. Por otro lado, un reactor con confinamiento inercial debe manejar microexplosiones sucesivas. La tecnología de los reactores es muy distinta para cada tipo de confinamiento, y no hay todavía un consenso general acerca de cuál tipo de confinamiento será más factible en un futuro cercano.

La fusión es una fuente inagotable de energía, pero infortunadamente

está muy ligada a la producción de armas nucleares. Esperemos que los gobernantes de las potencias que tienen los recursos humanos y de capital para desarrollar estos reactores sepan manejar el fenómeno natural de la fusión nuclear como una fuente de energía y no, como en buena parte lo han hecho, como un forma de producción de armas de destrucción masiva.

Existen dos alternativas más para la generación de energía mediante procesos de fusión nuclear controlada. Una es la fusión catalizada por muones y la otra es la todavía muy controvertida fusión fría. En un próximo volumen de esta revista presentaremos estas alternativas y trataremos sobre su estado de desarrollo y su viabilidad.

(1) J. Botero, *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería*, No. 20, p. 25, 1995.

(2) K. Miyamoto, *Plasma Physics for Nuclear Fusion*, the MIT Press, Edición Revisada, 1989.

(3) J. Meyer-Ter-Vehn, en *Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research*, International Atomic Energy Agency, Vol. 4, 1994.

(4) J.D. Lindel, R.L. McGrooney y E.M. Campbell, *Physics Today*, Vol. 45, No. 9, p. 32, 1992.

(5) W.J. Hogan, R. Bangester y G.L. Kulcinski, *Physics Today*, Vol. 45, No. 9, p. 42, 1992.

(6) M.M. Sluyter, en *Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research*, International Atomic Energy Agency, Vol 3, p. 3, 1992.

(7) G.B. Lubkin, *Physics Today*, Vol. 48, No. 8, p. 22, 1995.



CUBIDES MUÑOZ LTDA.
Ingenieros Constructores
S.C.I. A.C.I.C.

Cra. 13A No. 91-26
Tels. 236-0261 • 236-0285
Fax. 218-7042
Santafé de Bogota D.C.