

REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE

INGENIERIA

Año 15 N° 58

Abril - Junio de 2005

TARIFA POSTAL REDUCIDA N° 1419 DE ADPOSTAL • VENCE DICIEMBRE DE 2006

Publicación
admitida por
Colciencias en el Índice
Nacional de Publicaciones y
Seriadas, Científicas y
Tecnológicas colombianas
-Publindex- Clasificación tipo C

Tendencias mundiales en ciencia y tecnología de materiales

P.V.P. Colombia \$10.000,00 • Escuela Colombiana de Ingeniería • Av. 13 No. 205-59 (Autopista norte Km. 13) • Bogotá, Colombia • www.escuelaing.edu.co

Entrevista

Un buen futuro para Latinoamérica
en materia aeronáutica
Enrique Calcagni Marajev



20



Tendencias mundiales en ciencia y tecnología de materiales

Pedro Nel Quiroga Saavedra

Director del Centro de Estudio de Estructuras, Materiales y Construcción de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

Como parte de la programación de la decimocuarta versión de ECIciencia, la *Revista de la Escuela* organizó una mesa redonda sobre un tema de mucha actualidad. Para ello invitó a tres distinguidos investigadores y profesores universitarios a que expusieran sus puntos de vista sobre diferentes aspectos del desarrollo de la tecnología de los materiales. Los materiales son parte de nuestro diario vivir y sus características tienen una incidencia directa sobre todas nuestras actividades. El desarrollo de los materiales afecta desde los edificios en que vivimos y la ropa que usamos hasta las naves espaciales y equipos electrónicos de más avanzada tecnología, pasando por los automóviles, aviones, computadores y celulares. Por eso se consideró que era muy importante para la comunidad de la Escuela mostrar el panorama actual y las tendencias en ciencia y tecnología de los materiales.

Inició la mesa redonda el doctor Pedro Prieto, director del Centro de Excelencia en Nuevos Materiales y Nanotecnología (CENM), profesor titular del departamento de física y director del Grupo de Películas Delgadas de la Universidad del Valle, hablando de los últimos desarrollos en nanotecnología, que han permitido el manejo de átomos individuales y la fabricación de mecanismos formados por unos pocos átomos. Ilustró también algunas de las aplicaciones que esta tecnología puede tener en campos como la electrónica en la fabricación de chips de dimensiones mucho menores que los actuales, y en medicina, con mecanismos que permitirían, entre otras cosas, la manipulación de células individuales. Finalmente, mostró la interacción entre la nanotecnología y la tecnología de los materiales.

Siguió la doctora Nelly Alba de Sánchez, directora del Programa de Ingeniería Mecánica de la Corporación Universitaria de Occidente, mencionando los tipos más importantes de materiales de ingeniería, aleaciones metálicas, cerámicas, plásticos y compuestos, y mostrando sus características, ventajas y desventajas comúnmente asociadas a

cada uno de ellos, y en consecuencia los retos para minimizar dichas desventajas y algunos logros hasta la fecha. Por ejemplo, se han desarrollado cerámicas mucho menos frágiles que se pueden utilizar en piezas de maquinaria; otras, con alta resistencia a choques térmicos. Con tratamientos térmicos y mecánicos se han desarrollado aleaciones con microestructuras tales que se ha aumentado notablemente la resistencia mecánica y a la corrosión de elementos metálicos. Los compuestos también han tenido gran avance en los últimos años debido al desarrollo de elementos con fibras de carbono de altísima resistencia mecánica. Sin embargo, hay mucho camino por delante. Se deben mejorar los métodos de análisis y ensayos de caracterización de algunos de estos nuevos compuestos; se deben desarrollar nuevos tipos de conexiones para los nuevos materiales y se debe avanzar en el tema del reciclaje de plásticos y polímeros.

Finalmente, el doctor Félix Echeverría, profesor y director del Grupo de Corrosión y Protección de la Universidad de Antioquia, habló sobre el efecto, en general negativo, del medio ambiente sobre los materiales y mencionó que aunque los materiales más afectados son los metales, las cerámicas y los plásticos también son atacados por agentes químicos, radiaciones y acciones mecánicas. Habló de algunos casos específicos, como el deterioro del concreto por falta de recubrimiento; del deterioro producido por agentes microbiológicos en tuberías; del efecto de ambientes agresivos en estructuras de concreto y acero, como los que se encuentran en el suelo o cerca del mar. Terminó haciendo una reflexión sobre los costos de reparar y reemplazar infraestructura, cuando podría protegerse a costos significativamente menores.

Invitamos a nuestros lectores a ilustrarse más ampliamente sobre el tema con las ponencias de los doctores Nelly Alba y Félix Echeverría, las cuales se publican en esta edición, y del doctor Pedro Prieto que incluiremos en el número que circula en septiembre.

Resultados y ajustes del Transmilenio

Eduardo Sarmiento Palacio* y Luis Ernesto Acosta Gutiérrez**

En el momento, el Transmilenio constituye una de las prioridades nacional y local. En el presupuesto para el 2005 se asignan cuantiosos recursos de la Nación para apoyar la construcción en diversas ciudades del país, y éstas destinan la mayor parte de su margen presupuestal para realizar contrapartidas. La experiencia que ha tenido Bogotá en los cuatro años de operación ha generado un debate en cuanto a la viabilidad del sistema a largo plazo. En las intervenciones salieron a relucir tres aspectos centrales: la rentabilidad económica del proyecto, la estructura tarifaria y la generación de empleo. El presente artículo resume los resultados de un trabajo que sobre el tema realizó el Centro de Estudios Económicos de la Escuela durante el primer semestre de 2004. Recientemente han aparecido estudios que ratifican las hipótesis allí presentadas. Se encontró, en primer lugar, que en comparación con lo proyectado, los costos en la construcción se han triplicado y los beneficios no llegan a la mitad de los esperados; segundo, que la estructura tarifaria actual y la administración del sistema dejan a los usuarios entre el aumento de los tiempos de viaje e incomodidades, y el alza

de las tarifas. Los dos puntos anteriores han llevado a que la operación del sistema esté condicionada a un alto subsidio del Estado, que en el momento se estima alrededor de \$1.000 por pasaje. Por último, la generación de empleo es mínima, los sobrecostos no dejan espacio para ampliar la nómina y en la realidad se observa que no genera más de 5.000 empleos anuales. Esta situación impone límites al sistema y plantea la necesidad de revisar el proyecto en su conjunto y contemplar otras modalidades de transporte.

INTRODUCCIÓN

Luego de varios años de discusión sobre la problemática del transporte público en Bogotá, se escogió al sistema Transmilenio como solución más eficiente frente a otros sistemas contemplados, como el Metro. Del documento Conpes 3093¹ se resume una justificación sencilla: los costos de inversión en infraestructura eran menores, y el sistema de buses troncales con corredores exclusivos y la operación privada garantizarían la eficiencia del sistema. Un bus de mayor capacidad transportaría más pasajeros en un solo viaje, en menos tiempo y a menor costo, lo cual redundaría en menores tarifas para los usuarios, quienes serían los más beneficiados (cuadro 1). Así mismo, se verían notables mejoras en el tráfico de vehículos particulares y en

los niveles de contaminación. Sin embargo, en la actualidad se advierten resultados muy diferentes a los esperados.

En primer lugar, los resultados expost muestran que los sobrecostos en la construcción y algunas inconsistencias en el diseño operacional, que no han generado la reducción en los tiempos de viaje proyectados, hacen que el sistema funcione sacrificando el bienestar económico de la sociedad. Los costos de oportunidad de mantener el proyecto son mucho mayores que los beneficios que produce; por tanto, la operación del sistema queda condicionada a enormes subsidios que compensen la diferencia entre la disponibilidad a pagar de los beneficiarios y los costos marginales del proyecto. En segundo lugar, la estructura tarifaria definida contractualmente con los concesionarios privados del sistema pone en serias dificultades a los usuarios y al Distrito. Ante esta situación, los usuarios tienen que someterse a incomodidades y mayores tiempos de desplazamiento o, de lo contrario, a un aumento de la tarifa. Como políticamente no es conveniente aumentar la tarifa a los usuarios, de nuevo el conflicto es solucionado con subsidios y mala calidad en la prestación del servicio. Estimaciones preliminares del

* Ingeniero civil de la Universidad Nacional de Colombia; Ph. D. en economía de la Universidad de Minnesota. Ha sido decano de economía en la Universidad de los Andes; asesor de la Junta Monetaria; jefe de Planeación Nacional. Columnista del diario *El Espectador*, autor de varios libros y de múltiples ensayos y artículos. Actual director del Centro de Estudios Económicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

esarmien@escuelaing.edu.co

** Ingeniero Civil y Economista de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Actualmente es asesor del PNUD para la evaluación del impacto económico y social de los proyectos financiados con recursos del Fondo Nacional de Regalías. Profesor catedrático de la Escuela en la facultad de Economía.

lacosta@escuelaing.edu.co.

Cuadro 1
Variables básicas de la oferta en los diferentes escenarios

	Sistema colectivo	Sistema Transmilenio
Tarifas	\$766 por usuario \$550 cada servicio	\$750 integrada alimentación y troncales
Intervalo promedio por ruta	1 bus cada 5 min.	1 bus cada 3 min.
Velocidad comercial	14 km/h	24 km/h

Fuente: Steer, Davis & Gleave. Estudios y diseños previos.

presente estudio revelaron un subsidio estatal de \$1.000 por pasaje², cifra que fue ratificada posteriormente por la Contraloría en un informe publicado a finales del año 2004³. A pesar de esto, los reclamos y las protestas de los usuarios no se hacen esperar. En tercer lugar, las manifestaciones más inconvenientes de los sobrecostos se dan en la generación de empleo; en la actualidad no contribuye a más de 5.000 empleos anuales. En general se trata de obras con altísimo componente importado, elevados costos unitarios de materiales y expuestas a grandes sobrecostos que reducen el porcentaje de la nómina.

Todo esto constituye razón para revisar el proyecto. Las condiciones actuales de operación son totalmente distintas a las existentes cuando se inició. La continuación del proyecto requiere recursos adicionales no presupuestados; la operación del sistema implica grandes subsidios nacionales y locales, y las obras no generan mayor empleo. Quiérase o no, se requieren cambios de fondo en la planificación del sistema y en la orientación futura de la modalidad de transporte.

ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO (ACB)⁴

De acuerdo con los postulados básicos de la economía del bienestar aplicada, los beneficios de un proyecto pueden medirse utilizando la disponibilidad a pagar por el consumo de los bienes ofrecidos o liberados, y los costos, a partir del costo marginal o de oportunidad de los recursos utilizados. En términos de bienestar⁵, el primero significa el valor o la utilidad que representa el proyecto para los beneficiarios; el segundo representa el verdadero valor de los recursos utilizados cuando éstos se dedican a su uso más valioso. Para una comparación y suma intertemporal de un flujo de beneficios y costos, es necesario utilizar una tasa de descuento (TSD) que refleje la valoración que tiene la sociedad por el consumo futuro, frente al consumo presente⁶. El indicador más importante producto de este ejercicio es la Relación Beneficio Costo (RBC). Ésta muestra cuál es el aumento en el bienestar económico que se obtiene (beneficios) por

cada unidad que se sacrifica por realizar el proyecto (costos).

En los estudios preliminares de evaluación económica para Transmilenio Fases I y II, realizados por la firma consultora internacional Steer, Davis & Gleave⁷, cuyos resultados fueron presentados oficialmente en el documento Conpes 3093, el proyecto se mostraba como altamente rentable para la sociedad: la RBC se estimaba de 2 a 1. Por lo demás, el proyecto estaba financiado. El 66% lo cubriría la nación y el otro 34% el Distrito con los recursos provenientes de la mitad de la sobretasa a la gasolina.

Los impactos económicos positivos (beneficios) valorados fueron el *ahorro en tiempos de viaje* y el *ahorro en costos operacionales de transporte*, que aproximadamente pesan igual en el total de beneficios; la cifra clave para el primero es el *Valor Social del Tiempo* (VST) y para el segundo la *Tasa de Chatarrización* (TC). El VST representa la disponibilidad a pagar de los usuarios por un ahorro marginal de tiempo; la TC representa la relación del número de buses del sistema tradicional que salen del mercado para ser reemplazados por un bus articulado de mayor



Luego de varios años de discusión sobre la problemática del transporte público en Bogotá, se escogió al sistema Transmilenio como solución más eficiente frente a otros sistemas contemplados, como el Metro.

capacidad. El total de beneficios por ahorro en tiempos de viaje se calcula multiplicando el total de horas ahorradas por el VST; y el ahorro en costos de operación, sacando la diferencia entre el costo de los vehículos que salen y los que entran, cuya relación es la TC. Cuanto mayor sea la TC, mayor será el ahorro en costos. Los valores utilizados en los estudios previos fueron: VST = \$US 0,20/hora; TC = 2,7 buses/nuevo articulado, que significa un ahorro de \$US 12,2/día por bus articulado que entra en el sistema⁸. Los impactos negativos (costos) valorados fueron los costos de *inversión en infraestructura*, y las *inversiones en el material móvil y el sistema de recaudo*. Los primeros fueron financiados con recursos públicos; el resto, con privados, que representaban aproximadamente el 85% y 15% del total de costos, respectivamente.

Sin embargo, una evaluación rápida a las variables actuales del sistema indica resultados diferentes en la operación. Así, los costos de infraestructura, que inicialmente se habían estimado en US\$ 5 millones por kilómetro, se están contratando casi al triple. En un documento preparado por la administración de Mockus a finales de 2003⁹, se reconoce que el proyecto, presupuestado inicialmente en US\$1.700

millones, terminará costando US\$5.270 millones; en efecto, se advierte que los recursos apropiados inicialmente por la Nación y el Distrito no alcanzarán. En las nuevas condiciones, se propone elevar la participación del primero a 70%. Ante esta realidad que modifica la RBC inicial de 2 a 1, multiplicando el denominador por 3,

laboral media y algunas estimaciones que se han hecho para países en vías de desarrollo¹². Por lo demás, si se asumiera un VST igual al salario mínimo, los beneficios apenas alcanzarían a cubrir los costos del proyecto.

Así las cosas, en términos económicos los costos sociales resultan mayores que los beneficios. Debido al en-

competencia perfecta no funcionan. La tarifa decretada por un agente externo (Distrito) era la base para que la gran cantidad de empresas transportadoras compitieran, dados sus costos de producción y demanda. La alta inelasticidad de la demanda del servicio público ofrecido les dio la posibilidad de competir con baja calidad, disminuyendo los costos de mantenimiento y el reemplazo de los buses, y contratando mano de obra no calificada y mal remunerada; por otro lado, los llevó a tratar de aumentar desesperadamente sus ingresos, lo que se convirtió en la conocida "guerra del centavo" y todas las externalidades negativas que este problema conlleva. La comunidad bogotana padecía las consecuencias de un clásico ejemplo donde el óptimo del mercado y la competencia no correspondía al óptimo para la sociedad.

De esta manera, se abre paso al sistema Transmilenio. No es cierto, como lo sostienen sus defensores, que el sistema sea regulado por las fuerzas del mercado. La operación del sistema se entrega en concesión a un cartel de transportadores y el Distrito, a través del ente gestor, se encarga de regularlo. El esquema de mercado no es fácil de entender; en realidad, en la operación no existe competencia. Se supone que la competencia se da en los procesos de licitación, en escenarios donde los proponentes deben diseñar procesos eficientes para ofrecer la tarifa más baja y poder entrar al sistema. La operación troncal se licitó por kilómetro recorrido; la alimentación, por pasajero transportado; y el recaudo, por usuario que entra al sistema. La función más importante del regulador estatal es la planeación y asignación de rutas, frecuencias de viajes y kilómetros recorridos por la flota de acuerdo con la demanda, de lo que finalmente dependerá la calidad del servicio y el ajuste de la tarifa. En el contrato se establecen las fórmulas de reajuste de los pre-

se ha tenido que aumentar a la fuerza los beneficios para justificar las inversiones futuras. En los nuevos documentos donde se presentan ACB, se manipulan las cifras de VST, TC y cantidad de tiempo ahorrado. En un estudio publicado por la Cepal¹⁰, el VST se aumenta a \$US 1,20/hora (5 veces) y el promedio de tiempo ahorrado por viaje se eleva de 1/2 a 1 hora. Por otro lado, en el documento mencionado de finales de 2003 (ref. 8), el VST también se eleva a US\$ 1,20/hora y adicionalmente la TC se aumenta a 7,7. Es muy claro que cualquiera de estos cambios multiplican los beneficios por más de tres y el proyecto vuelve a ser rentable.

Sin embargo, los cambios en el papel tampoco reflejan la realidad en la operación del proyecto. Si bien actualmente la flota disponible (607 buses) es la tercera parte de la proyectada (1.891), la TC inicial se ha mantenido: las cifras reales muestran que los buses chatarrizados hasta el momento no superan los 1.500¹¹. En cuanto al ahorro en los tiempos de viaje no se han conseguido los resultados esperados por efectos de la estructura tarifaria y errores de diseño que se explicarán más adelante. La nueva cifra del VST supera el salario mínimo, la productividad

carecimiento de las obras y a errores de diseño operacional, no hay forma de que la comunidad sufrague la totalidad de los costos y la diferencia debe ser compensada con subsidios para hacer posible la operación del proyecto. La disposición a pagar por los beneficios que trae el proyecto, reflejada en la tarifa, apenas alcanza a cubrir los costos de operación. Por tanto, el costo de la inversión en infraestructura tendrá que ser asumido por los contribuyentes. La pequeña participación que tiene el Distrito en los ingresos tarifarios se compensa con creces con los gastos de mantenimiento de la infraestructura. En el momento, el subsidio estatal llega a los \$1.000 pesos por pasaje, casi el doble de la tarifa actual. Luego de llegar a esta misma conclusión, la Contraloría estimó que de eliminarse dicho subsidio, la población de menores ingresos no podría acceder al sistema (40% del total) y, en consecuencia, no habría entrado en operación por ausencia de demanda.

COMPETENCIA Y REGULACIÓN DE MERCADO

El sistema tradicional de transporte es un caso más en que los esquemas de



cios licitados, en función de todas las variables que afectan los costos unitarios para los oferentes; una vez firmado, los concesionarios tienen aseguradas las ventas al precio de oferta por tiempo indefinido. La Contraloría estimó una rentabilidad del 13% real anual¹³ para los operadores. Estas garantías y ventajas, que no ofrece ningún otro negocio, han sido presentadas por sus defensores como la única forma de que el sector privado participe en el sistema.

ESTRUCTURA TARIFARIA

Las limitaciones más grandes de la regulación ejercida por la empresa distrital gestora, Transmilenio S.A., están en su influencia sobre la tarifa al usuario. Paradójicamente, sus esfuerzos por mejorar la calidad del servicio se ven frenados por un alza inevitable en las tarifas, que disminuiría sensiblemente la demanda del sistema. Lo anterior se deriva de la estructura tarifaria basada fundamentalmente en el principio de sostenibilidad de ingresos reales para los operadores privados y, por tanto, la del sistema. Para empezar a operar la Fase I, se definió la *tarifa técnica* (TT) inicial en \$781 (octubre de 2000). Ésta es el resultado de sumar el monto de los precios contratados para la operación del sistema (troncal, alimentación y recaudo), ponderados por las participaciones de cada uno de los diferentes concesionarios; luego se le suman los porcentajes del gestor y de la fiducia, que son fijos: 4% y 0,0387%, respectivamente¹⁴. El costo de la infraestructura no aparece por ningún lado. La *tarifa al usuario* (TU) se define a partir de la TT y se actualiza cuando es superada en un margen preestablecido por esta última. Así, la TU inicial se definió en \$800. Posteriormente, se aplica la fórmula de reajuste de la TT, que se actualiza cada mes:

$$\Delta TT = \left[\%T \times \frac{\Delta C_T}{\Delta IPK} \right] + [\%A \times (\Delta C_A + \Delta \%A)] + [\%R \times \Delta CR] - 15^{15}$$

donde

- ΔTT = Cambio porcentual en la tarifa técnica
- $\%T$ = Peso relativo del costo troncal
- ΔC_T = Ajuste en el costo por kilómetro de la troncal
- ΔIPK = Ajuste en el Índice Pasajeros-Kilómetro de la troncal
- $\%A$ = Peso relativo del costo de alimentación
- ΔC_A = Ajuste en la remuneración otorgada por pasajero transportado en alimentación
- $\Delta \%A$ = Ajuste en el porcentaje de pasajeros pagos que ingresan por alimentación
- $\%R$ = Peso relativo del costo de la operación de recaudo
- ΔCR = Ajuste en el costo de la operación de recaudo

Como se observa en la ecuación anterior, el reajuste de la tarifa se deriva de las variaciones reales de los costos contratados por pasajero en la operación troncal, alimentadores y recaudo. Actualmente cada uno tiene un peso de 75%, 15% y 10%, respectivamente. En resumen, el aumento de la tarifa es *directamente proporcional* al aumento de los costos unitarios licitados (ΔC) y al porcentaje de pasajeros alimentados ($\%A$)¹⁶, e *inversamente proporcional* al índice de pasajeros por kilómetro (IPK). Cualquier factor que provoque un cambio de estas variables, inmediatamente se traducirá en un aumento o una disminución de la tarifa al usuario. El factor $\Delta C_T / \Delta IPK$ de la fórmula representa la variación del costo troncal por pasajero, que como ya se mencionó participa en el 75% de la tarifa. Por consiguiente, las variaciones que experimenten los costos por kilómetro y el IPK, tanto en la operación troncal como en la alimentación, adquieren mayor importancia que el resto.

El aumento de los costos se calcula a partir de una bolsa definida contractualmente. Depende de los aumentos en los costos de cada insumo y de las participaciones que cada uno tenga en el total. En resumen, el aumento de costos está sujeto a las variaciones del precio del combustible, del IPP de las llantas, aceites y repuestos, del salario mínimo, y del IPC para los costos fijos¹⁷. Las participaciones que presentan actualmente son 20% para combustibles, 15% para llantas, aceites y repuestos, 15% para salarios, y 50% para los costos fijos. Por consiguiente, la inflación, el aumento del salario mínimo y el precio de los combustibles, que son variables de política macroeconómica, influyen directamente en la tarifa.

La política del gobierno nacional de desmontar el subsidio al ACPM ha puesto en serios problemas a Transmilenio.

SUBSIDIO A LOS COMBUSTIBLES

La política del gobierno nacional de desmontar el subsidio al ACPM ha puesto en serios problemas a Transmilenio. En el Decreto 2988 del 21 de octubre de 2003 se estableció un desmonte total a partir del 1° de enero de 2005; por tanto, a partir de esa fecha, el combustible debería adquirirse a los precios internacionales, que se encuentran un 60% por encima de los internos. El objetivo era sustituir el consumo masivo de ACPM por gas natural para disminuir la presión sobre las importaciones del primero. La medida fracasó desde su concepción. A los concesionarios dueños de los buses no les interesa invertir para cambiar sus siste-

mas a unos más baratos, cuando de todas maneras —como se explicó anteriormente— tienen asegurados contractualmente sus precios unitarios licitados, sin importarles qué tan alta sea la tarifa. Ante su impotencia, el Distrito lo único que podía hacer era llamar la atención del gobierno nacional para revocar la medida. En ese contexto, se emitió el Decreto 4227 el 12 de diciembre de 2004, con el cual se mantiene el subsidio para el consumo actual de 21.000 barriles mensuales, pero se desmonta para consumos mayores. Es claro que si el desmonte del subsidio al ACPM se hubiera hecho efectivo, el pasaje en Transmilenio estaría por lo menos un 12% por encima de la tarifa actual, y el sistema, así como el gobierno distrital, presentarían graves inconvenientes. Desde ya, el Distrito debe tomar las medidas correspondientes para que los operadores de las troncales SUBA, NQS y Américas utilicen buses de gas natural, pues de lo contrario, deberán adquirir el ACPM a los precios internacionales, lo que aumentaría la tarifa.

AUMENTO DE COSTOS Y TARIFA

Ante el aumento progresivo de los costos de operación por kilómetro, en especial debido al alza del precio de los combustibles, el aumento del IPK en la operación troncal ha sido la otra variable que el regulador ha tenido que manipular para frenar los aumentos tarifarios. De acuerdo con la estructura tarifaria, la tarifa del sistema representa el costo de operación por pasajero transportado, que en la operación troncal (75%) es igual a la relación C_T/IPK ; donde, C_T son los costos de operación por kilómetro recorrido que deben remunerarse a los concesionarios privados de acuerdo con los precios contratados, y el IPK son los pasajeros transportados por kilómetro recorrido. Obsérvese que con el factor de la fórmula ajuste, $\Delta C_T/\Delta IPK$, se tiene que un aumento de los costos (numerador) puede ser neutralizado con un aumento proporcional del IPK (denominador), de manera que su relación, correspondiente al costo por pasajero para los concesionarios de las troncales, y por tanto la tarifa, permanezcan constantes.



Ante el aumento progresivo de los costos de operación por kilómetro, en especial debido al alza del precio de los combustibles, el aumento del IPK en la operación troncal ha sido la otra variable que el regulador ha tenido que manipular para frenar los aumentos tarifarios.

El aumento de los pasajeros transportados por kilómetro recorrido (IPK), producto de un cambio en la asignación de rutas y despacho de buses por el regulador, ha consistido en reducir los kilómetros recorridos para aumentar dicha relación; como el numerador (pasajeros transportados) permanece constante, la intervención consiste en disminuir el denominador (kilómetros recorridos por la flota). En consecuencia, los buses recogerán más pasajeros en un solo viaje y, de esta manera, disminuyen los costos de transporte por pasajero. Gracias a este manejo, un aumento de \$100 anunciado por la empresa distrital para mayo de 2004, se hizo efectivo 8 meses después. Es necesario aclarar de nuevo, que así

les disminuyan los kilómetros recorridos de su flota, tanto esta política como el aumento “exógeno” de los costos, es indiferente para los concesionarios privados, pues lo que les interesa es que se les mantengan y reintegren sus costos unitarios licitados en términos reales, lo cual tienen garantizado contractualmente con las fórmulas de ajuste tarifario.

Un ejemplo sencillo servirá para explicar esta situación. 300 personas necesitan movilizarse del punto A al punto B, y corresponde a la demanda del sistema entre las 8 y las 9 a.m. (1 hora); la distancia de A a B es 10 km y se dispone de una flota de 3 buses para ofrecer el servicio cuyo costo de operación inicial por kilómetro es \$10.000. Si se utiliza toda la flota se harán tres viajes; por viaje tendrán que llevarse 100 pasajeros. La frecuencia será 1 bus cada 20 minutos y cada bus recorrerá 10 km; en total se recorrerán 30 km. El IPK será 10; los costos totales de operación serán de \$300.000 y, por tanto, la tarifa que tendrá que pagar cada usuario será \$1.000. Supongamos que por cualquier razón los costos de operación aumentan 50% y pasan a \$15.000 por kilómetro. ¿Qué deberá hacerse para que ante este aumento de costos no se incremente la tarifa a los usuarios? La respuesta es muy simple: hacer solamente 2 viajes, y no 3 como se hacía anteriormente, lo que permitirá mantener los costos totales de transporte (\$300.000) y la tarifa al usuario (\$1.000). Pero veamos las consecuencias sobre las demás variables: los kilómetros recorridos disminuyen de 30 a 20; para atender

los costos totales de operación serán de \$300.000 y, por tanto, la tarifa que tendrá que pagar cada usuario será \$1.000. Supongamos que por cualquier razón los costos de operación aumentan 50% y pasan a \$15.000 por kilómetro. ¿Qué deberá hacerse para que ante este aumento de costos no se incremente la tarifa a los usuarios? La respuesta es muy simple: hacer solamente 2 viajes, y no 3 como se hacía anteriormente, lo que permitirá mantener los costos totales de transporte (\$300.000) y la tarifa al usuario (\$1.000). Pero veamos las consecuencias sobre las demás variables: los kilómetros recorridos disminuyen de 30 a 20; para atender

toda la demanda deberán llevarse en cada viaje 150 pasajeros (50 más por viaje); de esta manera el IPK aumenta a 15 y la frecuencia será de 1 bus cada ½ hora. Por otro lado, a los operadores se les siguen reintegrando sus costos (\$15.000), que finalmente es lo único que les interesa. Obsérvese que el aumento del IPK es 50% y es igual al aumento de los costos; también, que si éste no se hubiera dado y se hubieran mantenido los mismos 3 viajes, la tarifa habría aumentado a \$1.500, en la misma proporción que los costos (50%).

EXPLICACIÓN A LAS INCOMODIDADES

Ciertamente, el aumento IPK implica un mayor *grado de eficiencia del sistema* porque significa que se transportarán más pasajeros en un solo viaje; pero también influye negativamente en el *grado de comodidad de los usuarios*, en las frecuencias de los buses y, por tanto, en los tiempos de viaje. Para garantizar la calidad y eficiencia del sistema, en los contratos se estableció un mínimo de 4,75 inmodificable y un máximo variable que inicialmente se estableció de 5,1. El IPK es responsabilidad de la empresa distrital gestora o reguladora encargada de asignar las rutas,

número de viajes y kilómetros recorridos por la flota. Para aumentarlo, el Distrito disminuye los kilómetros recorridos limitando la oferta de buses, lo que se traduce en frecuencias de recorrido menores. De esta manera, el total de kilómetros recorridos por la flota disminuye, y como la demanda es igual, los buses recogerán más usuarios en un solo viaje, el IPK aumenta y los costos unitarios disminuyen. Así, los usuarios tienen que esperar más en los paraderos, los buses pasan más llenos y las incomodidades aumentan. El problema se hace más crítico en las zonas de baja demanda y en las horas no pico. Inevitablemente, los usuarios quedan entre el alza de tarifas y el aumento de los tiempos de viaje e incomodidades; y el Distrito, entre las protestas de los usuarios y los enormes subsidios para hacer viable el sistema.

Así mismo, si el regulador decidiera mejorar la calidad del servicio para que los usuarios viajen más cómodos, tendría que aumentar el despacho de buses; por tanto, aumentarían los kilómetros recorridos y se presentarían mayores frecuencias que disminuirían los tiempos de espera en las estaciones. Como se explicó anteriormente, esto llevaría a un alza de la tarifa o a un aumento de los subsidios para com-

pensarla. Sin embargo, esta política tampoco solucionaría el problema de los tiempos de viaje. Por problemas de diseño que se explicarán más adelante, la capacidad instalada no soportaría la cantidad de buses que se necesitan para garantizar una buena calidad del servicio. La disminución de los tiempos de espera serían neutralizados por aumentos en la congestión de buses que disminuirían la velocidad y el tiempo de recorrido. El sistema presenta un serio problema: la comodidad de los usuarios estaría sujeta a un aumento tarifario que no correspondería a una mejora en los tiempos de desplazamiento. En consecuencia, los usuarios de Transmilenio están condenados al hacinamiento, pues no están dispuestos a pagar la tarifa que les representaría una mayor comodidad. Lo que antes era la “guerra del centavo” ahora se ha convertido en la “guerra del hacinamiento”.

CAPACIDAD INSTALADA

Como se mencionó, en ciertas partes críticas del sistema la infraestructura presenta serias insuficiencias, lo que será más notorio a medida que avancen las fases del proyecto. Como se observa en la figura 1, la mayor parte

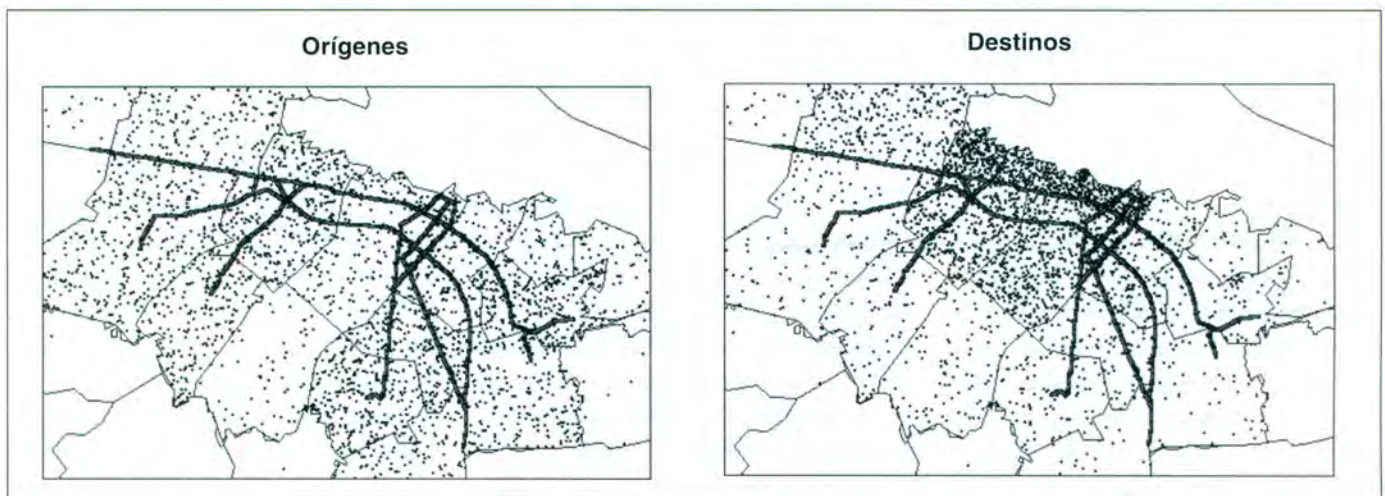


Figura 1. Composición de la demanda de transporte público en Bogotá. Orígenes y destinos.

Fuente: Steer, Davis & Gleave. Estudios y diseños previos.

Corredor	Pas/hora
Avenida Caracas	36.000
Calle 80	25.100
Autopista Norte	16.700
Norte Quito Sur	25.400
Avenida Suba	24.800
Avenida de las Américas	28.800



Fuente: Steer, Davis & Gleave. Estudios y diseños previos.

Figura 2. Tránsito de pasajeros en hora pico.

de los destinos de los pasajeros están concentrados sobre la troncal de la Caracas y la Autopista Norte, entre las calles 6 y 116. Al mismo tiempo, este tramo presenta dificultades en el tránsito de los buses debido a la cantidad de semáforos y estrechez de sus vías y estaciones, lo que reduce notablemente la velocidad de los vehículos y, por consiguiente, los tiempos de viaje. Obsérvese también que los orígenes están casi uniformemente distribuidos por toda la ciudad.

Lo anterior implica que la construcción de las nuevas troncales de la Fase II determinará una baja utilización de éstas y una utilización más intensa de las existentes. Como se muestra en la figura 2, la demanda del sistema por kilómetro construido tiende a disminuir cada vez más. De esta manera, el aumento de la capacidad instalada no se ve correspondido con un aumento

proporcional en la demanda; la atracción de demanda será cada vez menor. La demanda de la Fase I (Caracas, calle 80, Autopista Norte y parte de la Avenida de las Américas—42,4 km) hoy puede llegar al millón de pasajeros diarios. Con la entrada en operación de la Fase II (NQS, Suba y el resto de la Avenida de las Américas—42,3 km), se duplicarán los kilómetros de troncal construidos y se prevé que la demanda de pasajeros solamente llegará al millón cuatrocientos mil diarios, y la flota aumentará

en 335 buses¹⁸. Esta situación era previsible, de acuerdo con la figura 2, para las Fases I y II; por tanto, no hay explicación de por qué las prestigiosas firmas consultoras internacionales no se anticiparon a las dificultades de expansión que presenta el sistema.

Suponiendo de nuevo que el Distrito decidiera mejorar la calidad del servicio aumentando las frecuencias y

compensara con subsidios el alza de la tarifa, tampoco solucionaría el problema; la infraestructura actual no soporta un número mayor de buses y la congestión se acentuaría necesariamente en las zonas más críticas, como la Avenida Caracas. Una muestra del reconocimiento a esta realidad es que la flota de buses existente para la Fase I es la tercera parte de la proyectada. En el documento Conpes 3098 se muestra que al terminar la Fase II se debería contar con una flota de 2.400 buses pero, como se mostró, apenas se contará con 950.

De esta forma, se advierte que con la entrada en operación de la Fase II y con el manejo que está dando el Distrito a la asignación de viajes, la frecuencia de buses en las nuevas troncales será más baja para compensar el aumento de los costos unitarios derivado de la baja atracción de pasajeros. Por lo demás, las frecuencias de paso de buses para las diferentes rutas disminuirán considerablemente a medida que avance el proyecto y, junto con la mayor congestión en las zonas críticas, aumentarán los tiempos de des-

plazamiento. Otra vez, la población queda entre el aumento en los tiempos de viaje e incomodidades, y el alza de las tarifas. Como se mostró, el problema será más crítico en las cuencas de alimentación y en las horas no pico, que presentan baja demanda. Esta realidad impone límites al sistema y plantea la necesidad de revisar el proyecto en su conjunto y contemplar otras modalidades de transporte.

PERSPECTIVAS DEL TRANSPORTE EN LA CIUDAD

En un estudio publicado por el Cede de la Universidad de los Andes¹⁹, se evalúan los efectos que ha tenido la entrada en operación de la primera fase de Transmilenio en el tráfico de la ciudad, considerando el sistema mismo y el funcionamiento paralelo del sistema tradicional. Los resultados obtenidos por este estudio también confirman las tesis explicadas anteriormente. Los más sorprendidos son los autores. El estudio se inicia con una apología a los beneficios que el Transmilenio significa a la población en términos de tiempo de desplazamiento, comodidad y medio ambiente. El entusiasmo se desinfla a lo largo del documento; desaparece en el último párrafo, en el cual se reconoce que los costos son mayores que los beneficios; y adquiere visos dramáticos en los cuadros estadísticos, donde se observa que la relación entre unos y otros es de dos veces.

Los resultados obtenidos muestran que si bien los resultados sobre los corredores de Transmilenio son positivos, los resultados en los demás co-

rredores de la ciudad son negativos y mayores que los primeros, y por tanto, son negativos en el neto para la ciudad. La explicación que dan los auto-



Las cuestionadas tasas de chatarrización son de los pocas variables que se han mantenido de acuerdo con lo proyectado. La capacidad instalada presenta serias insuficiencias en algunos sectores críticos y los costos de construcción se han triplicado.

res a estos resultados es que las bajas tasas de chatarrización han aumentado el tráfico y los tiempos de viaje para los usuarios del sistema tradicional. Por tanto, la sugerencia final es completar lo más pronto posible las fases del proyecto y limitar la oferta de buses tradicionales. Sin embargo, esta conclusión desconoce totalmente la realidad actual sistema. Como se ha mostrado, las cuestionadas tasas de chatarrización son de los pocas variables que se han mantenido de acuerdo con lo proyectado. La capacidad instalada presenta serias insuficiencias en algunos sectores críticos y los costos de construcción se han triplicado.

Como muestra dicho estudio, el tiempo de desplazamiento de los pasajeros que se encuentran en la vecindad de los corredores del Transmilenio se reduce en 20% con respecto a los buses tradicionales y el de los que re-

quieran transferencia es similar e incluso mayor. Por otra parte, se encuentra que aumentó el tiempo de desplazamiento en los buses tradicionales,

que representan más de la mitad del transporte. Así, el ahorro del tiempo de movilización en la ciudad está cercano a cero. Por eso, los costos de la inversión resultan mayores que los beneficios. Lo grave es que las cosas no variarán en el futuro. De acuerdo con el principio de los vasos co-

municantes en el tráfico, se puede esperar que a medida que avancen las fases del proyecto, el tiempo de desplazamiento en el Transmilenio aumente y que el de los buses chatarra disminuya hasta nivelarse. En este caso los beneficios continuarían siendo pequeños.

GENERACIÓN DE EMPLEO

Las consecuencias más desafortunadas de los problemas explicados anteriormente se dan en la generación de empleo. Los sobrecostos y los problemas de diseño no dejan margen para la nómina. Como reflejo de lo anterior, las obras de infraestructura del IDU, que ascendieron en 2003 a \$600.000 millones, no generaron más de 16.000 empleos directos, incluidos los de Transmilenio. Estos resultados no corresponden con la teoría. En estudios de campo se muestra que en los trabajos de infraestructura regulares, los porcentajes de nómina oscilan entre 35% y 45%, lo cual implica la creación de 1 empleo por cada \$10 millones.

Las cifras del IDU recogidas en el 2005 indican que, sumando los que se generan en la construcción y en la operación, el sistema no ha generado más

de 5.000 empleos anuales. Lamentablemente los errores de diseño y planeación de las firmas consultoras han destruido la capacidad de la infraestructura para crear empleo y contribuir a impulsar la demanda de la economía.

En general, se trata de obras con altísimo componente importado, elevados costos unitarios de materiales y expuestas a grandes sobrecostos, que reducen el porcentaje de nómina y que desconocen por completo el costo de oportunidad de la mano de obra²⁰. Las condiciones son más críticas en el Transmilenio, donde la gran mayoría de equipos y partes son adquiridos en el exterior. Un claro ejemplo se nota en la construcción de las estaciones troncales: la NQS y Suba se contrataron a más de 3 millones por metro cuadrado²¹, un valor que excede fácilmente el de un apartamento en el estrato más lujoso de la ciudad. Este resultado increíble se debe al alto costo del acero importado con el cual están diseñadas dichas estructuras, que por lo demás, ya han puesto en duda su calidad cuando algunas de las existentes han tenido que ser reparadas. En el caso de la ruptura de losas de concreto, para nadie es un secreto que falló el ejercicio más elemental y conocido de ingeniería. Simplemente, el relleno fluido que hace parte fundamental de la estructura básica del pavimento no tiene la resistencia para soportar las cargas y movimientos de



Lamentablemente los errores de diseño y planeación de las firmas consultoras han destruido la capacidad de la infraestructura para crear empleo y contribuir a impulsar la demanda de la economía.

los vehículos. Más grave aún es que se diga que el diseño y las especificaciones técnicas se modificaron en el IDU

por presiones de los vendedores de materiales. La ruptura de las losas es sólo la manifestación de un mal mayor. Como se muestra en el libro *La crisis de la infraestructura vial*²², es costumbre modificar los diseños y las especificaciones técnicas en el camino, lo que finalmente resulta en serias deficiencias técnicas y en monumentales aumentos de costos.

CONCLUSIONES

De todo lo anterior se puede concluir que contrario a lo que dicen sus apologistas, el sistema Transmilenio no ha hecho gran cosa por el desarrollo de la ciudad. Al principio, ofrecía un modo de transporte económico y de enorme comodidad. Por razones que hemos analizado, estas condiciones se modifican y dificultan en la medida que se amplía el sistema. La continuación del proyecto requiere nuevas fuentes de financiación; la operación del sistema significa grandes subsidios nacionales y locales; la estructura tarifaria diseñada a favor de los concesionarios privados y la administración del sistema ha puesto en enormes dificultades a los usuarios y al gobierno distrital. Los usuarios han quedado

entre el alza de tarifas y aumentos en los tiempos de viaje e incomodidades; y el Distrito, entre el aumento de los subsidios y las protestas de los usuarios. Por último, el proyecto no genera mayor empleo.

Los sobrecostos han tenido consecuencias muy inconvenientes para la sociedad en su conjunto. El espectacular aumento de gastos en la infraestructura coincidió con un aumento sin precedentes en el desempleo, la pobreza y la desigualdad en la ciudad. En este contexto, el costo social de los recursos extras se eleva y la asignación futura de recursos para el proyecto se ve comprometida. Las fallas técnicas, de planeación y los monumentales sobrecostos, dejan al descubierto serias deficiencias en la concepción y ejecución del proyecto. La entrega de la operación del negocio a un cartel de transportadores revela un serio desconocimiento de la realidad del sector. Las nuevas condiciones del sistema, en materia de rentabilidad y financiación, y las dificultades asociadas a la ampliación del tamaño plantean interrogantes sobre la viabilidad económica y financiera. El futuro del sistema no está despejado.

El Transmilenio tiene muchas de las características de las obras faraónicas. El país está en camino de comprometer cuantiosos recursos que, si bien mejorarán la comodidad de los usuarios,

no implicarán mayor beneficio económico en tiempo. Como alternativa, se plantea una modalidad más modesta, que no pretenda reducir mayormente la velocidad del sistema en relación con el tradicional. La prioridad debe orientarse, más bien, a sustituir el automóvil particular, sin duda

Transmilenio no ha hecho gran cosa por el desarrollo de la ciudad. Al principio, ofrecía un modo de transporte económico y de enorme comodidad.

el sistema más ineficiente de transporte urbano. En este contexto, la expansión de las troncales de Transmilenio tendría que estar acompañada de una reducción de la infraestructura destinada a los automóviles y del incremento de los impuestos y restricciones vehiculares. Como propuesta inmediata, se plantea un alto en el camino para precisar los factores que determinaron la elevación de los costos y establecer claramente su evolución en el futuro, examinar los contratos de concesión, modificar el cronograma de inversiones, redefinir la estructura tarifaria y, desde luego, contemplar otras modalidades de transporte dentro de la política general de movilidad y desarrollo urbano.

El país está en camino de comprometer cuantiosos recursos que, si bien mejorarán la comodidad de los usuarios, no implicarán mayor beneficio económico en tiempo.

REFERENCIAS

1. Documento Conpes 3093 del 15 de noviembre de 2000. "Sistema de servicio público urbano de Transporte Masivo de pasajeros de Bogotá –Seguimiento.
2. Sarmiento, E. "El debate del Transmilenio"; columna de opinión publicada en el semanario *El Espectador*, 11 de enero de 2004.
3. Contraloría General de la República. "Los sistemas integrados de transporte masivo urbano en Colombia – Aproximación Conceptual". Contraloría Delegada para el sector Infraestructura Física y Telecomunicaciones, Comercio Exterior y Desarrollo Regional. Agosto de 2004, pág. 57.
4. El Análisis Costo-Beneficio (ACB) o Evaluación Económica es un análisis de eficiencia que tiene como objetivo determinar el impacto neto en el bienestar para la sociedad, derivado de cierto proyecto, política o asignación de recursos; el resultado concreto son los indicadores de rentabilidad económica. A diferencia de la evaluación financiera, este ejercicio consiste en sumar las pérdidas y ganancias de los diferentes agentes que intervienen, basado en el criterio de variación compensada. El procedimiento de valoración de impactos se hace siguiendo "los tres postulados básicos de la economía del bienestar aplicada", Harberger [1972].
5. El consumo es el factor generador de bienestar y es la forma de medirlo. Por consiguiente, cuanto más disponibilidad de bienes y servicios tenga una sociedad para su consumo, mayor será su nivel de bienestar. Un cambio en el bienestar se da a través de la utilidad, valor o satisfacción que genera un cambio en el ingreso, por tanto en el consumo o, si se quiere, en la calidad de vida que brinda un proyecto.
6. Para Colombia el DNP, de acuerdo con sus estimaciones, ha establecido una TSD igual a 12%. Los indicadores que se muestran en adelante se derivaron a partir de este valor.
7. Steer, Davis & Gleave. *Diseño técnico operacional del Proyecto Transmilenio*. Estudio contratado por la Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá. Volúmenes VIII y IX: Evaluación Económica, 1999.
8. Costos de US\$1.32/km bus articulado, US\$0,66/km bus tradicional; recorridos de 290 km/día bus articulado, 205 km/día bus tradicional; RPC global de costos 0,70.
9. "Plan Marco sistema Transmilenio". Documento preparado por Transmilenio S.A. y el Instituto de Desarrollo Urbano.
10. Chaparro, I. "Evaluación del impacto socio-económico del transporte urbano en la ciudad de Bogotá. El caso del sistema de transporte masivo Transmilenio". CEPAL – Serie de recursos naturales e infraestructura No. 48, octubre de 2002.
11. Ver referencia 10, pág. 47, y referencia 18, págs. 30 y 40.
12. I.T. Transport Ltd., Consultants in Transport for Rural Development. "The Value of Time in Least Developed Countries". Knowledge and Research (KaR) 2000/01 DFID Research No. R7785. Final Report. Julio de 2002.
13. Ver referencia 3, pág. 58.
14. Para información más detallada ver referencia 3, págs. 52 y 53.
15. Contrato 018 de 2003, de concesión para la prestación del servicio público de transporte terrestre masivo urbano de pasajeros en el sistema TransMilenio, suscrito entre "TransMilenio S.A. y Conexión Móvil S.A. Título 2, Capítulo 4, Cláusula 27.
16. Inicialmente se consideró un porcentaje de pasajeros alimentados (%A) de 37,1; hoy este valor puede llegar al 60%. Esta situación ha aumentado de 9 a 17% la participación del costo de alimentación en la tarifa. Para más información ver referencia 3, págs. 55 y 56.
17. Para una explicación más detallada ver referencia 14, cláusula 27.
18. Ver referencia 9, págs. 4 y 28.
19. Echeverry J. y otros. "The economics of Transmilenio, a mass transit system for Bogotá". Documento CEDE 2004-28, Universidad de los Andes.
20. Sarmiento E. "Estrategia de empleo para Bogotá". Publicado en la revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería; edición No. 56, octubre-diciembre de 2004.
21. Ver referencia 9, pág. 18.
22. Sarmiento E. y otros. *La crisis de la infraestructura vial*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 1996



Distribución uniforme de caudales en plantas de tratamiento⁽¹⁾

Sandra Lorena Díaz* y Jairo Alberto Romero Rojas**

La distribución uniforme del caudal afluente a las unidades de una planta de tratamiento de agua constituye un problema importante para muchos ingenieros. En este artículo se presenta un procedimiento para determinar la distribución uniforme del caudal mediante un múltiple o tubería con ramificaciones y a través de un canal rectangular con vertederos laterales.

Palabras clave: caudal, descarga, sistema de distribución.

SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CON TUBERÍAS

Hudson (2) y otros (3) presentaron en 1981 un procedimiento para diseñar una tubería con derivaciones, valiéndose de coeficientes aplicables a descargas laterales y obteniendo como pérdida de energía total desde el punto A hasta el B (figura 1) la suma de las pérdidas debidas a:

1. La fricción en la tubería principal o múltiple.
2. La fricción en el lateral.
3. La contracción brusca en la sección del lateral.
4. La disipación de la energía de velocidad en la salida del lateral.

Las pérdidas por fricción se pueden ignorar en plantas de tratamiento de agua donde se presentan longitudes cortas y paredes lisas en la tubería principal y en las ramificaciones laterales.

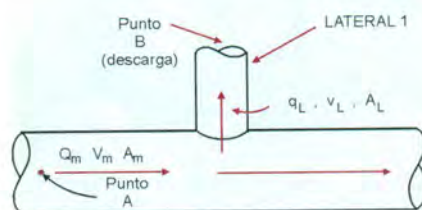


Figura 1. Esquema del distribuidor con tuberías.

La ecuación 1 representa las pérdidas entre el punto A y el punto B.

$$\beta = \varphi \left(\frac{V_m}{V_L} \right)^2 + \theta + 1,0 \quad (1)$$

donde

β es el coeficiente que relaciona las pérdidas entre los puntos A y B.

φ es un coeficiente experimental determinado por Hudson (2); igual a 1,67 para laterales cortos e igual a 0,9 para laterales largos.

V_m es la velocidad media en la tubería principal, m/s.

V_L es la velocidad en el lateral, m/s.

θ es el coeficiente de la pérdida a la entrada y 1,0 es el coeficiente de pérdida a la salida. El valor de θ es igual a 0,7 para laterales cortos e igual a 0,4 para laterales largos.

Suponiendo que la pérdida a la salida de cada lateral es la misma, se tiene:

$$\frac{\beta_1 V_{L1}^2}{2g} = \frac{\beta_2 V_{L2}^2}{2g} = \dots = \frac{\beta_i V_{Li}^2}{2g} \quad (2)$$

donde i es el número de orden de cada lateral y g es la aceleración de la gravedad.

La velocidad en cada lateral, V_{Li} , puede expresarse en términos de las condiciones de cualquier lateral aplicando la ecuación 3.

$$V_{Li} = V_{L1} \sqrt{\frac{\beta_1}{\beta_i}} \quad (3)$$

El caudal total se da como

$$Q_T = A_{L1} V_{L1} + A_{L2} V_{L2} + A_{L3} V_{L3} + \dots + A_{Li} V_{Li} \quad (4)$$

donde Q_T es el caudal total en la tubería principal y A_{Li} es el área del lateral. Si todas las bifurcaciones tienen la misma área, entonces

$$V_{Li} = \frac{Q_T}{A_L \sqrt{\beta_i}} \left(\sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{1}{\beta_i}} \right)^{-1} \quad (5)$$

* Ingeniera civil, especialista en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

** I.C., MEEE, profesor titular y miembro del Consejo Directivo de la Escuela Colombiana de Ingeniería jromero@escuelaing.edu.co.

Donde n es igual al número de laterales.

Las ecuaciones anteriores son aplicadas de manera iterativa para determinar la distribución real del flujo. La solución se facilita mediante cálculo en computador. La programación del modelo realiza el siguiente procedimiento iterativo (4):

1. Se tienen como datos el caudal de entrada Q , el número de laterales n , el diámetro de la tubería principal D y el diámetro de los laterales d_i .

2. Se supone un caudal Q distribuido en partes iguales por cada lateral y una pérdida de igual magnitud a través de cada lateral.

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \sum_{i=1}^n q_i \quad (6)$$

$$q_i = \frac{Q}{n} \quad (7)$$

3. Se calcula la velocidad V_L para cada lateral, utilizando la ecuación 8.

$$V_L = \frac{q_i}{A_i} \quad (8)$$

4. Se calcula el caudal aguas abajo de cada lateral Q_n por la diferencia entre el caudal aguas arriba Q_{n-1} y el caudal q_n desviado por el lateral.

$$Q_n = Q_{n-1} - q_n \quad (9)$$

5. Se calcula la velocidad media en la tubería principal aguas debajo de cada lateral, aplicando la ecuación 10.

$$(V_m)_i = \frac{Q_n}{A} \quad (10)$$

donde A es el área de la tubería principal.

6. Se calcula el término que relaciona la velocidad media en la tubería principal con la velocidad para cada lateral, aplicando la ecuación 11.

$$\left(\frac{(V_m)_i}{(V_L)_i} \right)^2 \quad (11)$$

7. Se calcula el valor de β , para cada uno de los laterales, aplicando la ecuación 12.

$$\beta_i = \varphi \left(\frac{(V_m)_i}{(V_L)_i} \right)^2 + \theta + 1,0 \quad (12)$$

8. Se calcula el término $\sqrt{\frac{1}{\beta_i}}$ para cada lateral.

9. Se calcula el valor de la velocidad en cada lateral aplicando la ecuación 5.

10. Se calcula el valor de q_{i+1} y, según el criterio preestablecido, para la variación del caudal entre el primero y el último lateral, se hace la relación de manera que se cumpla la ecuación 13.

$$\frac{q_n}{q_1} \leq \text{Tolerancia} \quad (13)$$

Si la ecuación 13 no se cumple, se repiten los pasos 3 a 10, hasta que converja el resultado.

SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN POR CANALES

Los canales de distribución se diseñan de sección variable para que el flujo afluyente se distribuya uniformemente a los tanques de tratamiento, con dispositivos de control del flujo a lo largo del canal, como vertederos laterales (rectangulares o triangulares) u orificios sumergidos, que deben tener las mismas características y estar ubicados a igual distancia (figura 2).

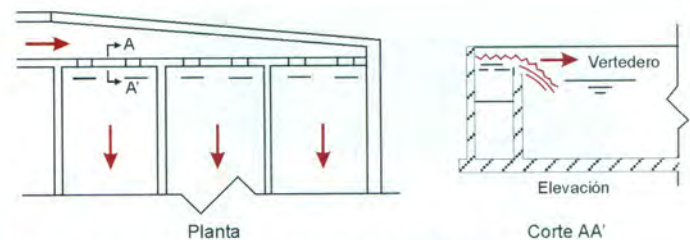


Figura 2. Esquema del distribuidor en canales

Chao y Trussell (4, 5) propusieron en 1980 el "método del paso" para analizar la distribución del flujo en un canal rectangular, prismático u horizontal cuando el control del flujo se logra por vertederos laterales rectangulares u orificios sumergidos, donde las características de flujo de cada vertedero u orificio son determinadas procediendo paso a paso desde aguas abajo del canal de distribución hasta aguas arriba donde el flujo entra en el canal.

Para cualquier vertedero, se supone que se cumple la ecuación 14.

$$Q = CH^m \quad (14)$$

donde

Q es el caudal sobre el vertedero.

C es el coeficiente de descarga del vertedero.

H es la carga sobre el vertedero.

m es el coeficiente según el tipo de vertedero.

A lo largo del canal de distribución, el caudal aguas arriba de cada vertedero está dado por la expresión 15.

$$q_w = \left(\frac{2}{3}\right) l_w C_w \sqrt{2g} (y_w - S_w)^{1.5} \quad (15)$$

donde

q_w es la descarga total encima del vertedero lateral, m³/s.

l_w es la longitud del vertedero, m.

C_w es el coeficiente de descarga (coeficiente de DeMarchi).

g es la aceleración de la gravedad, m/s².

y_w es la altura de la lámina de agua al lado del vertedero lateral, m.

S_w es la altura de la cresta del vertedero lateral por encima del canal, m.

De acuerdo con DeMarchi (5), la energía específica, E , es constante a lo largo del canal de repartición. En este caso, el caudal en una sección del canal está dado por la ecuación 16.

$$Q = Wy\sqrt{2g(E - y)} \quad (16)$$

donde

Q es el caudal en el canal principal, m³/s.

W es el ancho del canal, m.

y es la altura de la lámina de agua en el canal, m.

g es la aceleración de la gravedad, m/s².

E es la energía específica en el canal, m.

$$C_w = 0,611 \sqrt{1 - \left(\frac{3F_u^2}{F_u^2 + 2}\right)} \quad (17)$$

donde

C_w es el coeficiente de descarga del vertedero.

$F_u < 1.0$ es el número de Froude.

El procedimiento de cálculo es el siguiente (3):

1. Se establece el número de vertederos a usar, la longitud de cada vertedero, la altura de cada vertedero sobre el fondo del canal, el ancho del canal y el caudal total afluente.

2. Se inicia el cálculo aguas abajo del canal, suponiendo un caudal sobre el último vertedero, $(q_w)_{fa}$, sabiendo que se debe cumplir la ecuación 18.

$$(q_w)_{fa} = \frac{\text{Caudal total}}{\text{No. Vertederos}} \quad (18)$$

3. Con el caudal supuesto en el paso 2, se procede así:

a) Se supone una profundidad $(y_u)_f$ aguas arriba del último vertedero, por ejemplo,

$$(y_u)_f = S_w + 0,01 \quad (19)$$

b) Se calcula la velocidad del agua en el canal $(V_u)_f$ aguas arriba del último vertedero, aplicando la ecuación 20.

$$(V_u)_f = \frac{(q_w)_{fa}}{W(y_u)_f} \quad (20)$$

c) Se calcula el número de Froude $(F_u)_f$ aguas arriba del último vertedero, según la ecuación 21.

$$(F_u)_f = \frac{(V_u)_f}{\sqrt{g(y_u)_f}} \quad (21)$$

d) Se calcula el coeficiente C_w para el último vertedero aplicando la ecuación 22.

$$C_w = 0,611 * \sqrt{1 - \left(\frac{3F_u^2}{F_u^2 + 2}\right)} \quad (22)$$

e) Se calcula la descarga sobre el último vertedero aplicando la ecuación 23.

$$q_w = \left(\frac{2}{3}\right) l_w C_w \sqrt{2g} (y_w - S_w)^{1.5} \quad (23)$$

f) Se comparan la descarga supuesta del vertedero $(q_w)_{fc}$ y la descarga del vertedero calculada $(q_w)_{fa}$, según la ecuación 24.

$$\Delta q = |(q_w)_{fc} - (q_w)_{fa}| \quad (24)$$

Si el incremento del flujo, Δq , es mayor que el criterio preestablecido, se aumenta $(y_u)_f$ en, por ejemplo, 0,005 m y se repiten los pasos 3(b) hasta 3(f). Si Δq es menor que el criterio establecido, se continúa aguas arriba hasta el próximo vertedero.

g) Una vez satisfecho el criterio de la ecuación 24, se calcula la energía específica aguas arriba del último vertedero a lo largo del canal de distribución aplicando la ecuación 25.

$$E = (y_u)_f + \frac{[(q_w)_{fc} / W(y_u)_f]^2}{2g} \quad (25)$$

4. Se supone que el caudal sobre el próximo vertedero de interés $(q_w)_K$ es igual al calculado anteriormente en el vertedero aguas abajo $(q_w)_{K+1}$ más cercano.

$$(q_w)_K = (q_w)_{K+1} \quad (26)$$

a) Se adopta una profundidad de flujo aguas arriba del vertedero más cercano $(y_D)_K$ igual a la profundidad del flujo aguas abajo del vertedero de interés $(y_u)_{K+1}$.

$$(y_D)_K = (y_u)_{K+1} \quad (27)$$

b) Se calcula el caudal en el canal principal aguas arriba del vertedero de interés, aplicando la ecuación 28.

$$(Q_u)_K = (q_w)_K + \sum_{i=k+1}^{i=n} (q_w)_i \quad (28)$$

donde n representa el número total de vertederos del canal.

c) Se calcula la profundidad de flujo aguas arriba del vertedero de interés aplicando la ecuación y resolviendo $(y_u)_k$ por tanteo.

$$(Q_u)_k = W(y_u)_k \sqrt{2g[E - (y_u)_k]} \quad (29)$$

d) Se determina la profundidad media de flujo $(y_a)_k$ a lo largo de la longitud del vertedero aplicando la ecuación 30.

$$(y_a)_k = \frac{(y_u)_k + (y_D)_k}{2} \quad (30)$$

e) Se calcula la velocidad del agua en el canal aguas arriba del vertedero de interés aplicando la ecuación 31.

$$(V_u)_k = \frac{(Q_u)_k}{W(y_u)_k} \quad (31)$$

f) Se calcula el número de Froude aguas arriba del vertedero de interés mediante la ecuación 21.

g) Se calcula el coeficiente del vertedero de interés mediante la ecuación 22.

h) Se calcula la descarga sobre el vertedero de interés aplicando la ecuación 23.

i) Se compara la descarga supuesta del vertedero y la descarga calculada del vertedero mediante la ecuación 24.

Si el incremento del flujo, Δq , es mayor que el criterio preestablecido, se aumenta $(y_w)_f$ en, por ejemplo, 0,005 m y se repiten los pasos 3(b) hasta 3(f). Si Δq es menor que el criterio establecido, se continúa aguas arriba hasta el próximo vertedero.

5. Después de calculada la descarga encima de cada vertedero, se suman las descargas calculadas individuales como lo indica la ecuación 32.

$$QT = \sum_{i=1}^{I=N} (q_w)_i \quad (32)$$

6. Se compara la descarga calculada total QT , con el caudal afluente real Q , mediante la ecuación 33.

$$\Delta Q = |Q - QT| \quad (33)$$

Si el incremento del caudal total, ΔQ , es mayor que el criterio preestablecido (Ejemplo, $N \times 0,05$), se procede así:

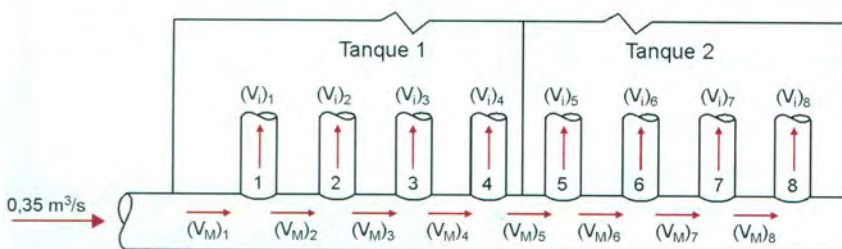


Figura 3. Esquema del ejemplo 1.

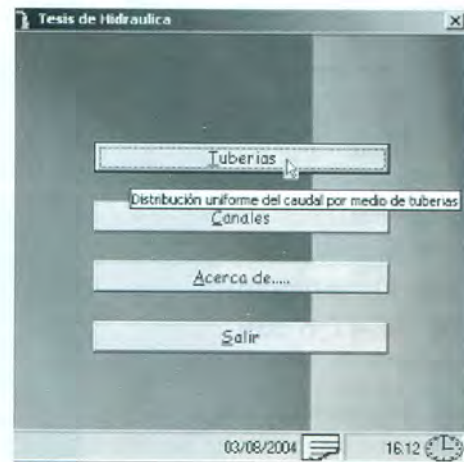
si QT es mayor que Q , se disminuye $(q_w)_f$; si QT es menor que Q , se aumenta el valor de $(q_w)_f$ y se repiten los pasos 3 hasta el 6. Finalmente si ΔQ es menor que el criterio establecido, la distribución de flujo real se ha logrado.

EJEMPLO 1. DISTRIBUCIÓN UNIFORME DE FLUJO CON TUBERÍAS (3)

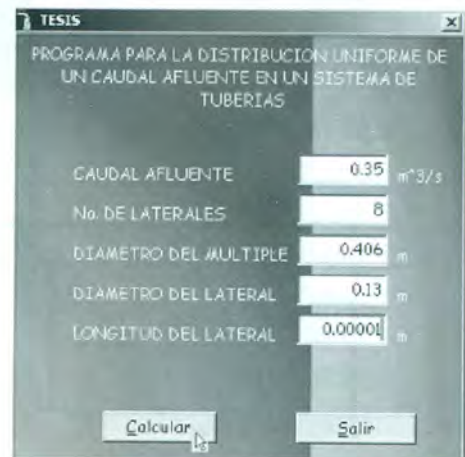
Calcular la distribución del flujo para un caudal afluente de $0.35 \text{ m}^3/\text{s}$ distribuido a dos tanques de sedimentación, cada uno con cuatro laterales de descarga. Se supone que los laterales son cortos, que el diámetro de la tubería principal es 40,6 centímetros y el de los laterales, 13 centímetros. Se ignoran las pérdidas de fricción en el múltiple y en los laterales (figura 3).

Solución

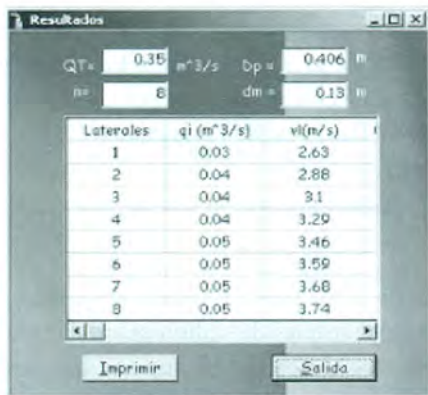
El modelo permite resolver el problema en la secuencia descrita en las pantallas 1 a 4. Los resultados se presentan en las pantallas 3 y 4.



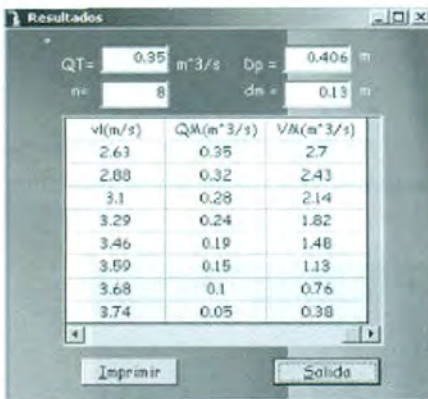
Pantalla 1



Pantalla 2



Pantalla 3



Pantalla 4

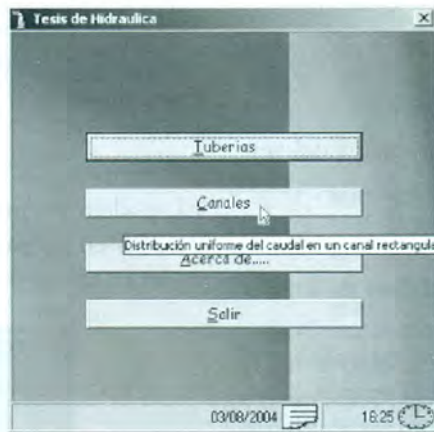
EJEMPLO 2. DISTRIBUCIÓN UNIFORME DE FLUJO CON CANALES (3)

Una planta de tratamiento de agua se diseña para tratar un caudal de 56.800 m³/día (0,657 m³/s). El caudal afluente se distribuye mediante un canal a dos tanques de sedimentación, cada uno con tres vertederos laterales. El canal tiene 14,63 m de largo y 1,22 m de ancho. Los vertederos laterales tienen

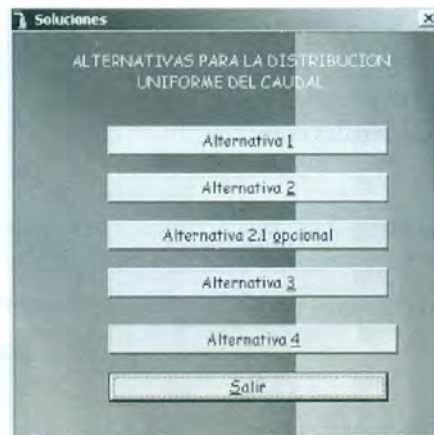
1,22 m de ancho y se encuentran espaciados cada 1,22 m (figura 4). Se requiere valorar la distribución de la descarga a través de todos los vertederos.

Solución

El modelo permite resolver este problema por medio de cinco alternativas (pantallas 5 y 6).

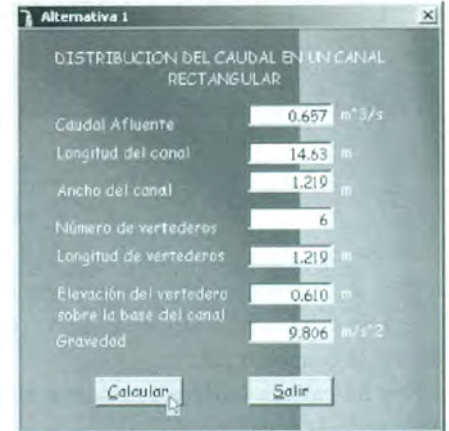


Pantalla 5



Pantalla 6

Alternativa 1: realice la distribución del caudal afluente a los dos tanques de tratamiento manteniendo las condiciones iniciales de la geometría del canal y la elevación de los vertederos. El modelo resuelve el problema para esta alternativa en la secuencia descrita en las pantallas 7 a 9.



Pantalla 7



Pantalla 8



Pantalla 9

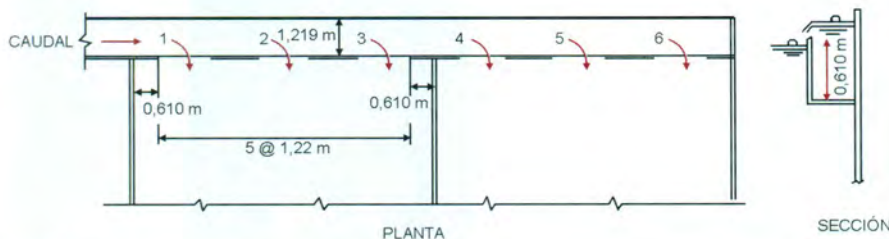
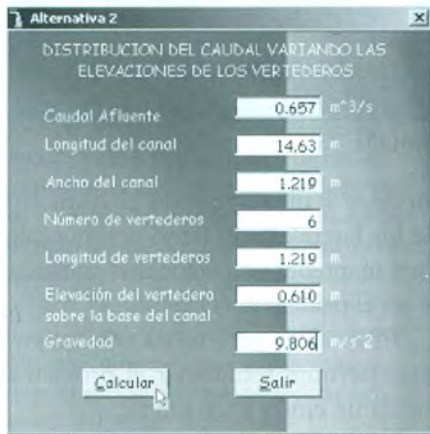
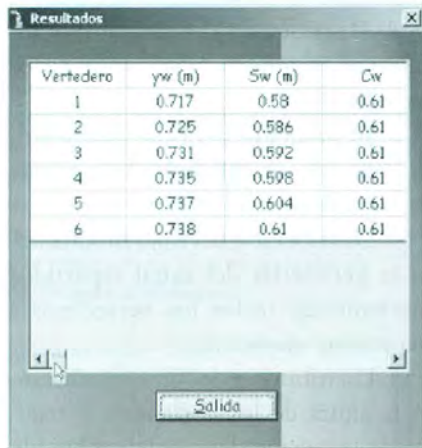


Figura 4. Esquema del ejemplo 2.

Alternativa 2: realice la distribución del caudal afluente sin ninguna modificación de la geometría del canal, arrancando con la cresta del último vertedero y ajustando las elevaciones en cada uno de ellos en 6 mm. La solución se muestra en las pantallas 10 a 12.



Pantalla 10

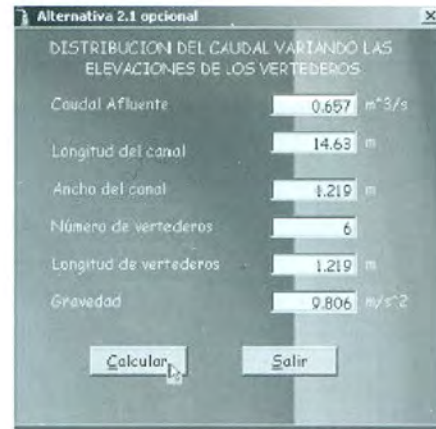


Pantalla 11

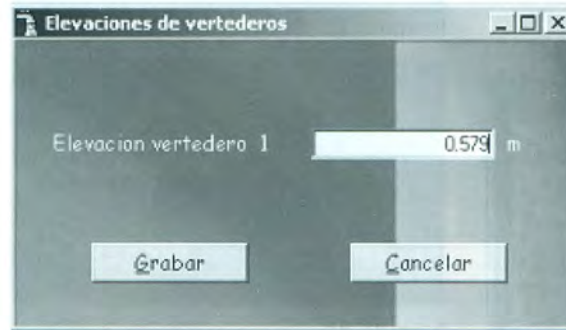


Pantalla 12

Alternativa 2.1: realice la distribución del caudal afluente permitiendo al usuario el ajuste de las elevaciones en los vertederos según su criterio sin realizar ninguna modificación de la geometría del canal. La solución se muestra en las pantallas 13 a 16.



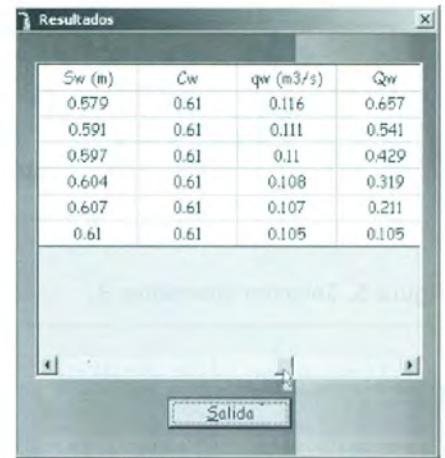
Pantalla 13



Pantalla 14



Pantalla 15



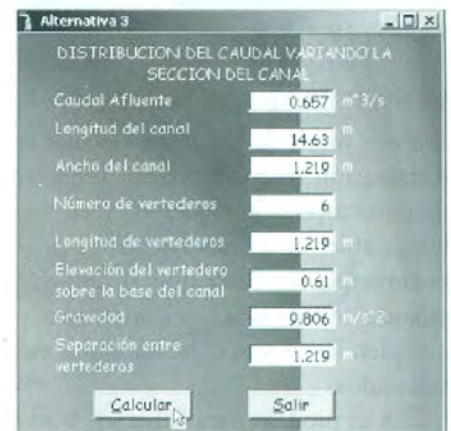
Pantalla 16

Alternativa 3: realice la distribución del caudal afluente estrechando el canal en el sentido del flujo (figura 5), de manera que el número de Froude y el coeficiente de descarga permanecerán casi constantes. Esto permite equilibrar

el cambio en la energía cinética del flujo en el canal. Los resultados se muestran en las pantallas 17 a 19.

Alternativa 4: combine las alternativas 2.1 y la 3; permite realizar la variación de las elevaciones de los vertederos y la reducción de la sección del canal. Los resultados se muestran en las

pantallas 20 a 23.



Pantalla 17

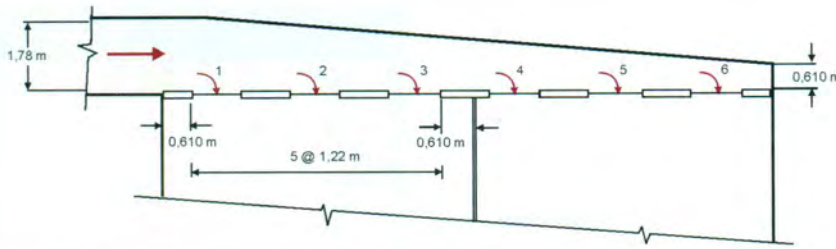


Figura 5. Solución alternativa 3.

W Canal(m)	Cw	qw (m ³ /s)	Qw(m ³ /s)
1.778	0.611	0.1	0.656
1.574	0.61	0.109	0.556
1.371	0.61	0.112	0.448
1.168	0.61	0.112	0.336
0.965	0.609	0.115	0.224
0.762	0.609	0.109	0.109

Vertedero	yw (m)	W Canal(m)	Cw
1	0.733	1.778	0.611
2	0.74	1.574	0.61
3	0.745	1.371	0.61
4	0.749	1.168	0.61
5	0.752	0.965	0.609
6	0.753	0.762	0.608

Pantalla 18

Alternativa 4

DISTRIBUCIÓN DEL CAUDAL VARIANDO LAS ELEVACIONES DE LOS VERTEDEROS Y LA SECCIÓN DEL CANAL

Caudal Afluyente: 0.657 m³/s

Longitud del canal: 14.63 m

Ancho del canal: 1.219 m

Número de vertederos: 6

Longitud de vertederos: 1.219 m

Gravedad: 9.806 m/s²

Separación entre vertederos: 1.219 m

Calcular Salir

Pantalla 20

W Canal(m)	Cw	qw (m ³ /s)	Qw
1.778	0.611	0.095	0.656
1.574	0.61	0.102	0.561
1.371	0.61	0.109	0.459
1.168	0.61	0.114	0.35
0.965	0.609	0.117	0.236
0.762	0.608	0.119	0.119

Pantalla 19

Elevaciones de vertederos

Elevacion vertedero 1: 0.597 m

Grabar Cancelar

Pantalla 21

Vertedero	yw (m)	Elevacion (m)	W Canal(m)
1	0.725	0.597	1.778
2	0.732	0.597	1.574
3	0.737	0.6	1.371
4	0.742	0.604	1.168
5	0.744	0.604	0.965
6	0.745	0.61	0.762

Pantalla 22

Pantalla 23

múltiple y disminuyendo el diámetro de los laterales a lo largo del múltiple para mantener una velocidad constante en el principal.

El modelo para canales rectangulares permite solucionar el problema mediante cinco alternativas:

1. Distribución del caudal sin realizar ningún tipo de modificación al canal.
2. Distribución del caudal modificando internamente la elevación de los vertederos.
3. Repartición del flujo permitiendo al usuario modificar la elevación de los vertederos a su criterio.
4. Distribución del flujo modificando la geometría del canal repartidor manteniendo todos los vertederos a una misma elevación.
5. Distribución del flujo modificando la altura de los vertederos y reduciendo la sección del canal distribuidor.

El usuario escoge, según su criterio, la alternativa más apropiada de diseño.

REFERENCIAS

1. Díaz, S.L. Modelo para la Distribución Uniforme de Caudales en Plantas de Tratamiento, MDUC-PT. Tesis para optar al título de Especialista en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente, Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá D.C. 2004.
2. Hudson H. Dividing-flow manifolds with square-edged laterals. *Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE*, vol. 105, august 1979.
3. Droste, R. *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*. Wiley. 1997.
4. Benefield, Larry. *Treatment Plant Hydraulics for Environmental Engineers*. Prentice Hall. 1984.
5. Chao, J. Hydraulic Design of Flow Distribution Channels. *Journal of de Environmental Engineering Division, ASCE*, vol. 106, april 1980.

CONCLUSIONES

Los dos modelos permiten calcular la distribución uniforme de un flujo en sistemas a presión (tuberías) y en sistemas abiertos (canales) con un procedimiento iterativo que se detiene cuando los resultados convergen y cumplen los criterios de tolerancia establecidos.

En el modelo para tuberías, la selección final del diámetro del múltiple y de los laterales se realiza por medio

de ensayo-error, hasta que sea aceptable la distribución del flujo a cada uno de los tanques de tratamiento. Esto se logra aumentando el diámetro del

Cálculo estructural de tablestacas para refuerzo de un puerto marítimo

Ce Tochtli Méndez Ramírez y Alejandro Ruiz Sibaja

En este trabajo se presenta una metodología para cálculo estructural de tablestacas del tipo de las que se usan para refuerzo de puertos marítimos. Esta metodología, de carácter general, se aplica al caso particular de una tablestaca que se va a construir en el puerto interno de Manzanillo en Colima, México. La tablestaca de referencia tiene la intención de evitar que se pierda material fino y, al mismo tiempo, se contenga de manera eficiente el suelo colindante con el muelle del puerto mencionado. El modelo empleado se basa en una pantalla cuyas características mecánicas se determinan por metro transversal de la misma. Se consideran las cargas del terreno, de los elementos de contención lateral y las cargas por peso propio. La discretización de la tablestaca se realiza a cada 25 cm y se obtiene para cada punto el comportamiento mecánico del terreno y de la estructura. Se incluyen los resultados numéricos del análisis estructural y se presentan las recomendaciones de diseño para la tablestaca.

Palabras clave: análisis, diseño, tablestaca, comportamiento.

ANTECEDENTES

El puerto de Manzanillo, ubicado en el estado de Colima en la costa del Pacífico mexicano, es el segundo puerto del país de acuerdo con el volumen de mercancía manejada y es el principal puerto en el litoral del Pacífico. Es un puerto interno que se encuentra en la laguna de San Pedrito. Su recinto portuario abarca una superficie de 437 hectáreas que incluye la infraestructura e instalaciones marítimas y terrestres para operar todo tipo de carga. Cuenta con nueve posiciones de atraque de longitud restringida distribuidas a lo largo de tres muelles o bandas denominadas, Banda A, Banda B y Banda C, con longitudes de 450, 570 y 685 metros, respectivamente, y 12 metros de profundidad promedio cada una (figura 1).

La Banda A del puerto de Manzanillo es el muelle de más antigüedad de este puerto. Es un muelle de tipo marginal dividido en tres tramos de atraque. Está construido a partir de pilotes de sección cuadrada de 50×50 cm, de concreto armado precolado, e hincados hasta el estrato resistente (-15 m), por lo cual se consideran pilotes de punta. El muelle consta de una losa plana de 65 cm de espesor, de concreto armado con varilla del número 6 @ 25 cm en ambos sentidos y en ambos lechos (figura 2). Es importante destacar que este muelle fue afectado seriamente por el sismo del 9 de octubre de 1995, de modo que la estructura tuvo que reforzarse considerablemente.

Pese a este refuerzo se desarrollaron hundimientos en las áreas colin-

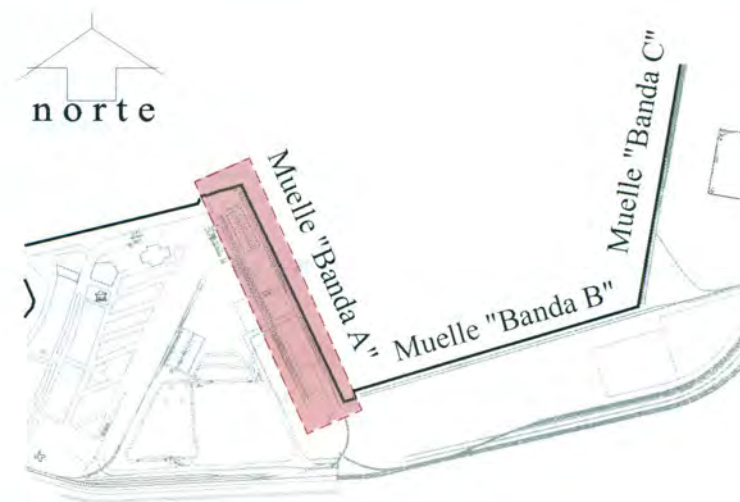


Figura 1. Localización del muelle "Banda A".

Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería, Xalapa, Veracruz, México
cmendez@uv.mx, ruizsibaja@yahoo.es



Figura 2. Disposición de pilotes.

dantes con la Banda A como consecuencia del sismo del 21 de enero de 2003. A partir de estos antecedentes se desprende la necesidad de desarrollar un refuerzo estructural del área afectada para evitar que se siga perdiendo material fino y se contenga de manera eficiente el suelo colindante con el muelle. La propuesta de refuerzo se basa en la instalación de una tablestaca, como se describe en los apartados siguientes.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Diagrama de presiones sobre la tablestaca

El sitio donde se construyó la tablestaca consta de una serie de estratos arenosos. Por tanto, se utilizó el método de soporte libre para tablestacas en suelo arenoso, que consis-

te en suponer una viga vertical cuyas características mecánicas se obtienen por metro transversal de la misma. Sobre este elemento actúa el empuje del terreno, tanto en el trasdós como en el intradós, además de la carga por peso propio. El diagrama de presiones sobre la tablestaca y la profundidad inicial de hincado se obtienen según las hipótesis adoptadas por Braja (2001) para tablestacas en suelo arenoso (figura 3).

La secuencia de cálculo para obtener el diagrama de presiones sobre la tablestaca y la profundidad inicial de hincado (D_{real}) se muestra en la tabla 1 (Braja, 2001).

Análisis del sistema suelo-tablestaca

Una vez obtenida la profundidad de hincado, se procede a realizar el análisis de la tablestaca de acuerdo con un modelo no lineal del suelo en que se encuentra. A partir de la secuencia de la tabla 1 se encontró una profundidad inicial de hincado real $D_{real} = 6.421$ m. A continuación se propuso la geometría preliminar de la tablestaca para estudiar su comportamiento; las dimensiones se basan en las recomendaciones de un estudio de mecánica de suelos (Correa Rodríguez, 2003).

El análisis se llevó a cabo con ayuda de un programa especializado en este tipo de estructuras (Cype Ingenieros,

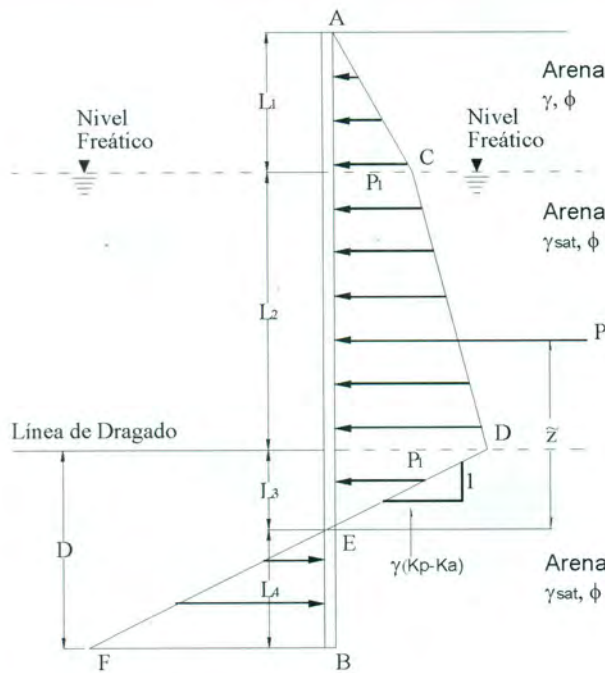


Figura 3. Diagrama de presiones sobre la tablestaca.

Tabla 1

Cálculo del diagrama de presiones sobre la tablestaca

Cantidad requerida	Ecuación de cálculo
1. Presión activa de Rankine K_a	$K_a = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$ (1)
2. Presión pasiva de Rankine K_p	$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$ (2)
3. Presión activa en L_1	$p_1 = \gamma L_1 K_a$ (3)
4. Presión activa en L_2	$p_2 = (\gamma L_1 + \gamma L_2) K_a$ (4)
5. Profundidad L_3	$L_3 = \frac{p_2}{\gamma' (K_p - K_a)}$ (5)
6. Área del diagrama de presiones P	$P = \frac{1}{2} [p_1 L_1 + p_1 L_2 + (p_2 - p_1) L_2 + p_2 L_3]$ (6)
7. Centro de presión Z'	$Z' = \frac{\sum M_E}{P}$ (7)
8. Profundidad L_4	$L_4^3 + 1.5L_4^2(l_2 + L_2 + L_3) - \frac{3P(L_1 + L_2 + L_3) - (Z' - l_1)}{\gamma' (K_p - K_a)} = 0$ (8)
9. Profundidad teórica $D_{teórica}$	$D_{teórica} = L_3 + L_4$ (9)
10. Profundidad real D_{real}	$D_{real} = 1,30 \times D_{teórica}$ (10)

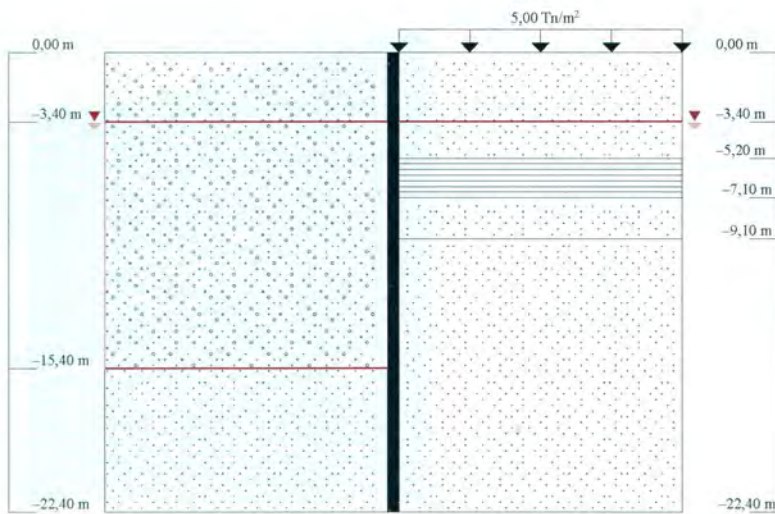


Figura 4. Modelo suelo-tablestaca utilizado.

2004). Se consideró que la tablestaca está sometida a una carga sísmica de 0.35g con las características del sismo de 1995 que afectó esa zona (Méndez Ramírez, 2003).

El modelo de cálculo para el estrato arenoso y la tablestaca se muestra en la figura 4. En esta figura se representa la carga que actúa sobre la tablestaca. Esta acción es originada por el movimiento de los contenedores en el patio del muelle y por las condiciones de trabajo de las grúas en el área de operaciones. La modelación del sistema se realizó mediante elementos finitos tipo lámina gruesa tridimensional (Cype Ingenieros, 2004).

Se utilizó un método de análisis pseudoestático de equilibrio límite en el que debe realizarse una serie de iteraciones hasta obtener la convergencia hacia la solución. En la figura 5 se concentran los resultados para las fases de análisis considerando el suelo descrito por el sondeo SM-01 (Correa Rodríguez, 2003).

DISEÑO ESTRUCTURAL Y NORMATIVAS UTILIZADAS

Con los resultados obtenidos del análisis se propuso la utilización de tablestacas de concreto reforzado.

Las tablestacas de concreto reforzado se diseñaron según la sección que se muestra en la figura 7. La resistencia de diseño, $f'c$, considerada fue 250 kg/cm². Se aceptó que el concreto es resistente a los efectos de la corrosión por agua de mar. Esta tablestaca se

puede hincar en casi cualquier tipo de suelo, incluso en aquellos con presencia de boleos de cierto diámetro (hasta 50 cm). Además, este tipo de refuerzo ofrece la ventaja de que se puede construir *in situ*, característica que no poseen las tablestacas de acero.

Básicamente, el comportamiento estructural de ambos sistemas es parecido; por esta razón, este aspecto no se consideró relevante para tomar decisiones. En consecuencia, los argumentos considerados para elegir entre una y otra tablestaca fueron el costo de los materiales, la fabricación de los elementos y el proceso constructivo.

Las normativas consideradas para el diseño fueron la EHE-99 y el RCDF-95. Se optó por utilizar la instrucción EHE-99 debido a que se consideró apropiado consultar una normativa en la que se dan lineamientos para el diseño de este tipo de construcciones. Además, el programa de cálculo utilizado incluye módulos en los que se revisa el diseño mediante estas normas (Cype Ingenieros, 2004).

Por otra parte, se utilizó el RCDF-95 porque contiene indicaciones acer-

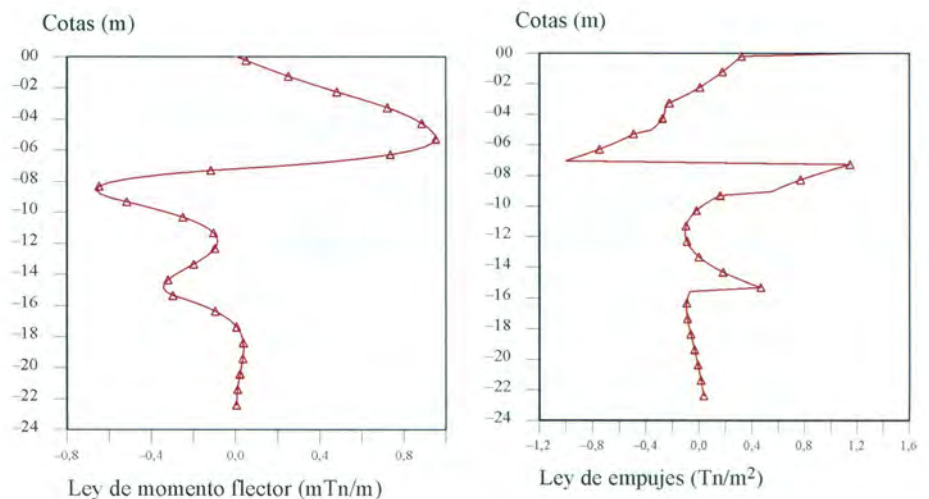


Figura 5. Leyes de momento flector y empuje.

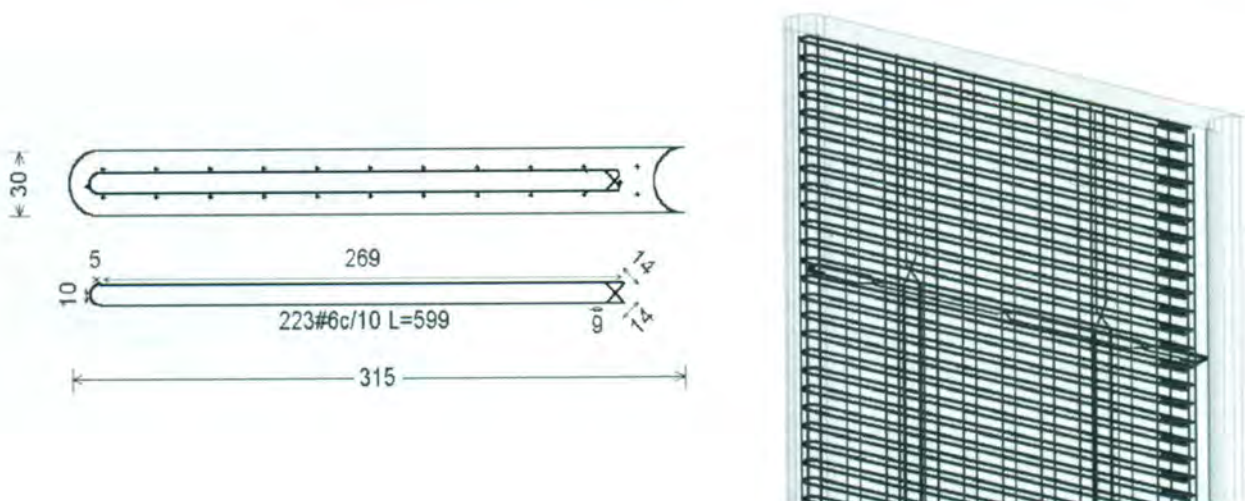


Figura 7. Tablestaca de concreto reforzado.

ca de los requerimientos necesarios para materiales y para combinaciones de carga adecuadas para el entorno mexicano. Esta reglamentación también se considera dentro de los módulos del programa de cálculo utilizado (Cype Ingenieros, 2004).

El uso de estas normativas permitió establecer una comparación entre ellas para aprovechar las bondades de estas reglamentaciones; en consecuencia, se obtuvo un diseño óptimo de la tablestaca.

CONCLUSIONES

Se presentó el cálculo estructural de una tablestaca cuya finalidad es mejorar el comportamiento del suelo colindante con el muelle de un puerto interno. El modelo utilizado para simular el comportamiento de la tablestaca se basa en suponer un comportamiento mecánico plástico del terreno de forma que se aproxime mejor a la realidad física de la interacción entre ambos sistemas. El análisis implica el uso de un método pseudoestático de equilibrio límite en el que deben realizarse una serie de iteraciones hasta obtener la convergencia hacia la solución.

A partir de los resultados del análisis se propone la utilización de tablestacas de concreto reforzado. Esta elección es motivada por el hecho de que las tablestacas de concreto han mostrado deformaciones laterales menos importantes que las de acero. Esto se traduce en un mejor comportamiento del sistema ante la generación potencial de presión de poro durante un evento sísmico (McCullough, 1998). Así mismo, la existencia de boleo en los diferentes estratos en que se construirá la estructura justifica la elección de las tablestacas de concreto reforzado.

El diseño propuesto constituye la solución óptima del problema desde el punto de vista estructural y del económico, y se ajusta a las recomendaciones de diseño establecidas por las normativas española y mexicana. Pese a la dispersión implícita en el comportamiento del suelo y en la variabilidad de los movimientos sísmicos, la metodología utilizada proporciona una herramienta adecuada para el cálculo estructural de tablestacas en suelos susceptibles de licuefacción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Braja, M. D. *Principios de ingeniería de cimentaciones*. Thomson Editores. 2001.
2. Correa Rodríguez, E. "Estudio de mecánica de suelos para revisión de estructuras y pisos en la zona del muelle Banda A", Reporte interno, LANCO. 2003.
3. Cype Ingenieros. "Elementos de contención". *Manual de usuario*. Cype Ingenieros. 2004.
4. Méndez Ramírez, C.T. "Elección de la solución más adecuada para el reforzamiento del Muelle Banda A del puerto interno San Pedrito", Reporte interno. Méndez Ingenieros S.A. 2003.
5. *Boletín Oficial del Estado* R. D. 996/99 Instrucción de Hormigón Estructural (EHE). Ministerio de Fomento de España. 1999.
6. *Gaceta Oficial* del D. F. Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto, Departamento del Distrito Federal. 1995.
7. McCullough, Nason J. "The seismic vulnerability of sheet pile walls". Thesis for the degree of Master of Science in Civil Engineering. Oregon State University. 1998

Modelación 1D y 2D de efectos locales en algunas arcillolitas de la formación Bogotá al centro-oriente de la ciudad

Andrés Alfaro*, Pilar Monroy**, Diego García***, Jorge Ardila****, Mariano Ramos***** y Rene van Hissenhoven*****

Para evaluar los efectos sísmicos locales se emplearon el método unidimensional lineal equivalente, con el cual se modelaron 76 columnas estratigráficas, y el método bidimensional, con el que se analizaron perfiles de sitios de diferentes espesores y posición de los materiales, determinando las funciones de transferencia del suelo. En este proyecto se hizo un levantamiento detallado de la geología regional y local, y se realizaron 17 perforaciones de 5 metros en el basamento rocoso (Formación Bogotá). Se extrajeron muestras inalteradas para la caracterización estática y dinámica de los suelos, incluidos 9 ensayos triaxiales cíclicos. En estas perforaciones se hicieron 17 ensayos geofísicos de tipo *Down Hole* y 15 perfiles sísmicos que permitieron la determinación de la velocidad de ondas sísmicas V_s y V_p .

Los resultados indican la conveniencia de la adecuada caracterización de los materiales mediante campañas geológicas, geotécnicas y geofísicas y la importancia de la modelación 2D para una aproximación más realista al fenómeno de la evaluación de efectos de sitio.

Palabras clave: Formación Bogotá, arcillolita, efectos sísmicos locales, modelación numérica.

INTRODUCCIÓN

Para la modelación numérica se utilizaron métodos unidimensionales (1D) cuya finalidad fue determinar la respuesta del terreno ante un evento sísmico y métodos bidimensionales (2D) que involucran los efectos geométricos del sitio. Mediante modelación 1D se evaluaron 76 columnas estratigráficas y, mediante modelación 2D, varios perfiles en zonas donde los estratos no son capas planas. Los resultados que se presentan son las funciones de transferencia, que indican los períodos predominantes de los suelos y las amplificaciones asociadas.

COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS ANALIZADAS

En el año 2001 empezó el proyecto para la microzonificación sísmica del

campus de la Universidad Javeriana a partir del análisis de información secundaria ([1]García y Alfaro, 2001), consistente en datos de 59 perforaciones, con los que se hizo una sectorización geotécnica, de acuerdo con el tipo de suelo y la profundidad del basamento rocoso; en este caso, la arcillolita de la Formación Bogotá (Teb) ([2] Lobo-Guerrero, 2002), y una evaluación de la posible respuesta sísmica local, estimando los períodos dominantes y amplificaciones asociadas para cada una de las columnas estratigráficas, empleando sismos cuyas características fueran acordes con el nivel de amenaza para Bogotá ([3] Arévalo *et al.*,

2003).

En el 2002 se realizaron 17 perforaciones adicionales que alcanzaron profundidades entre 8.0 m y 24.0 m, las cuales penetraron 5.0 m en el basamento rocoso ([4] Geotecnia y Cimentaciones, 2002); de estas perforaciones se extrajeron muestras para la caracterización estática y dinámica de los materiales. Además, se realizaron 17 ensayos geofísicos tipo *Down Hole* y 15 líneas sísmicas para determinar la velocidad de las ondas p y s en el subsuelo y obtener un modelo más realista del

Para realizar una modelación numérica realista de efectos locales, es necesario conocer las características geológicas, geotécnicas y geofísicas del subsuelo.

* Ingeniero civil, Pontificia Universidad Javeriana. MSc Universidad Politécnica de Cataluña. Especialista en Sismología International Institute of Seismology and Earthquake Engineering.

** Ingeniera civil, Pontificia Universidad Javeriana. MSc Universidad de los Andes.

*** Ingeniero civil, Pontificia Universidad Javeriana. MSc Universidad de los Andes.

**** Ingeniero civil, Pontificia Universidad Javeriana. ME Pontificia Universidad Javeriana.

***** Ingeniero civil, Pontificia Universidad Javeriana. MSc Universidad Nacional de Colombia.

***** Especialista en Sismología International Institute of Seismology and Earthquake Engineering. MSc Universidad de Boston. PhD en Geofísica Universidad de Wisconsin.

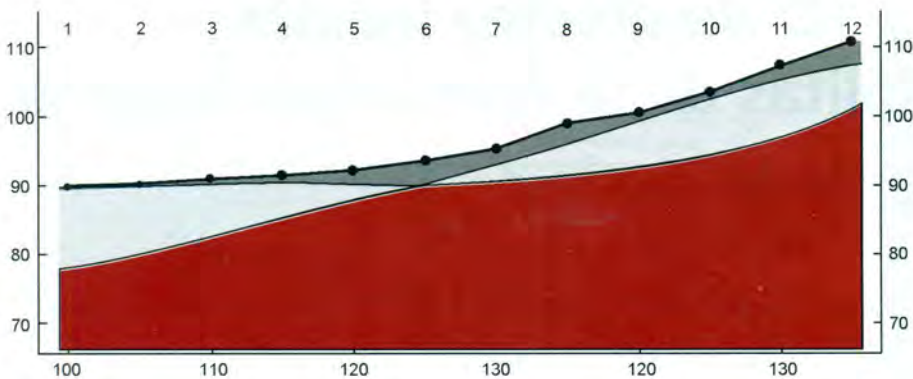


Figura 1. Ejemplo de uno de los perfiles estratigráfico del terreno a partir de dos ensayos tipo *down hole* en los extremos y un perfil de reflexión sísmica ([5] Ulloa, 2002). Las velocidades de onda de corte son 200 m/s, 500 m/s y 100 m/s.

subsuelo en cuanto a variaciones del espesor de los materiales ([5] Ulloa, 2002).

ENSAYOS REALIZADOS

Se realizaron ensayos de clasificación y resistencia-deformación: humedad natural, límites de Atterberg, peso unitario, gravedad específica, granulometría, hidrometría, compresión confinada, corte directo y nueve ensayos de triaxial cíclico, basados en la norma ASTM D 3999-91 ([6] ASTM, 1991) con el fin de establecer la variación del módulo de corte y el amortiguamiento con la deformación angular. Dichos ensayos se realizaron para deformaciones angulares entre 0.04% y 6.5%, con características de deformación controlada. Los datos fueron analizados siguiendo los criterios de Hardin y Drnevich ([7]1972a, [8] 1972b).

PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

Se realizaron 15 líneas de refracción sísmica con longitudes entre 44 m y 100 m (un ejemplo se presenta en la figura 1), complementados con 17 ensayos *down hole* en cada una de las per-

foraciones. La adquisición de los datos para las líneas de refracción sísmica se realizó por medio de un sismógrafo *Geometrics* de 12 canales. Para los ensayos de *down hole* se empleó una sonda triaxial *Geometrics* compuesta por dos geófonos horizontales y uno vertical. La interpretación de datos se realizó mediante el empleo del programa SIP (*Seismic Interpretation Program*). El método interpretativo empleado fue Tiempos de Retraso. Se encontraron velocidades de onda V_s entre 110 m/s y 1200 m/s ([5] Ulloa, 2002).

EFFECTOS LOCALES

Los efectos locales pueden dividirse en dos grandes grupos: efectos de amplificación y efectos geométricos. Los primeros corresponden a las modificaciones que sufre el movimiento sísmico (básicamente las aceleraciones y el contenido frecuencial), según las propiedades dinámicas y geométricas del suelo. Los efectos geométricos se refieren a cómo las características topográficas pueden generar amplificación (superficies convexas) o deamplificación (superficies cóncavas).

MÉTODOS DE EVALUACIÓN

Para el estudio, se emplearon el método unidimensional lineal equivalente Shake '91 ([9] Schnable *et al.*, 1972; [8] Idriss y Sun, 1992), el modelo bidimensional Quad4M ([10] Hudson *et al.*, 1994) y los programas Planesh y Transh([12] Pitarka, 1998 y [13] Takenaka, 2005), en zonas que por su topografía es posible que se presenten efectos de amplificación topográfica de la señal sísmica, o en zonas que presentan cambios representativos en la estratigrafía en los perfiles geofísicos realizados, como el perfil estratigráfico de la figura 1.

REGISTROS SÍSMICOS UTILIZADOS

Se utilizaron 36 registros horizontales y 14 verticales, correspondientes a nueve sismos, a saber: Long Beach (1933), San Fernando(1971), Sitka(1972), Alaska Subduction(1974), Imperial Valley(1979),Morgan Hill (1984), Valparaíso 2nd Aftershock (1985), Loma Prieta (1989), Quindío (1999) , de los cuales el ultimo ocurrió en Colombia, registrados en 18 estaciones diferentes ([14], NOAA, 1996). Dichos registros cumplen con las siguientes características: contenidos frecuenciales coherentes las fuentes sismogénicas colombianas, principalmente del sistema de Guaicáramo ([3] Arévalo *et al.*, 2003); distancias epicentrales de acuerdo con el Estudio Geológico Regional y Local ([2] Lobo-Guerrero, 2002); las magnitudes y las aceleraciones de acuerdo con el estudio realizado por Caneva *et al.* ([15] 2003, [16] 2004) donde la aceleración esperada para un tiempo de retorno de 475 años es 180 gales, con una confiabilidad del 90%. La tabla 1 presenta las características de los sismos utilizados en el análisis. Es importante tener en cuenta que los mecanismos focales no necesariamente corres-

Tabla 1
Registros sísmicos utilizados en el análisis ([12] Nooa, 1996)

Fecha	Nombre	Prof.	Mag.	Tipo_M	Comp.	Estación	Sitio	Geología	Acel.	Máx. vel.	Máx. disp.
330311	Long Beach	16	6	ML	N39E	Subway terminal, Los Ángeles	CA	Shale	62	17	8
					N51W				96	24	16
710209	San Fernando	8	7	ML	N37E	800 W. First ST, Los Ángeles	CA	Sandstone and Shale	87	18	9
					N53W				138	20	10
720730	Sitka	29	8	MS	N090E	Sitka Magnetic Observatory	AK	Graywacke	89	7	3
					N180E				77	8	4
740406	Alaska subduction	40	6	MB	N030E	Sand Point, school	AK	Volcanic Breccia	118	5	1
					N120E				98	7	1
791015	Imperial Valley	12	6.6	ML	45	Superstition mountain	CA	Granite	108	4.86	
					135				189.2	9.02	
840424	Morgan Hill	9	6	ML	270	San Justo damsite LT. Abutment	CA	Non-marine sedimentary rock	81	6	1
					360				69	5	1
		9	6	ML	270		CA		78	7	2
					360				60	6	2
850409	Valparaíso 2 aftershock	38	7	MS	10	Llolleo	Chile	Sandstone and volcanic rock	200	14	2
					100				167	6	1
891018	Loma prieta,	11	7	ML	270	Calaveras Array, cherry flat res, left abutmt	CA	Volcanic, Meta volcanic rock	75	9	7
					360				78	9	4
					212	Palo alto VA hospital, BLDG 1	CA	Sedimentary rock	378	40	10
					302				342	23	9
					316	San Justo Dam: crest (downhole)	CA	Non-marine sedimentary rock	265	38	12
					46				243	37	24
					226	San Justo Dam: crrest (surface)	CA		300	69	24
					316				416	51	12
					226	San Justo Dam: downstream face (surface)	CA		221	59	21
					226				292	69	22
					316	San Justo Dam: downstream face (surface)	CA		291	36	11
					316				354	42	12
					136	San Justo Dam: toe (downhole)	CA		155	2	10
					226				253	52	20
					358	San Justo Dike: crest (surface)	CA		291	31	16
					88				191	38	19
					270	Standford University, slca test lab	CA	Sedimentary rock	198	37	9
					360				282	28	7
990125	Quindío		6	MS	EW	Alto Libaré Pereira-Cboca Colombia	Rock	82.74			
					NS				49		

ponden con los mecanismos reportados por Loboguerrero ([2], 2002), como se puede observar en la figura 2, extractada de información de Harvard ([17]2005).

RESULTADOS

Las figuras 3 y 4 presentan un ejemplo de los resultados obtenidos para modelación numérica 1D y 2D. La columna estratigráficas PC-13, el ensayo de *Down-Hole* DH-13, la línea sísmica LSJAVPAR de 55m de longitud ([5] Ulloa, 2002) representan el subsuelo de la zona ejemplificada. Las funciones de transferencia muestran, columna PC-13, que el período predominante varía entre 0,4 y 0,7 segundos para amplificaciones asociadas entre 2,5 y 3,3 (figura 3).


La malla para la modelación 2D se diseñó con las propiedades de los materiales encontrados en las campañas geotécnica y geofísica, tres capas con las siguientes características: $V_{s1} = 200$ m/s; $V_{s2} = 500$ m/s; $V_{s3} = 1000$ m/s; densidad 1 = $1.9T/m^3$; densidad 2 = $2,2T/m^3$ y densidad 3 = $2,4T/m^3$. Los períodos varían entre 0,2 y 0,9 segundos, más un pico adicional en 3,0 segundos; con amplificaciones entre 1,5 y 2,3 veces, como se observa en la figura 4. En cuanto a las amplificaciones, los resultados son menores que los de la modelación 1D; sin embargo, los períodos dominantes abarcan una banda frecuencial más ancha (figura 4) como se encuentra en el análisis comparativo entre diferentes técnicas de modelación de efectos locales en Alfaro y Monroy ([18], 2004).

DISCUSIÓN

La evaluación de los efectos locales se realiza, en la mayoría de los casos, mediante una modelación numérica, ya que la cuantificación mediante la utili-


101579A CALIF-MEXICO BORDER REG.

Date: 1979/10/15 Centroid Time: 23:17: 0.8 GMT
 Lat= 32.62 Lon=-115.57
 Depth= 12.0 Half duration= 6.0
 Centroid time minus hypocenter time: 6.3
 Moment Tensor: Expo=25 -0.333 -4.390 4.723 -2.419 -5.521 1.506
 Mw = 6.5 mb = 5.7 Ms = 6.9 Scalar Moment = 7.23e+25
 Fault plane: strike=136 dip=39 slip=-180
 Fault plane: strike=46 dip=90 slip=-51




042484C CENTRAL CALIFORNIA

Date: 1984/ 4/24 Centroid Time: 21:15:28.8 GMT
 Lat= 37.59 Lon=-122.16
 Depth= 10.0 Half duration= 4.7
 Centroid time minus hypocenter time: 9.8
 Moment Tensor: Expo=25 -0.139 -1.579 1.718 0.418 0.312 1.190
 Mw = 6.2 mb = 5.8 Ms = 6.1 Scalar Moment = 2.1e+25
 Fault plane: strike=333 dip=76 slip=179
 Fault plane: strike=63 dip=89 slip=0




040955A NEAR COAST CENTRAL CHILE

Date: 1985/ 4/ 9 Centroid Time: 1:57: 7.6 GMT
 Lat= -34.26 Lon= -71.86
 Depth= 46.6 Half duration=13.0
 Centroid time minus hypocenter time: 9.0
 Moment Tensor: Expo=26 3.318 -0.001 -3.316 0.762 -3.604 0.312
 Mw = 7.1 mb = 6.3 Ms = 7.2 Scalar Moment = 4.97e+26
 Fault plane: strike=0 dip=21 slip=99
 Fault plane: strike=170 dip=69 slip=86




101889A CENTRAL CALIFORNIA

Date: 1989/10/18 Centroid Time: 0: 4:21.3 GMT
 Lat= 37.06 Lon=-121.63
 Depth= 19.0 Half duration=20.0
 Centroid time minus hypocenter time: 6.1
 Moment Tensor: Expo=26 1.284 -2.516 1.232 1.243 -1.042 0.108
 Mw = 6.9 mb = 6.6 Ms = 7.1 Scalar Moment = 2.69e+26
 Fault plane: strike=235 dip=41 slip=29
 Fault plane: strike=123 dip=71 slip=128



012599F COLOMBIA

Date: 1999/ 1/25 Centroid Time: 18:19:24.2 GMT
 Lat= 4.58 Lon= -75.75
 Depth= 27.7 Half duration= 3.0
 Centroid time minus hypocenter time: 7.3
 Moment Tensor: Expo=25 -0.398 -0.504 0.903 -0.994 -0.461 -1.504
 Mw = 6.1 mb = 5.9 Ms = 5.7 Scalar Moment = 2.01e+25
 Fault plane: strike=8 dip=65 slip=-21
 Fault plane: strike=107 dip=71 slip=-153



012599G COLOMBIA

Date: 1999/ 1/25 Centroid Time: 22:40:22.5 GMT
 Lat= 4.31 Lon= -75.74
 Depth= 33.8 Half duration= 1.3
 Centroid time minus hypocenter time: 6.0
 Moment Tensor: Expo=24 -0.479 -0.936 1.415 -0.995 -0.370 -1.275
 Mw = 5.5 mb = 5.5 Ms = 4.7 Scalar Moment = 2.07e+24
 Fault plane: strike=17 dip=67 slip=-23
 Fault plane: strike=116 dip=69 slip=-155




Figura 2. Mecanismos focales de algunos de los sismos utilizados en el análisis disponibles en ([15] 2005 Harvard).

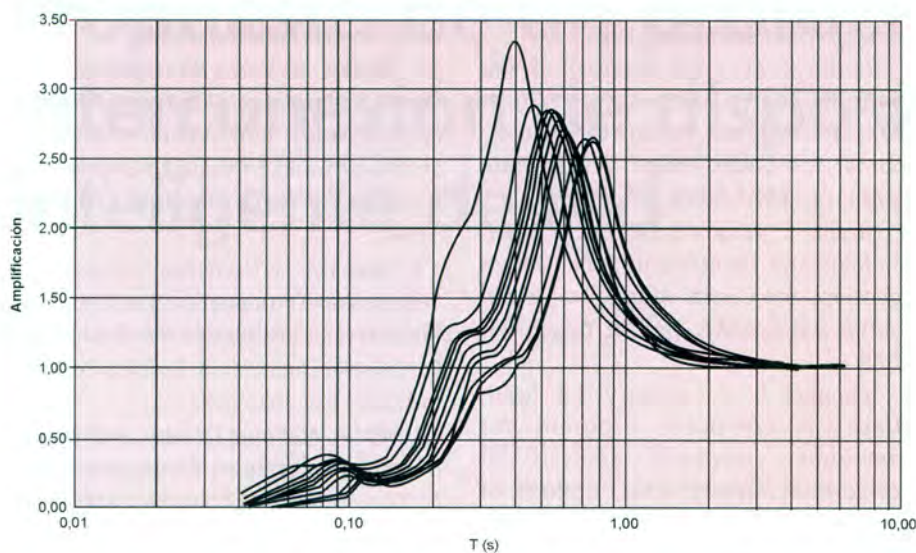


Figura 3. Funciones de transferencia perforación PC-13 – Modelo 1D.

zación de resultados provenientes de instrumentos de movimiento fuerte permanentes requiere una instalación costosa y el registro de varios eventos débiles y fuertes. En el caso de la ciudad de Bogotá se cuenta con al menos 32 instrumentos de movimiento fuerte en roca y en suelo; sin embargo, no se han registrado instrumentalmente eventos sísmicos fuertes (aquellos que superan 100 gales). El máximo registro en roca corresponde al sismo de Tauramena de 1995, 7 gales (estación CBOG1). Durante el

En el caso de la ciudad de Bogotá se cuenta con al menos 32 instrumentos de movimiento fuerte en roca y en suelo. Sin embargo no se han registrado instrumentalmente eventos sísmicos fuertes.

sismo del Quindío, la máxima aceleración en roca fue 1,57 gales en la caverna de San Bartolomé y 3,8 gales en suelo en CBOG1. Por tanto, es necesario realizar modelación numérica para la microzonificación sísmica de la ciudad y para proyectos específicos. Además, es importante tener en cuenta los sismos a utilizar para dicha mo-

delación. En el caso del artículo, se utilizaron registros en roca que cumplieran las distancias a las fuentes sísmogénicas, con magnitudes acordes con los estudios de amenaza sísmica

regional y cuyos contenidos frecuenciales estuvieran en el rango de los sismos proveniente principalmente del sistema de fallas de Guaicáramo. Sin embargo, no se tuvieron en cuenta los mecanismos focales ni los efectos de directividad.

La modelación bidimensional mostró una reducción de las amplificaciones, positivo para las construcciones, pero un aumento en el rango de los períodos, lo que se traduce en ordenadas mayores de aceleración en el espectro sísmico de diseño estructural y mayores probabilidades de resonancia para construcciones de diferentes características, ya que el rango incluye desde 0.3 a 0.9 segundos más un pico adicional en 3.0 segundos.

Para proyectos de cierta envergadura se recomienda la realización de estudios completos de amenaza sísmica local con modelaciones bidimensionales del posible comportamiento del subsuelo, que redundarán en diseños más acordes con la amenaza sísmica que corresponde al contexto bogotano, principalmente a las construcciones ubicadas en el piedemonte, cuyos períodos dominantes son similares a los de los suelos subyacentes.

Si bien ha habido un incremento importante en la realización de estudios para la evaluación de la amenaza sísmica regional y local en Colombia, y especialmente para la ciudad de Bogotá, es importante utilizar diferentes técnicas de análisis, tanto deterministas como probabilistas, con el fin de tener una visión aún más realista del fenómeno sísmico. Es importante conocer mejor las fuentes sísmogénicas que pueden afectar la ciudad de Bogotá, principalmente en lo referente al nivel de actividad de las fallas geológicas, ya que se tiene un conocimiento aceptable de su geometría, pero no de la recurrencia de su actividad. Por otra parte, sería deseable desarrollar sismos sintéticos a partir de movimientos fuertes del terreno acordes con las fuentes sísmogénicas.

Agradecimientos

Los estudios realizados en 2002 fueron financiados por la Rectoría de la Pontificia Universidad Javeriana y formaron parte del Proyecto Universidad Saludable. En el momento de los estudios de campo todos los autores estaban vinculados con la Pontificia Universidad Javeriana. Los datos de Harvard corresponden al proyecto CMT ([19] Dziejowski *et al.*, 1981; [20] Dziejowski y Woodhouse, 1983; [21] Woodhouse y Dziejowski, 1984).

REFERENCIAS

1. García, D. y A. Alfaro. "Estimación de efectos locales en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana mediante Modelación Numérica". *Memorias Segundo Congreso Iberoamericano de Ingeniería Sísmica*. Madrid. España, 2001.
2. Lobo-Guerrero, A. Informe de Geología para la Microzonificación Sísmica del Campus de la Pontificia Universidad Javeriana, Sede Bogotá. Bogotá, 2002.
3. Arévalo, N., T. Caycedo, R. Van Hissenhoven y A. Alfaro. Contenidos frecuenciales de sismos colombianos registrados en BOCO (Bogotá) y SDV (Santo Domingo, Venezuela) (1994-1996). *Ingeniería y Universidad*. Vol 7, No. 1, 2003, pp. 19-31.
4. Geotecnia y cimentaciones. Registros de perforaciones. Microzonificación sísmica del campus de la Universidad Javeriana, sede Bogotá. Bogotá, 2002.
5. Ulloa, A. Estudio Geosísmico para la Microzonificación Sísmica del Campus de la Universidad Javeriana, sede Bogotá. Bogotá, 2002.
6. ASTM. "ASTM D 3999 Standard Test Methods for the Determination of the Modulus and Damping Properties of Soils

- using the Cyclic Triaxial Apparatus". *Annual Book of ASTM Standards*, 1991.
7. Hardin B. O. y V.P. Drnevich. Shear Modulus and Damping in Soils: Measurement and Parameter Effects. *Journal Soil Mech. Found. ASCE*. SM6, 1972a, pp. 8977-8998.
8. Hardin B. O. y V.P. Drnevich. Shear Modulus and Damping in Soils: Design Equations and Curves. *Journal Soil Mech. Found. ASCE*. SM7, 1972b, pp. 9006-9029.
9. Schnabel, B.; J. Lysmer y H.B. Seed. Shake. A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites. College of Engineering. University of California, Berkeley, 1972.
10. Idriss, I.M. y J.I. Sun. Shake91: A Computer program for Conducting Equivalent Linear Seismic Response Analyses of Horizontally Layered Soil deposits. *User's Guide*. University of California, 1992.
11. Hudson M., I.M. Idriss y M. Beikae. Quad4M. A computer Program to evaluate the Seismic Response of soil Structures using Infinite Element Procedures and

- Incorporating a Compliant Base. University of California, Berkeley, 1994.
12. Pitarka, A. *Wave Propagation Simulation Using Finite Difference Method. Lecture Notes*. International Institute of Seismology and Earthquake Engineering. Building Research Institute. Tsukuba, 1994.
13. Takenaka, H. Numerical Simulation of Seismic Wave Propagation. Lecture Notes. International Institute of Seismology and Earthquake Engineering. Building Research Institute. Tsukuba, 2005.
14. NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. Earthquake Strong Motion. National Geophysical Data Center. Boulder, Colorado, CD-ROM. Vol. 1, 2 and 3, 1996.
15. Caneva A., E. Salcedo, R. Van Hissenhoven y A. Alfaro. Análisis de la amenaza sísmica y de la magnitud representativa para Bogotá. *Ingeniería y Universidad*. Vol 7, No 2, 2003, pp. 133-150.
16. Caneva A., E. Salcedo, R. Van Hissenhoven y A. Alfaro. Estudio de sismicidad regional para el análisis de la amenaza sísmica de Bogota. *Ingeniería y Universidad*. Bogotá, vol. 8, No.1, 2004, pp. 9-25.
17. Harvard <http://www.seismology.harvard.edu/projects/CMT/> Fecha de Consulta: abril de 2005.
18. Alfaro A y P. Monroy. Caracterización dinámica de arcillas sobre la formación Bogotá. *Revista de Investigación* Vol. 4:173-180, 2004.
19. Dziewonski, A.M., T. A. Chou and J.H. Woodhouse. Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity, *J. Geophys. Res.*, 86: 2825-2852, 1981.
20. Dziewonski, A.M. and J.H. Woodhouse. An experiment in the systematic study of global seismicity: centroid-moment tensor solutions for 201 moderate and large earthquakes of 1981, *J. Geophys. Res.*, 88: 3247-3271, 1983.
21. Woodhouse, J.H. and A.M. Dziewonski. Mapping the upper mantle: three dimensional modelling of Earth structure by inversion of seismic waveforms, *J. Geophys. Res.*, 89: 5953-5986, 1984

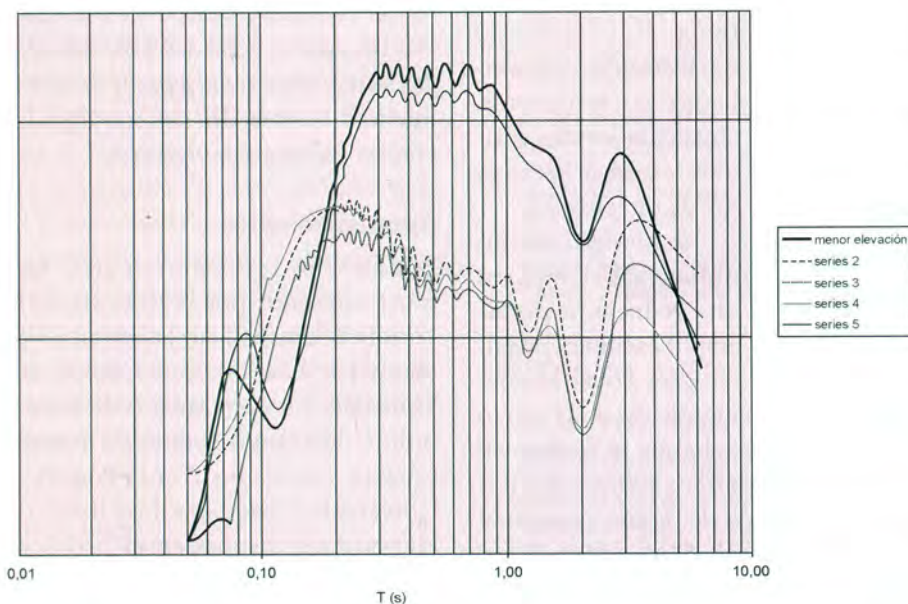


Figura 4. Funciones de transferencia del Modelo 2D. La ubicación de PC-13 corresponde a la línea continua delgada (serie 5).

Propuesta de un protocolo de interconexión de dispositivos IP inteligente de red

Roberto Ferro Escobar*, Hernán Paz Penagos** y Roberto Cárdenas***

Se realizó el estudio del protocolo estandarizado para dispositivos inteligentes de redes Ethernet mediante la norma EIA/IS-709 [4] una vez entendido el funcionamiento mundial de esta norma, se propone la creación del protocolo IDTP mediante el uso de herramientas OO para su modelamiento y la ejecución del mismo mediante el uso de Java JDK.2.1.2 con el fin de correr en plataformas de uso gratuito como Linux. Se propone un ejemplo específico para la simulación de un sistema control de acceso donde el Usuario debe estar autorizado dentro del sistema para poder acceder al edificio. El tratamiento de estos datos puede ser ampliado a cualquier tipo de dispositivos, como sensores actuadores de temperatura, de presión, de iluminación.

Palabras clave: actuador, dispositivo, Ethernet, Linux, OO, sensor

* Ingeniero electrónico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, magíster en teleinformática, Profesor de la facultad de Ingeniería Electrónica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. rferro@segobdis.gov.co

** Magíster en teleinformática de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Ingeniero electricista de la Universidad Nacional de Colombia, ingeniero electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y filósofo de la Universidad Santo Tomás de Aquino. Docente del área de comunicaciones, facultad de ingeniería electrónica de la Escuela Colombiana de Ingeniería. hpaz@escuelaing.edu.co.

*** Ingeniero electrónico, Universidad Distrital. Magíster en teleinformática, profesor de la facultad de Ingeniería en la maestría y especialización en teleinformática. bitek@multi.net.co

INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como objetivo principal formular y proponer las bases iniciales que sirvan de sustento en el campo de las redes Ethernet para la conexión de cualquier dispositivo electrónico a través de un conector RJ45, que pueda comunicarse a un servidor de red que pueda ser monitoreado y administrado por medio de un software gráfico GUI, que pueda ser administrado desde cualquier computador conectado a la red o incluso desde Internet. De esta manera se puede controlar cualquier tipo de proceso doméstico, industrial o de una factoría.

En los países de avanzada tecnológica ya se están implementando muchos dispositivos inteligentes autónomos que poseen circuitos electrónicos encargados de comunicarse con la red utilizando la capa física de datos.

En Colombia estos dispositivos Ethernet aún no están disponibles y sus costos son elevados en comparación con dispositivos de uso tradicional RS232 que funcionan en forma aislada; por tanto, es importante tener el

horizonte claro y ver que la avanzada tecnológica tiende a usar dispositivos autónomos con cierto grado de inteligencia por medio de CI microcontrolados con opciones de conexión a redes Ethernet. En EU y en Europa existen empresas como Echelon [4], que se encuentran desarrollando estos dispositivos desde el hardware hasta el software, que para este caso se convierte en el protocolo de transmisión sobre los cuales viajan los datos y sirve como interfaz de comunicación entre el cliente y el servidor. En este artículo se citan los precedentes utilizados por la empresa Echelon [4] para el desarrollo de su protocolo LonTalk, reconocido por la EIA como el estándar EIA/IS-709X para automatización de casas, edificios e industrias.

En los países de avanzada tecnológica ya se están implementando muchos dispositivos inteligentes autónomos que poseen circuitos electrónicos encargados de comunicarse con la red utilizando la capa física de datos.

MODELAMIENTO EN UML

Para el modelamiento de este artículo una de las clases, la más importante, es la llamada Servidor principal que en la práctica es un computador principal con sistema operativo Linux o Win-

Windows, dependiendo de la aplicación y los recursos impuestos en la respectiva industria. A esta clase se le denomina Servidor_computador, ya que es el encargado de dirigir todas las funciones principales de la red de control distribuido. Las demás clases son “n” dispositivos IP conectados a la red mediante un conector RJ45 que tiene en su interior una interfaz de red o un chip adecuado para el mismo (Realtek 8019), un microcontrolador y los sensores a utilizar dependiendo de la aplicación que se necesite implantar. Para el prototipo se utilizan los elementos mas sobresalientes que corresponden a las clases: Sensor_actuador_acceso, sensor_actuador_camaras, Sensor_actuador_fuego Sensor_actuador_presion, Sensor_actuador_temperatura y Sensor_actuador_valvulas. Se eligieron sensores y actuadores en el mismo objeto debido a que deben realizar funciones de control y funciones de medición y monitoreo continuo de su entorno. El diseño asociado para el Servidor_computador se muestra en la figura 1. Se puede apreciar cada uno de los atributos y las operaciones realizadas en el interior de esta clase, que en realidad será la que pertenece al servidor; cada operación realizada corresponde a cada comando enviado por la red a los clientes. Se debe tener en cuenta que se creará un canal de control por donde se enviará cada uno de los comandos, y por este mismo se obtendrán las respectivas respuestas emitidas por cada dispositivo inteligente de red para este caso. En la figura 2 se muestra la clase “Cliente”, que para este caso será la principal representada por Nv_dispositivo_ip, que en realidad será cualquier dispositivo IP conectado a la red Ethernet por medio de un RJ45 y hará las veces del respectivo Cliente. Para cualquier dispositivo inteligente Sensores_actuadores que deben controlar variables lineales como presión, temperatura, válvulas y control de acceso, se puede tomar el siguiente modelo que corresponde en el protocolo IDTP de un “cliente”.

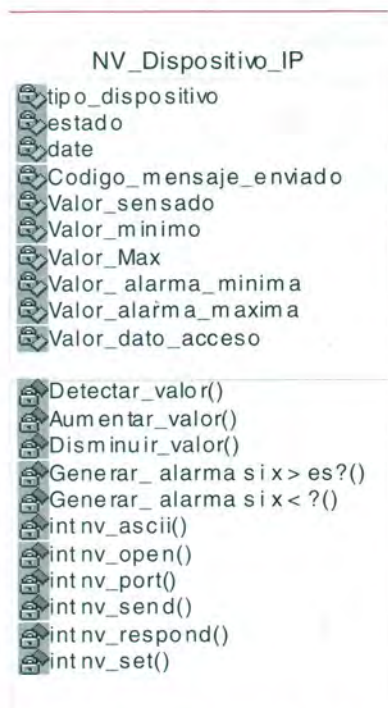


Figura 1 Atributos y métodos para el Objeto Servidor.

los siguientes atributos para la clase Servidor_computador: TTL es el tiempo de duración de un paquete enviado en la red máximo hasta 255 saltos de duración. Tipo_dispositivo_ip es el encargado de identificar qué tipo de dispositivo IP se conectó a la red. Direccion_ip se dedica a tomar el dato referente a la dirección IP del dispositivo que se conecta y, por último, el atributo “estado” se encarga de crear el socket que monitorea el dispositivo IP para saber si se encuentra en estado encendido o apagado.

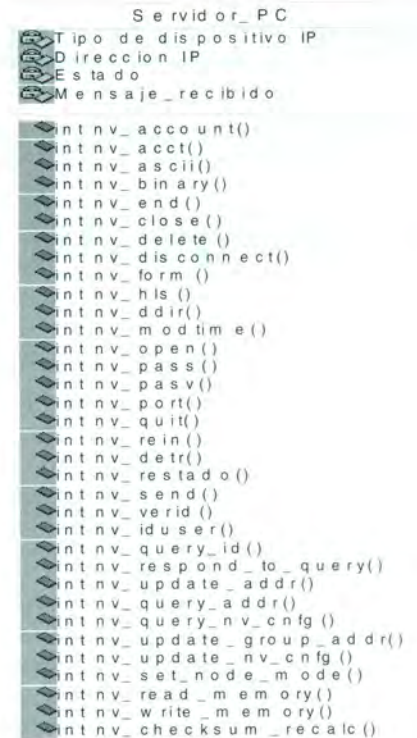


Figura 2 Modelo para sensores actuadores genéricos.

Para el dispositivo genérico sensor_actuador se definen los atributos de la figura 2.

El primero de los atributo es estado, valor_temperatura, o valor_presion, encargado de capturar el dato correspondiente a la temperatura o presión, medida en ese momento por el dispositivo. Dependiendo de la aplicación que se quiera dar al dispositivo, se pueden implementar los atributos temperatura_min, temperatura_maxima, temperatura_alarma, etc.

DIAGRAMA DE CASOS DE USO CLIENTE SERVIDOR PARA DISPOSITIVOS IP

El diagrama de casos de uso (figura 3) representa la forma en que un Cliente (Actor) opera con el sistema en desarrollo, además de la forma, tipo y orden en que los elementos interactúan (operaciones o casos de uso).

Elementos

- El Actor es el administrador de la red de dispositivos IP.

Mensaje al mismo objeto

- El usuario/cliente presiona el botón de comienzo para activar el servidor

- Existe un operador que desea hacer lo siguiente:
 - a. Entrar al sitio de trabajo mediante una tarjeta o un sistema sofisticado de control de acceso.
 - b. Al final de cada día se solicita un resumen diario o semanal de las entradas y salidas de usuarios en el sistema.
- El Administrador, además de la visualización, debe estar en capacidad de:
 - a. Cambiar la información asociada a temperatura, los usuarios restringidos, revisar válvulas, cambiar valores, encender o apagar luces, etc.
 - b. Dar una alarma en el caso que haya un sensor de fuego activado, se dañe una válvula, o detecte la presencia de un intruso.

DIAGRAMA DE INTERACCIÓN DE CLIENTE SERVIDOR PARA DISPOSITIVOS IP

Para el protocolo IDTP se realizó todo el diagrama de Interacción desde la creación del socket hasta el envío de la respectiva dirección IP y el cierre de la Comunicación entre el cliente y el servidor; para ello se puede visualizar la figura 4 donde se observan claramente cada uno de los elementos asociados al diagrama de casos de uso.

En la figura 5 se puede apreciar los elementos asociados al diagrama de interacción para la medición de temperatura de un Sensor_actuador_temperatura; para los demás dispositivos, se emplea el mismo modelo. El modelo UML

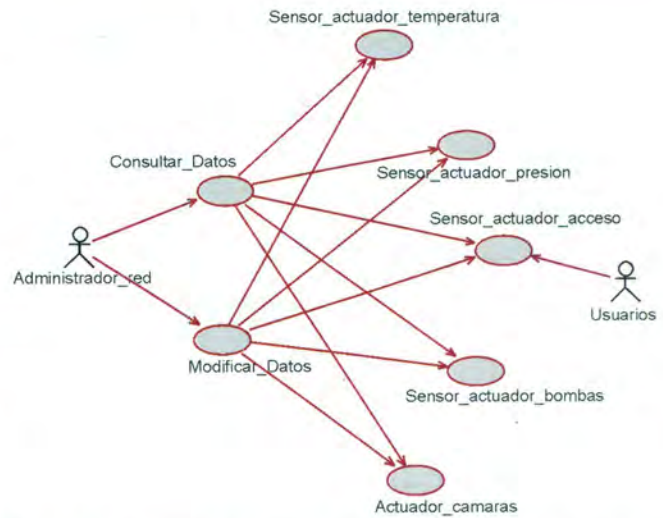


Figura 3 Diagrama de casos de uso en la red de dispositivos IP inteligentes.

de todo el protocolo aplicado a la red de dispositivos IP inteligentes se puede ver en la figura 6, donde se observan todas las clases principales y el respectivo modelo OO del protocolo IDTP propuesto en esta investigación. En la figura 7 se puede apreciar la red global de dispositivos IP para todas las clase modeladas en este artículo. Es de entenderse que la red puede crecer hasta cualquier cantidad de dispositivos IP, ya que depende de parámetros como la dirección IP y la segmentación propia de la red.

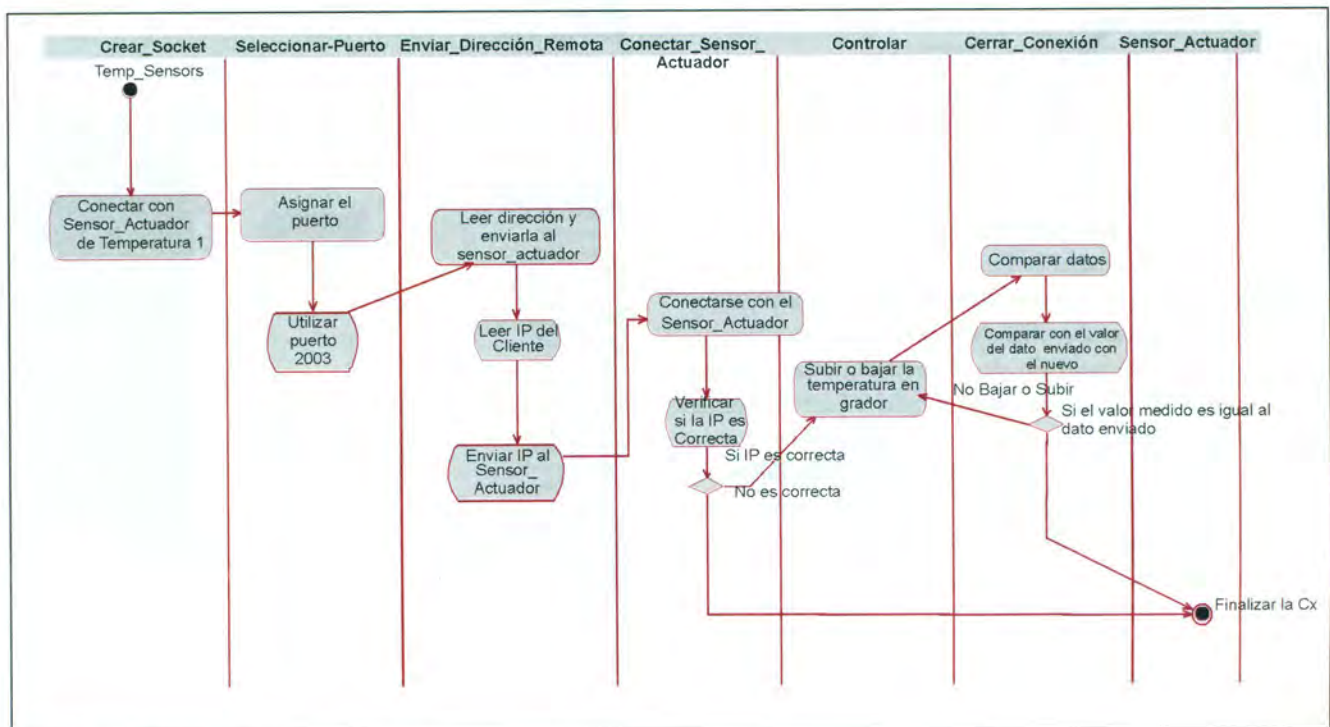


Figura 4 Diagrama de interacción en la red de dispositivos IP.

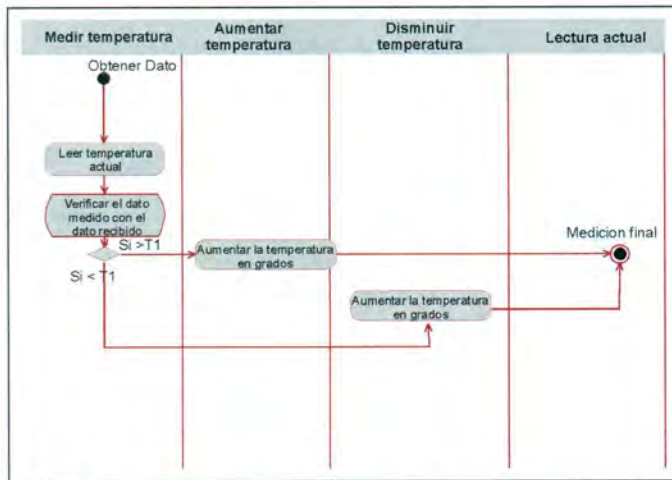


Figura 5 Diagrama de Interacción para medición de temperatura.

PROTOCOLO PROPUESTO

El protocolo propuesto para transferir datos se llama *IDTP* (*Intelligent, Device Transfer Protocol*) y está basado en la familia de protocolos TCP/IP. Mediante comandos de control puede manipular dispositivos inteligentes conectados a la red, independiente del sistema operativo del servidor.

IDTP trabaja bajo el paradigma **cliente/servidor**. El cliente es la aplicación creada en un dispositivo inteligente que brinda un servicio; el servidor almacena o controla los datos enviados por éste.

Los objetivos principales de IDTP son:

- Enviar datos entre dispositivos remotos que estén conectados bajo el protocolo TCP/IP.
- Transferir datos de forma segura, óptima y fiable a través de la red e Internet

Para iniciar una sesión IDTP, este protocolo emplea dos conexiones TCP simultáneas. Una es la llamada **conexión de control** y la otra es la **conexión de datos**. La primera se usa para el intercambio de comandos con mensajes y respuestas, una configuración donde el cliente se conecta con el servidor. IDTP utiliza el protocolo TELNET en la conexión de control para manejar estas operaciones, ya que está establecido como estándar. La conexión de datos se utiliza para el intercambio de datos. Ésta se crea y se cierra según los comandos que ejecute el cliente; en este caso, el dispositivo inteligente de red.

Cuando el cliente contacta con el servidor, éste hace una apertura en el puerto 2004 y espera la conexión del cliente; cuando éste le responde, empiezan a negociar una conexión TCP. La conexión de control se crea durante toda la sesión y, según los datos que se transmitan, IDTP crea

conexiones por cada transferencia mediante Sockets Stream. Se pueden enviar y recibir datos simultáneamente; a esto se le denomina **full dúplex**.

La transferencia de datos IDTP se realiza en:

- **ASCII**. Es el mas común. Usado para la transferencia de archivos de texto, el equipo que envía debe convertir los archivos, independientemente de su formato o su estructura, al formato genérico de 8 bits. El que recibe deberá volver a convertirlos en el formato original.
- **Modo de transmisión**. Es el paso para transferir el dato. Se tendrán que especificar los puertos de transferencia para cada dispositivo. Una vez hecho lo anterior, el que va a transferir debe estar en la escucha de su puerto hasta que el otro dispositivo reciba la petición de abrir el suyo. Una vez recibido el comando, se inicia la comunicación de transferencia para verificar la conexión, enviando un bloque con una cabecera de formato específico. Una vez confirmado, se empieza a enviar bloques de 8 bits hasta cuando se completa la transferencia. Se envía siempre un paquete con una cabecera para especificar que la transferencia está completa; al concluir, los puertos se cierran adecuadamente.
- **Block Mode**. El dato es transferido en bloque con una cabecera. Este modo es el recomendado para que los usuarios estén disponibles para recuperar datos no enviados y completar la transferencia.

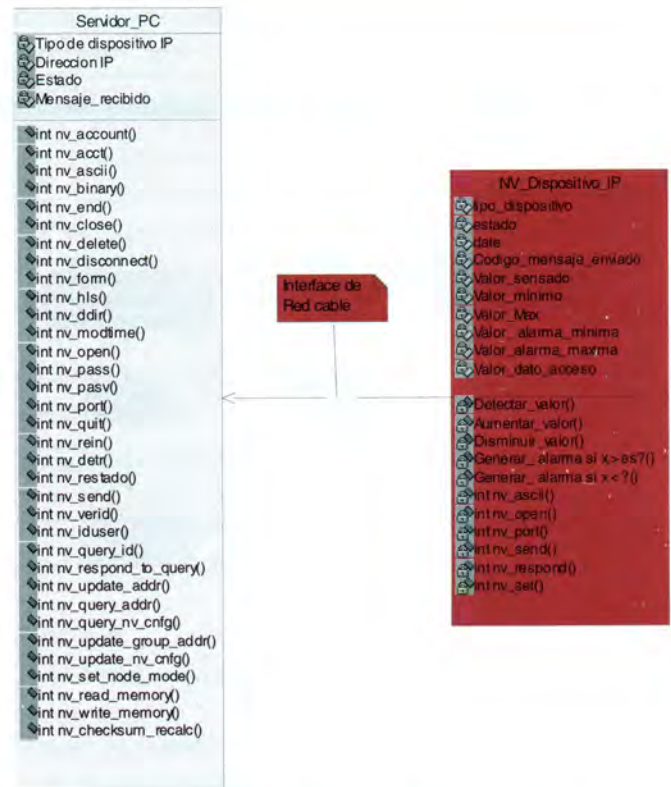


Figura 6. Diagrama de Clases IDTP "Cliente-Servidor".

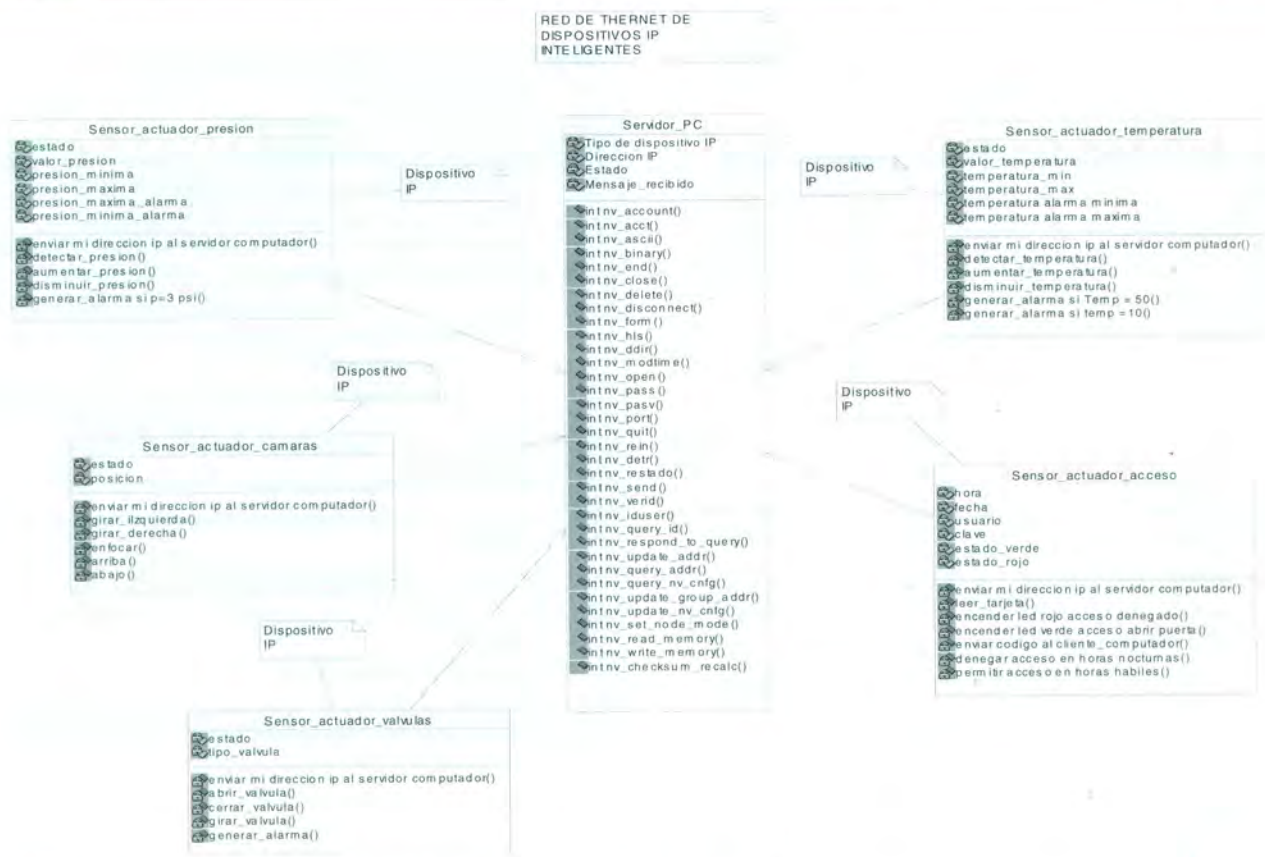


Figura 7. Diagrama de Clases para la red de dispositivos IP "Inteligentes".

A continuación se presentan los comandos utilizados en la conexión de datos en el protocolo IDTP.

Para realizar la conexión a un servidor IDTP, el dispositivo inteligente cliente deberá crear la conexión con el servidor, utilizando un *socket*, con el puerto estándar de IDTP. Se tomó el 2004, que luego conectará al puerto del servidor. Una vez que se inicia la sesión, el cliente y el servidor intercambiarán comandos de petición y respuesta.

Los comandos se clasifican en:

- **Identificadores para el control de acceso.** Sirven para identificar el dispositivo inteligente con el servidor. Entonces el servidor lo dotará de privilegios de manipulación de datos que tiene cualquier dispositivo o en qué ubicación se le permite acceder.

- **Parámetros para la transferencia de datos.** Con estos parámetros,

el dispositivo inteligente cliente establece las opciones de transmisión, estructuras de datos y modo de transmisión.

- **Comandos de servicio.** Son el resto de comandos suplementarios del IDTP, como los de abortar **transferencia, eliminar datos o crear directorios.**

COMANDOS PROPUESTOS

- **nv_account** [contraseña]: suministra una contraseña suplementaria para tener acceso a los recursos una vez se haya ejecutado login con éxito. Depende del dispositivo.

- **nv_acct:** mensaje del servidor que requiere un argumento del cliente para identificar la cuenta de usuario.

- **nv_ascii:** transferir los archivos en modo ASCII. Valor por defecto.

- **nv_binary:** transferir los archivos en modo binario.

- **nv_end:** cerrar la conexión con el servidor y apagar el dispositivo.

- **nv_close:** terminar la conexión con el servidor, pero no apagar el dispositivo

- **nv_delete** [datos]: eliminar datos almacenados en el dispositivo.

- **nv_disconnect:** igual que *close*.

- **nv_form** [formato]: establecer la forma de transferencia de un archivo.

- **nv_hls:** lista la hora del dispositivo.

- **nv_ddir:** escribe un listado de los datos remotos en un archivo local.

- **nv_modtime:** muestra la fecha de última modificación de un dato.

- **nv_open** [dirección] [*puerto*]: conecta a un servidor. El número de puerto es opcional; el número predeterminado es 2004.

- **nv_pass:** mensaje del servidor que requiere que el dispositivo inteligente cliente envíe la contraseña del nombre de usuario.

• **nv_pasv** [puerto]: pedir proceso de conexión de datos en un determinado número de puerto del dispositivo inteligente cliente.

• **nv_port** [socket]: especificar al servidor un socket (combinación de dirección IP de 32 bits y número de puerto de 16 bits, dividido en campos de 8 bits) del dispositivo inteligente cliente para establecer una conexión de datos.

• **nv_quit**: terminar sesión y desconectar la conexión.

• **nv_rein**: regresar al estado que sigue inmediatamente al establecimiento de la conexión de control (reiniciar) de la comunicación.

• **nv_detr** [dato]: comando utilizado para enviar datos del servidor al cliente.

• **nv_restado**: muestra el estado del dispositivo inteligente remoto.

• **nv_send**: envía un dato al dispositivo inteligente.

• **nv_verid**: muestra la versión del dispositivo inteligente.

• **nv_IDUSER**: Cuando el servidor lo solicite, con este mensaje se requiere un parámetro del dispositivo inteligente cliente para identificar su nombre dispositivo inteligente en la red.

• **nv_query_id**: pregunta por el tipo de dispositivo y su dirección IP

• **nv_respond_to_query**: responde a la solicitud enviada con el tipo y la dirección IP

• **nv_update_addr**: actualiza la dirección en caso de ser necesario.

• **nv_query_addr**: pregunta la dirección IP

• **nv_query_nv_cnfg**: configura el dispositivo inteligente.

• **nv_update_group_addr**: actualiza las direcciones IP de un grupo.

• **nv_update_nv_cnfg**: actualiza la configuración del dispositivo.

• **nv_set_node_mode**: configura el tipo de dispositivo en la red.

• **nv_read_memory**: lee la memoria del dispositivo.

• **nv_write_memory**: escribe la memoria del dispositivo con el valor deseado.

• **nv_checksum_recalc**: solicita el recálculo de la suma de verificación de bits del dato.

El resto de comandos carecen de importancia, ya que no son comandos transferidos, sino de funcionamiento interno de los clientes de IDTP.

Una vez que el usuario ejecuta un comando desde el servidor o se ha realizado alguna otra operación, el protocolo IDTP debe reaccionar para confirmar o responder peticiones del cliente enviando algún mensaje de error con su posible motivo. Para ello emplea un lenguaje de números o dígitos de códigos llamados **códigos de respuesta**.

Código	Descripción
1 ??	Respuesta preliminar positiva. El dispositivo inteligente cliente inició la acción solicitada.
2 ??	Respuesta de terminación positiva. El dispositivo inteligente cliente terminó con éxito la acción solicitada.
3 ??	Respuesta intermedia positiva. El cliente dispositivo inteligente aceptó el comando, pero la acción solicitada necesita más información.
4 ??	Respuesta de terminación negativa transitoria. El cliente dispositivo inteligente no aceptó el comando, y no se realizó la acción solicitada.
5 ??	Respuesta de terminación negativa permanente. El cliente dispositivo inteligente no aceptó el comando y no se realizó la acción solicitada.
? 0 ?	Se refiere a errores de sintaxis.
? 1 ?	Se refieren a solicitudes de información, como estado del dispositivo.
? 2 ?	Se refieren a las conexiones de control o de datos.
? 3 ?	Para el proceso de inicio de sesión y procedimientos contables.
? 4 ?	Aún no se ha especificado.
? 5 ?	Indican el estado del sistema de datos del cliente dispositivo inteligente frente a la solicitud realizada u otra acción.

PROGRAMA REALIZADO EN VISUAL J++ PARA LA APLICACIÓN DEL PROTOCOLO A DISPOSITIVOS IP INTELIGENTES

Para poner en práctica lo propuesto en el presente artículo se implantó, mediante la ayuda de Rational Rose para la realización del código aplicado al modelo UML, la siguiente interfaz gráfica para probar la transmisión y recepción de datos mediante el uso del protocolo. Se propuso el siguiente ejemplo práctico que pretende simular el caso de un control de acceso para usuarios que pretenden ingresar utilizando un nombre de usuario y la respectiva clave.

En primera instancia, la realización del protocolo OO y, por tanto, el uso del mismo será mediante eventos como hacer clic sobre algunos botones que tienen como función reemplazar las tareas realizadas antiguamente por medio de interfaz de comandos.

La ventaja en la realización de esta interfaz gráfica en Java es su sencilla transportabilidad a otros sistemas operativos como Linux mediante la instalación de JDK JDK.2.1.2 para Linux sin más preámbulos. En las figuras siguientes se puede apreciar cada una de las ventanas que puede ser exhibida por el programa realizado.

El código creado se puede solicitar escribiendo a la dirección de correo electrónico de los autores.

El programa utiliza la comunicación a través de Sockets de flujo, debido a que la comunicación debe ser fiable y

A continuación se listan los códigos de respuesta IDTP:

debe llevarse a cabo para que en todo momento se estén transmitiendo los datos al servidor de la red.

Código	Descripción
110	Reiniciar respuesta.
120	Dispositivo listo.
125	Conexión de datos abierta. Inicio de la transferencia de datos.
150	Buen estado del dispositivo. Todos su componentes funcionan correctamente.
200	Comando correcto.
202	Comando no implementado.
211	Estado del sistema.
212	Estado del cliente dispositivo inteligente.
213	Estado del sensor.
220	Servicio listo para nuevo dispositivo.
221	Servicio cierra la conexión de control.
225	Conexión de datos abierta. No hay transferencia de datos en curso.
226	Cierra la conexión de datos. Acción de datos solicitada terminada con éxito.
227	Entra al modo pasivo a la espera de transferencia.
230	Usuario inició acceso.
250	La acción de datos solicitada es correcta.
331	Nombre de usuario correcto. Se pide contraseña, tarjeta o huella dactilar.
332	Se necesita permiso para acceder.
350	Acción de datos solicitada pendiente en espera de más comandos.
421	Servicio no disponible, se cierra conexión de control.
425	No se puede abrir la conexión de datos.
426	Conexión cerrada, transferencia abortada.
450	Acción de archivo solicitada no se tomó; datos no disponibles.
451	Abortada acción solicitada: error local en el procesamiento.
452	Acción solicitada no se tomó. Espacio de almacenamiento en sistema insuficiente.
500	Error de sintaxis, comando no reconocido.
501	Error de sintaxis en parámetros o argumentos.
502	Comando no implementado.
503	Secuencia de comandos errónea.
504	Comando no implementado para ese parámetro.
530	No se inició acceso.
532	Necesita cuenta para transmitir datos.
550	Acción solicitada no se tomó.
551	Abortada acción solicitada. Se desconoce tipo de dispositivo.
552	Abortada acción de dato solicitado.

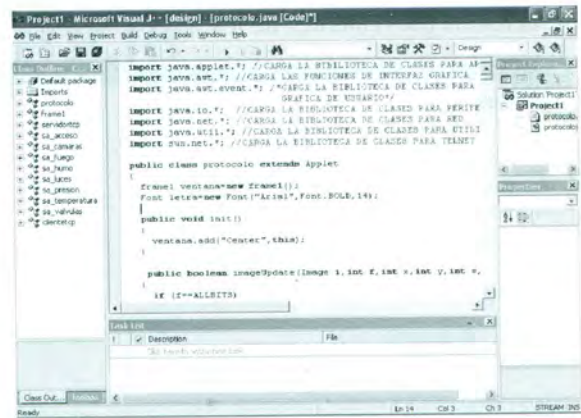


Figura 8. Clases de dispositivos IP "Inteligentes".

En la parte izquierda de esta ventana se puede visualizar cada una de las clases que conforman toda la red de dispositivos IP inteligentes. Cada uno de éstos es creado para conformar cada una de las clases.

En la parte superior se observan las bibliotecas cargadas al inicio del programa.



Figura 9. Ventana de selección del cliente Servidor.

Dependiendo de quién va a ejecutar la interfaz gráfica, se debe seleccionar en esta ventana qué computador realizará la aplicación como servidor o cliente en la red. El primer computador será el servidor; el siguiente será el cliente.

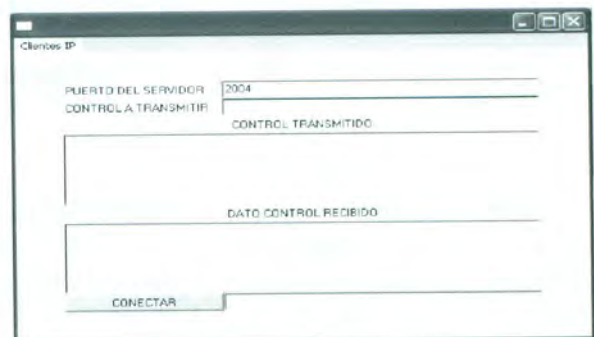


Figura 10. Ventana principal del menú clientes IP.

En esta ventana se puede apreciar el puerto del servidor escogido: 2004. También se pueden observar los campos de texto para transmitir datos de control y visualizar los datos recibidos provenientes de los dispositivos IP.

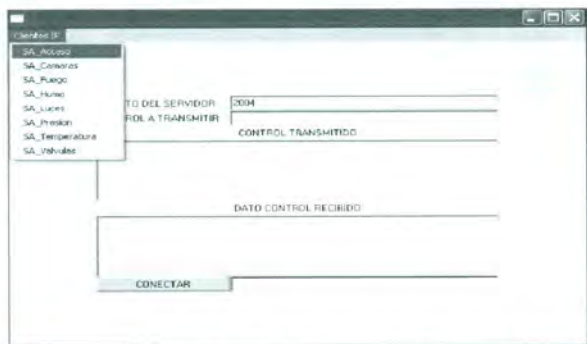


Figura 11. Ventana principal del menú clientes IP para selección de SA_Acceso.

El programa posee en su interior el registro de los posibles usuarios autorizados para ingresar o no a las instalaciones del sistema creado. En caso de que el usuario sea un funcionario o esté habilitado puede ingresar y será generado un mensaje de “ACEPTADO” con el cual se comprueba que el usuario ha realizado el respectivo acceso por la puerta controlada con la respectiva dirección IP asociada.

Finalmente, se aprecia la ventana servidor donde se conoce el estado del usuario, por qué puerta realizó el acceso, y los datos como la dirección IP y el puerto por el cual se conecta.



Figura 12. Ventana principal de SA_Acceso y validación de datos del usuario.

CONCLUSIONES

Una vez realizado el presente artículo de investigación, se presentaron las bases fundamentales para la creación del protocolo IDTP teniendo en cuenta los fundamentos establecidos en el estándar EIA/IS-709.X. Con este protocolo se pretende crear el medio de comunicación para el gobierno de los sistemas de control de redes que utilizan

SA_ACCESO	DIRECCION IP - PUERTO ASOCIADO	ACCESO DE USUARIO	ESTADO
SA_Acceso 1	Socket[addr=localhost/127.0.0.1, port=2004, localport=1037]	ACEPTADO	Encendido
SA_Acceso 2			
SA_Acceso 3			

Figura 13. Datos observados en el servidor de red.

dispositivos IP Inteligentes, como sensores de humo, sensores de temperatura o cualquier tipo de sensor cuyo objetivo sea realizar la función de controlar todo tipo de variable física o electrónica, muy importante hoy día en domótica, la industria y la construcción de edificios inteligentes.

La importancia del protocolo propuesto radica en el uso de Sockets Stream, ya que su funcionalidad permite la transmisión confiable de datos, la comunicación a través de Internet por cualquier puerto de comunicaciones en el servidor y que el flujo de paquetes sea pequeño, lo que aumenta la velocidad de la red.

Puesto en funcionamiento el protocolo con la ayuda de herramientas como UML y Rational Rose, se puede crear el código inverso en cualquier aplicativo de desarrollo de software y desde allí se generan las ventanas de aplicación.

Los sistemas de distribución se refieren a un conjunto de procesos autónomos, como mecanismos de almacenamiento de datos. La distribución de tareas se genera en procesos con acciones ejecutadas al mismo tiempo con intercambio de mensajes (datos y comandos) para transferir información a través de la red de comunicaciones para la distribución de procesos, controlando el almacenamiento de datos.

La integración de hardware inteligente con programas adecuados permite la realización de la integración de cualquier dispositivo Ip para ser conectado en la red.

REFERENCIAS

- [1] Bandel, D. *Linux*. Editorial Prentice Hall, 2000, capítulos 1-10, 12, pp. 3-299.
- [2] Becerra, C. *Los 600 Métodos de Java*, Editorial Kimpres, 2001, capítulos 1-10, 12, pp. 1-168, 307-324, 509-702.
- [3] Cheesman J. y Daniels, J. *UML Components: A simple Process for Specifying Component Based Software*, Addison-Wesley, 2000, pp 13-109.
- [4] Loy, D. *Open control Networks*, Editorial Kluwer Academia Publishers, 2001, capítulos 2, 3, 4, 6, 7, pp. 43-189.
- [5] Mark, M. *Lan Protocol Handbook*, Mand Publishing, 1992, pp. 35-97.
- [6] Meyers, N. *Programacion Java en Linux*, Editorial Prentice Hall, 2000, capítulos 1-5, 6, 10, 12, pp. 3-185, 351-397.

Examen de certificación internacional en gerencia de proyectos

José Ivorra Valero

La gerencia de proyectos se está convirtiendo rápidamente en el método de gerencia de un sinnúmero de industrias. Hoy en día se realizan proyectos en muchas de las actividades que desarrolla el ser humano y muchas empresas e instituciones grandes del mundo tienen como política manejar toda la organización mediante el uso de técnicas basadas en la disciplina de gerencia de proyectos. Dentro de este contexto, el Project Management Institute PMI(TM), la organización sin fines de lucro más grande del planeta, es la encargada de otorgar la certificación internacional en gerencia de proyectos denominada Project Management Profesional PMP(TM), el título global de mayor relevancia en el ámbito profesional. Entre las exigencias para ser PMP (TM), el PMI(TM) requiere que el aspirante presente un examen de certificación internacional, el corazón del presente artículo.

Palabra clave: certificación internacional en gerencia de proyectos.

Ingeniero electrónico, especialista en Information Technology y en Sistemas Gerenciales de Ingeniería, ha iniciado su proceso de Ph.D. en Management. Actualmente es profesor de la Unidad de Proyectos, adscrita a la Vicerrectoría Académica de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Está afiliado al Project Management Institute y a la American Management Association.
jivorra@escuelaing.edu.co

INTRODUCCIÓN

Desde 1989 hasta diciembre de 2004 el PMI (TM) ha registrado un crecimiento notable pasando de unos cinco mil miembros y unos mil PMP (TM) a unos 150.000 miembros y unos 100.000 PMP (TM).

No todos los gerentes de proyectos y aquellos que trabajan en la profesión de gerencia de proyectos son miembros del PMI(TM), así como no todas las personas que practican una profesión se hacen miembros de una organización profesional. Sin embargo, el crecimiento de la profesión se ha dado, dentro del PMI, a pasos agigantados.

El PMI (TM) ha hecho mucho por el crecimiento de la gerencia de proyectos como una profesión. Ha establecido los estándares para el cuerpo de conocimiento (Project Management Body of Knowledge, PMBOK(TM), que establece las bases de la profesión. En 2001 el PMI(TM) recibió el reconocimiento ISO 9001 por su programa de certificación PMP(TM) y el reconocimiento ANSI para su Guía del PMBOK(TM).

El examen de certificación internacional en Gerencia de Proyectos está basado en buena medida en la Guía del PMBOK(TM), que contiene los

procesos de gerencia de proyectos y las áreas de conocimiento requeridas para manejar la mayoría de los proyectos en la mayoría de las ocasiones. La Guía usa el enfoque de gerencia de sistemas para gerenciar proyectos.

El examen posee un grado considerable de dificultad; requiere que el aspirante conozca la Guía en detalle

La gerencia de proyectos se está convirtiendo, rápidamente, en el método de gerencia de un sinnúmero de industrias.

(los procesos, sus entradas, salidas, herramientas y técnicas), entienda y memorice los términos que se encuentran en el glosario de la Guía y tenga un conocimiento amplio de gerencia en general. Aun si el aspirante tiene experiencia significativa en gerencia de proyectos y conoce en detalle otra guía, su metodología, sus términos

y sus procesos, no debe asumir que está preparado para presentar el examen, pues es indispensable conocer el “modo de pensar” del PMI (TM). Este pensamiento se halla reflejado en la Guía del PMBOK (TM).

LO QUE MIDE EL EXAMEN

Antes de discutir lo que el examen de certificación mide, aclaremos algunos conceptos erróneos acerca del examen.

El examen de certificación PMP (TM) no mide:

- Su experiencia en gerencia de proyectos.
- Su sentido común.
- Su conocimiento de prácticas en su área de trabajo.
- Su conocimiento de cómo usar herramientas de software.

• Lo que aprendió en su carrera.

- Su inteligencia.

El examen de certificación PMP (TM) mide:

• Su conocimiento de los procesos del PMI(TM).

• Su entendimiento de los muchos términos que describen los procesos.

• Su habilidad para aplicar estos procesos a una variedad de situaciones.

• Su habilidad de aplicar fórmulas clave para programar, costear, estimar y manejar otros problemas.

• Su comprensión de la responsabilidad profesional y cómo aplicarla a la gerencia de proyectos



NOTA MÍNIMA PARA APROBAR EL EXAMEN

Sin pretender asustar al participante, la verdad dura y fría es que muchos de los participantes no pasan el examen. De hecho, el número de personas que presentan el examen la primera vez y no lo aprueban se estima en alrededor del 47%. Esto incluye a los que se han preparado conscientemente y a los que apenas han hecho algunos esfuerzos. Sin embargo, el lado positivo es que más aspirantes primerizos aprueban el examen.

Para aprobarlo, usted tiene que responder correctamente cerca de 137 preguntas de 200 que hay en el examen. Esto corresponde a 68,5%, o sea que hay un gran margen de error.

Algunas personas no entienden por qué no logran una calificación perfecta en el examen después de haber estudiado a conciencia. Es muy bueno salir bien en el examen, pero teniendo en cuenta que hay mucho material que cubrir, el sólo hecho de aprobarlo es un tremendo logro.

Los expertos no se han puesto de acuerdo en algunas de las preguntas. Esto tiene más que ver con la forma de construir las preguntas y describirlas con ciertas palabras que con el esfuerzo que usted puso al estudiar, con su capacidad intelectual o su habilidad para tomar exámenes.

Su meta al tomar el examen PMP(TM) es poner lo mejor de su parte y asegurar que su mejor esfuerzo está en los límites mínimos para pasar el examen.

EL MATERIAL DEL EXAMEN

El examen PMP(TM) consta de 200 preguntas y cubre un material bastante amplio. Las preguntas se escogen de un banco extenso de pruebas y, ya que el proceso se realiza al azar, no hay posibilidad de que haya alguna vez dos personas con el mismo examen.

El PMI(TM) provee algunas guías de cómo se presentará al participante el material del examen. Más adelante verá una tabla que muestra la distribución de preguntas en el examen. Los términos que

se ilustran en la tabla aparecen referenciados en la Guía del PMBOK(TM), específicamente en el capítulo 3.

Es importante tener en cuenta que el PMBOK(TM) no es la única fuente de estudio para el examen. El PMBOK(TM) provee una definición y presentación excelente de los procesos, pero no es de gran ayuda en saber cómo se aplicará al examen dicha Guía. Muchos de los que no aprobaron el examen y usaron el PMBOK(TM) como guía de estudio se sorprendieron de cómo estaban escritas las preguntas y de los tipos de preguntas que aparecieron en el examen. De hecho, toda la sección de responsabilidad profesional ni siquiera se discute en el PMBOK(TM), y 29 de las preguntas vienen directamente de esta área, como se ve a continuación.

Proceso del PMBOK (TM)	No. de preguntas	% del examen
Iniciación	17	8,5
Planeación	47	23,5
Ejecución	47	23,5
Control	46	23
Cierre	14	7
Responsabilidad profesional	29	14,5

SOLICITUD DE PRESENTACIÓN DEL EXAMEN

Es muy recomendable que usted sea miembro de PMI(TM) antes de solicitar la presentación del examen. En este momento la cuota de afiliación es US\$129,00 (US\$119,00 por ser socio más US\$10,00 por ser un miembro nuevo). La solicitud se puede hacer en línea directamente a www.pmi.org.

Después de afiliarse al PMI (TM), usted recibirá un certificado de asociación que puede usar para recibir un descuento de US\$150,00 sobre el costo del examen para no socios. El costo del examen será US\$405,00 para los socios. Si usted decide no asociarse al PMI(TM), le costará US\$555,00 presentar el examen.

El ser socio del PMI(TM) le generará muchos beneficios, pero este tema va más allá de la naturaleza de este artículo.

Cuando usted esté listo para solicitar ser elegible para certificarse como PMP (TM), puede hacerlo en línea, y en aproximadamente una o dos semanas recibirá respuesta del PMI (TM). Si usted desea presentar el examen, debe tener primero su carta de elegibilidad que le otorgará el PMI (TM).

Para ser elegible, usted necesitará demostrar que cumple unos criterios mínimos. Las actuales calificaciones que el PMI(TM) requiere son:

Categoría 1

- Grado universitario.

- 4.500 horas de experiencia en gerencia de proyectos que cubran los cinco grupos de procesos (iniciación, planeación, ejecución, control y cierre).

- 3 años de experiencia en gerencia de proyectos dentro de los últimos 6 años.

- 36 meses calendario continuos de experiencia en gerencia de proyectos.

- 35 horas de educación en gerencia de proyectos.

Categoría 2

- Diploma de bachillerato o equivalente.

- 7.500 horas de experiencia en gerencia de proyectos que cubran los cinco grupos de procesos.

- 5 años de experiencia en gerencia de proyectos dentro de los últimos 8 años.

- 60 meses calendario continuos de experiencia en gerencia de proyectos.

- 35 horas de educación en gerencia de proyectos.



EDUCACIÓN CONTINUA

Los PMP(TM) deben demostrar no solamente conocimiento y experiencia sino su compromiso continuo en el campo de la gerencia de proyectos.

Para promover tal compromiso, PMI(TM) requiere que todos los PMP(TM) mantengan su certificación completando por lo menos 60 unidades de desarrollo profesional (Professional Development Units – PDU) cada 36 meses. Los requerimientos para las PDU se encuentran en el Manual de Requerimientos de Certificación

Continua del PMI(TM) (Continuing Certification Requirements Program Handbook), que se da a todos los PMP(TM). Estos requerimientos son similares en naturaleza a los que han adoptado profesiones como las legales, médicas y otras.

EL ENTORNO DEL EXAMEN

El examen se administra en un entorno formal. Usted no puede hablar durante el examen y no puede traer notas, libros, papel, celular, muchos tipos de calculadoras y similares. El examen se considera de alta seguridad y se controla cuidadosamente. Los aspirantes son observados y grabados continuamente, así que vaya preparado mentalmente para que lo anterior no lo afecte.

El examen se entrega en un computador estándar basado en windows que corre una aplicación que maneja el examen. El computador tiene un teclado, un ratón y una interfaz gráfica en blanco y negro que despliega el examen. Se pueden manejar situaciones especiales para atender a aquellos participantes que tengan necesidades físicas particulares.

El examen finaliza cuando se ha alcanzado el límite de cuatro horas o cuando usted decide terminarlo. Una vez concluido el examen, usted sabrá su nota en unos segundos y el resultado se transmitirá electrónicamente al PMI(TM). Si usted aprobó, se convier-

Cuando esté listo para solicitar ser elegible para certificarse como PMP (TM), usted puede hacerlo en línea, y en aproximadamente una o dos semanas recibirá respuesta del PMI (TM).



te de inmediato en un PMP(TM) y puede hacer uso del título junto a su nombre. PMI(TM) le enviará por correo, en unas cuantas semanas, toda la información oficial, incluidos su PIN de PMP(TM) y su certificado. Si usted no aprueba puede solicitar inmediatamente al PMI(TM) para volver a presentar el examen a un costo menor.

EL LÍMITE DE TIEMPO

El examen de PMP(TM) es extenso; sin embargo, usted tendrá suficiente tiempo para finalizar la prueba. A partir del momento que usted comienza el examen, tendrá 240 minutos para

terminarlo. Para la mayoría de la gente, es un tiempo suficiente para hacer el examen y revisar las respuestas. Si no se toman descansos cada pregunta tomará 72 segundos. Algunas preguntas complicadas tomarán más de ese tiempo, pero la mayoría tomará mucho menos tiempo.

EL FORMATO DE LAS PREGUNTAS

Las preguntas del examen son de selección múltiple, con cuatro posibles respuestas, señaladas como A, B, C y D, y solamente una de ellas es correcta. A diferencia de otros exámenes, no existe penalización por adivinar; así que responda todas las preguntas.

Muchas de las preguntas aparecen en un formato bien breve; sin embargo, el examen PMP(TM) es famoso por sus preguntas largas y complicadas que son difíciles de descifrar.

CONCLUSIONES

La gerencia de proyectos está convirtiéndose rápidamente en el método gerencial de escogencia en el globo. Las razones de esto es que la gerencia de proyectos funciona, y la gente se da

cuenta de que es el método de gerencia más amplio hoy en día.

PMI(TM) ofrece la certificación internacional en gerencia de proyectos más reconocida globalmente. Esta certificación esta creciendo en popularidad y en demanda en todas las áreas de negocios, y cada vez más organizaciones están reconociendo la importancia de la certificación PMP(TM).

La certificación PMP(TM) está diseñada para certificar gerentes de proyecto que tengan conocimientos y experiencia. Para cumplir el proceso de certificación se requiere que el PMI(TM) califique al aspirante como elegible, luego de lo cual podrá optar a presentar el examen de certificación internacional en gerencia de proyectos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Crowe, A. *The PMP Exam*, Velociteach Press, 2004.
2. Newell, M. *Preparing for the PMP*, Amacom, 2002.
3. Thomas, A.J. *Project Manager's Desk Reference*. The Hampton Group, Inc. 2001.
4. PMI. PMBOK(TM). Project Management Institute, 2000.

La gerencia de proyectos funciona, y la gente se da cuenta de que es el método de gerencia más amplio hoy en día.



Evaluación en reflexión.

Para evaluaciones más justas

María del Rosario Montejo Perry

Este artículo hace referencia a la investigación: "Evaluación en reflexión. Aspectos por considerar en una propuesta de formación de profesores universitarios en evaluación. Estudio de caso en la Escuela Colombiana de Ingeniería", presentada en diciembre de 2004 para optar por el título de Magistra en Educación en la Pontificia Universidad Javeriana. Dicha investigación partió del deseo de comprender mejor la evaluación como práctica docente, convirtiéndola en objeto de reflexión para encontrar caminos que ayuden a los profesores universitarios a dar nuevos sentidos a sus procesos evaluativos en beneficio de la formación de sus alumnos. La perspectiva de investigación *para, en y de la acción* sirvió de base para acompañar, durante un semestre, a un grupo de 16 profesores en su quehacer evaluativo. Además, los estudiantes expresaron su percepción sobre los procesos evaluativos vividos en la Escuela por medio de cuestionarios abiertos. Estos dos procesos permitieron reconocer cuatro núcleos problemáticos: *La ambivalencia entre la subjetividad y la objetividad, el estudiante visto en doble perspectiva, las brechas entre el decir y el hacer y el conflicto entre tener poder y valorar*, todos ellos relacionados con la *justicia* como base de la evaluación. De ellos se desprende que la *reflexión* es necesaria para la transformación por ser requerimiento de toda práctica docente y por ser requisito para un juicio recto; así mismo se propone la *escucha* como mediación indispensable para la realización de evaluaciones justas.

Ingeniera de Sistemas de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Profesora y Magistra en Educación de la Pontificia Universidad Javeriana. Actualmente es directora de la Oficina de Calidad de la Escuela Colombiana de Ingeniería. mmontejo@escuelaing.edu.co

"Cuando empecé a preguntarme para qué esta evaluación, me di cuenta de que estaba cambiando".

Profesor Prysma 2

INTRODUCCIÓN

La calidad de la educación depende en gran medida del sentido que atribuyan los maestros a sus prácticas y de la forma como ellos impregnan su estilo dando identidad a la organización. Apoyar a los maestros en su búsqueda de nuevas comprensiones mediante procesos de reflexión permitirá la continua transformación de los maestros y, por tanto, de la institución universitaria.

Este estudio se centra en la práctica evaluativa, tema de gran complejidad inherente a todo proceso educativo. La evaluación de los estudiantes se juzga como un tema espinoso que los profesores quisiéramos no tener que abordar. Lo reconocemos públicamente como un mal necesario de la docencia, pero igualmente aceptamos su importancia y valor en el proceso de aprendizaje. En la evaluación se verifican los efectos de otras prácticas educativas y se ponen en evidencia los valores que rigen la formación.

Partiendo del origen del término *evaluar* para darle densidad, la EVALUACIÓN es un proceso de VALORACIÓN en

relación con ciertos CRITERIOS que implica emitir un JUICIO DE VALOR y, por tanto, supone una JERARQUÍA. RESPONDE A UN OBJETIVO que la origina y del cual depende el sentido que tenga para profesores y estudiantes; se basa en las FACULTADES DEL MAESTRO para evaluar y, quizás lo más importante, IMPLICA UNA RELACIÓN CON EL OTRO (alumno) para valorarlo, para re-conocerlo, para acompañarlo, para que mediante la comprensión tanto propia como del otro, estudiante y profesor superen obstáculos y logren mayores oportunidades para su propia vida, su propia formación; es decir, para que logren un mayor DESARROLLO. Cuando ocurre así, podemos decir que la evaluación es FORMATIVA.

La evaluación de los estudiantes se juzga como un tema espinoso que los profesores quisiéramos no tener que abordar.

MÉTODO

Dos ejes anudan la investigación: la evaluación de estudiantes y la formación docente en el contexto de la educación superior.

El problema se delimitó a la valoración de una propuesta de formación en evaluación dirigida a profesores del pregrado de la Escuela, con la premisa de que al vivir el proceso con los profesores sería posible perfeccionar la propuesta de manera que fuera pertinente para la Escuela y la vez estaría movilizando la reflexión institucional sobre el tema. En este sentido, el estu-

dio de caso es una forma de investigación privilegiada que permite profundizar en lo particular de una situación, en este caso evaluativa.

La pregunta básica que guió esta investigación fue:

¿Qué aspectos habría de considerarse en una propuesta de formación en evaluación dirigida a profesores universitarios de pregrado?

La investigación acoge el concepto de investigación-acción propuesto por Sagor (2005), que privilegia la investigación *en, de y para* la acción y el “enfoque conversacional” de Gadamer (1998) y Tracy (1997). El modelo de conversación supone apertura al cuestionamiento, exploración de la posibilidad en el reconocimiento de la diferencia para descubrir semejanzas sin pretensión de comprensión plena ni de certeza, dominio o control (Tracy, 1997). Para Gadamer (citado en Tracy, pp. 35), la conversación “no es un enfrentamiento. No es un debate. No es un examen. Es cuestionamiento. Es una buena disposición a seguir la cuestión adonde ésta pueda ir. Es diálogo”. El proceso investigativo se fundamenta en la perspectiva de Ricoeur (1976) y Gadamer (2001), que asumen interpretar los diferentes procesos humanos como textos que interesan a alguien y cuyo desvelamiento se inicia con una “apuesta” por su sentido, lo cual implica *conocer* el texto: acercarse y tomar distancia, explicar y comprender desde la visión particular del investigador. Esta forma de mirar pronostica que una interpretación es una perspectiva y que habrá otras interpretaciones posibles para un mismo texto (Ricoeur, 1976). Con el objeto de encontrar el sentido oculto tras los datos, se leyeron los signos lingüísticos (Gadamer, 2001) y en correspondencia se utilizaron modos de recolección y análisis

de información enfocados a descubrir significados a través del uso de preguntas abiertas y entrevistas de exploración.

La investigación tuvo tres instancias: la primera llamada *Prysm 1*, la cual se inició con un taller realizado en junio de 2003 y siguió con un proceso de acompañamiento durante el segundo semestre de 2003. A partir de un análisis inicial de la información recogida hasta este punto, se estructuró una propuesta de formación que se fue validando en un proceso vivencial durante el primer semestre de 2004 y que constituye la segunda instancia denominada *Prysm 2*. Aun cuando esta investigación no se centró en la pregunta sobre el estudiante, en una tercera instancia llamada *Prysm Estudiantes* se incluyó de manera tangencial su voz. En la tabla 1 se encuentra la síntesis de lo realizado.

Para la sistematización de los datos se construyó una base de datos utilizando el programa Acces¹, el cual facilita la reclasificación y consulta de la información. En la base de datos se encuentra toda la información recogida clasificada por temas y por fuente. En total se registraron un poco más de 2000 unidades. Las frases dichas se transcribieron respetando el lenguaje, se atendió a los tiempos verbales utilizados, a las palabras clave referidas. Se hizo una lectura gramatical, sintáctica y semántica del discurso, intentando descifrar lo que los profesores y estudiantes trataban de decir, arriesgando nuevos significados.

La abstracción y el refinamiento de la estructura categorial terminó en dos grandes temas que coincidieron con los dos ejes de la investigación: la primera corresponde a la reconstrucción del proceso evaluativo motivo de re-

Tabla 1
Instancias de la investigación, mediaciones utilizadas y procesos de registro correspondientes

	Objetivo	Mediaciones	Registro
Prysm 1	Taller: el objetivo fue descubrir los imaginarios y problemas de los profesores en sus prácticas evaluativas.	-Trabajo en grupos -Cuestionario, preguntas guía para autobiografías	-Síntesis de 4 sesiones, elaboradas por 2 asesoras, enviadas por e-mail a todos los participantes. Incluyen aportes de las asesoras y preguntas que surgen de los planteamientos -Informe final entregado a la institución -Digitalización de las respuestas de 17 cuestionarios
	Seguimiento: el objetivo para la investigación consistió en corroborar lo observado en el taller para estructurar la propuesta de formación para el primer semestre de 2004.		
Prysm 2	Construir e ir validando una propuesta de formación de profesores en prácticas evaluativas durante un semestre de acompañamiento.	-Acompañamiento en los foros -13 entrevistas informales -Cuestionarios de autorreconocimiento	-Digitalización de las conversaciones de 13 temas del foro -Bitácora de la investigadora -Síntesis de 4 encuentros -Digitalización de las respuestas de 13 cuestionarios
Prysm Estudiantes	Incluir la voz del estudiante para corroborar y contrastar.	-Cuestionarios sobre evaluaciones excelentes e inadecuadas	-Digitalización de las respuestas de 151 cuestionarios

Tabla 2
Estructura de categorías

Primer eje: el proceso evaluativo en la Escuela		
Modos de ser del profesor que inciden en la evaluación	Persona	
	Profesor	
Supuestos del profesor sobre la evaluación	El proceso	<ul style="list-style-type: none"> - relación con la formación - modo como lo asume el profesor - relación con su que-hacer docente
	Los elementos del proceso	<ul style="list-style-type: none"> - la prueba - la calificación - la interacción
	El estudiante como evaluado	<ul style="list-style-type: none"> - modos como cree que asume la evaluación - modo de evaluarlo - sentido que cree que tiene la evaluación para él
Prácticas evaluativas	Construcción	<ul style="list-style-type: none"> - lo que se pregunta - lo que se espera que haga el estudiante - características de la prueba - reglas - validación de la prueba
	Corrección y calificación	<ul style="list-style-type: none"> - modos de respuesta esperados - lo que se tiene en cuenta - métodos empleados - usos de los resultados
	Interacción profesor-estudiante	<ul style="list-style-type: none"> - en la construcción de la prueba - en el momento de la respuesta - en la corrección y calificación - en la devolución
Segundo eje: el proceso Prysma 2		
Valoración del proceso	Propósitos iniciales y finales Dificultades Mediaciones	
Efectos del proceso	Qué hicieron los profesores Sobre qué temas centrales Aspectos para atender	

flexión (en la Escuela), y la segunda referente a la reconstrucción del proceso de formación vivido (Prysmas 2), sus dificultades y sus efectos sobre los profesores en el caso de la Escuela.

En este tipo de investigaciones de corte interpretativo, el proceso es circular. Al ir ordenando y encontrando recurrencias, ausencias, se van logrando nuevas comprensiones que a su vez plantean fisuras, preguntas que devuelven a los datos hasta llegar a la estructura de categorías que se presenta en la tabla 2. La misma manera de ordenar, agrupar y clasificar los datos es ya una apuesta sobre el sentido, implica una manera particular de ver el problema.

HALLAZGOS

Más allá de las particularidades, problemas, aciertos o equívocos propios de la Escuela, lo que se buscaba era descubrir aquellos aspectos que preocuparan o interesaran especialmente a los profesores, aquellos puntos de su hacer sobre los que fueron tomando conciencia y vacíos de comprensión. Estos aspectos caracterizan las maneras como se entiende y se practica la evaluación en la Escuela, y constituyen cuatro grandes problemáticas: a) *la ambivalencia entre la subjetividad y la objetividad*, referente a la connaturalidad de la subjetividad en la evaluación y cómo una concepción equívoca de la equidad la enfrenta a la objetividad; b) *el estudiante visto en doble perspectiva*, que

presenta el contraste entre la percepción que tiene el profesor del estudiante, sus supuestos sobre el estudiante y lo que los mismos estudiantes relatan; c) *las brechas entre el decir y el hacer*, donde se exponen las incoherencias entre lo que los profesores presentaron como deseos o concepciones y lo que ellos o los estudiantes expresaron en la práctica y por último, d) *el conflicto entre tener poder y valorar*, donde se presenta cómo la evaluación se sitúa en relaciones jerárquicas guiadas por el poder o en relaciones de reciprocidad guiadas por el reconocimiento, que permiten la valoración. La exposición tiene carácter interpretativo propositivo, con la pretensión de ir abriendo caminos posibles a nuevas comprensiones.

a) La ambivalencia entre la subjetividad y la objetividad

Este primer núcleo problemático es quizás el más contundente. Los profesores reconocieron que la subjetividad es CONNATURAL a la evaluación, que su estado de ánimo y sus conocimientos influyen en la manera de mirar a sus estudiantes; en la manera de construir una prueba: lo que preguntan y cómo lo preguntan; en la manera de corregir y calificar una prueba.

La subjetividad hace referencia a las manifestaciones del ser. Reconoce que “no hay comprensión ni interpretación en la que no entre en funcionamiento la totalidad de esta estructura existencial, aunque la intención del conocedor no sea otra que leer ‘lo que pone’, y tomarlo de las fuentes ‘como realmente ha sido’” (Gadamer, 2001:328). No es posible separar lo que el profesor es de lo que hace en la evaluación. Para evaluar, el profesor se aproxima con todo lo que es, con sus creencias y prejuicios, lo cual influye en su percepción sobre el estudiante, sobre la evaluación y lo que hace en consecuencia.

Evaluar es realizar un juicio de valor y “el valor no puede existir sino en relación con un SUJETO QUE VALORA” (Fronidzi, 1968:25). Por tanto, desde su percepción particular del mundo, su experiencia y toda su personalidad, el maestro comprende y valora los aprendizajes de sus alumnos, comprometiéndose como ser humano.

La subjetividad también está presente al hacer referencia a los estudiantes en dos sentidos: primero, al reconocer que los estudiantes “no son iguales”, que “hay muchas clases de estudiantes y un estudiante no es de un solo tipo en todas las oportunidades”³ y que, por tanto, “se debe evaluar a cada quien individualmente”; y segundo, al evaluar el proceso de aprendizaje del estudiante se implican valores que se encuentran en un sujeto, porque “los valores no existen por sí mismos, al menos en este mundo: necesitan de un depositario en quien descansar” (Fronidzi, 1968).

Sin embargo, frente al reconocimiento de la subjetividad, los profesores se demandan ser objetivos porque la confunden con capricho y, por consiguiente, suponen que ella pone en riesgo la equidad. Por querer CONTROLAR LA SUBJETIVIDAD se centran en aspectos mecánicos de la evaluación, olvidando los criterios y desconociendo las particularidades del estudiante.

Al corregir punto por punto o utilizando plantillas para cobrar los errores a todos los estudiantes por igual, los pro-

fesores creen que logran ser objetivos y que los estudiantes “quedan calificados más uniformemente”. Esta pretensión de uniformidad lleva a que los criterios de calificación no sean definidos con anterioridad por cuanto no se sabe qué errores van a surgir y cómo se van a “cobrar”. El estudiante no sabe cómo será evaluado y por tanto el “valor” que se cobra por los errores se convierte en punto de discordia; no hay un acuerdo sobre qué es importante, qué se tiene en cuenta y porqué y cómo traducir la apreciación a una nota, es decir, NO HAY CRITERIOS EXPLÍCITOS y claros para evaluar.

Entender *valorar* como RE-CONOCER (RAE, 2001) implica que el profesor CONOCE al estudiante para poder valorarlo, porque “sólo los seres que conocen son capaces de reconocer” (Ricoeur 1982:138). Los profesores corren el riesgo de DES-CONOCER al estudiante y su proceso cuando piensan que pueden ser injustos si saben a quién están evaluando. Lo hacen porque creen que “si se conoce al estudiante se puede pecar de subjetividad” y, por tanto, en la corrección es importante “no mirar el

Los profesores corren el riesgo de DES-CONOCER al estudiante y su proceso cuando piensan que pueden ser injustos si saben a quién están evaluando.



nombre para que sea imparcial”. En estos casos estarían realizando actos injustos porque desconocen la *justicia particular*, valoran sin reconocer al estudiante. El ajuste de los criterios generales a los casos particulares conduce a lo que Aristóteles llamaría la SABIDURÍA PRÁCTICA, ese actuar prudente, sensato, razonable, propio de las prácticas docentes⁴, que permite la flexibilidad sin traspasar la norma.

Parecería que en la práctica profesores y estudiantes consideran que la objetividad debe primar, pero lo que expresan se relaciona más bien con tener criterios generales para que no haya riesgo de SUBJETIVISMO⁵. Los estudiantes relacionan las evaluaciones excelentes con el hecho de que el profesor sea *objetivo* y *equitativo* y las evaluaciones inadecuadas, por el contrario, cuando “no obraba de manera equitativa”. Se evidencia una confusión entre subjetividad y

subjetivismo, y parece que se suponen como sinónimos OBJETIVIDAD y EQUITAD.

Es paradójico que siendo la DEFINICIÓN, EXPLICITACIÓN Y EXPLICACIÓN DE LOS CRITERIOS de evaluación a los estudiantes un límite a la subjetividad para evitar el subjetivismo, los profesores no los divulguen o los limiten a reglas operativas. Los estudiantes lo evidenciaron al reclamar que *"no se sabía de dónde salían las notas"* y los profesores reconocieron que se les olvida: *"No especifiqué las reglas, ¡qué paradoja! Soy obsesiva con las reglas del juego"*.

b) El estudiante visto en doble perspectiva

Este segundo núcleo se refiere a la doble mirada a los estudiantes: cómo los vieron los profesores y cómo se vieron ellos mismos en la evaluación. Los profesores creen que a los estudiantes les importa más la nota que el aprendizaje y que por lo mismo preguntan poco y copian. Parten de la desconfianza en el estudiante. Incluir la voz del estudiante permitió corroborar y contrastar, fue posible descubrir en sus respuestas intereses, preocupaciones y explicaciones para sus actuaciones que difieren de estos supuestos.

Si bien es cierto que hay estudiantes que no hacen tareas y otros que copian, al generalizar, los maestros suelen emprender acciones con la visión negativa del estudiante: *"Toca cuidar exámenes, hacer de policías porque se copian"*, o como: *"Hago quices para obligarlos a estudiar"*. Esto contrasta con las apreciaciones de los estudiantes y con el reconocimiento que hicieron los profesores de que los estudiantes *"no son iguales"*. Si de verdad los reconocieran como distintos, no partirían de estos prejuicios generalizados.

Los profesores mencionaron que los estudiantes COPIAN cuando el TIEMPO NO ES EL ADECUADO o cuando la prueba es muy COMPLEJA o porque LES

INTERESA MÁS LA NOTA que la misma evaluación. Al respecto los estudiantes reconocieron que copian cuando NO ESTÁN PREPARADOS para realizar la prueba: *"Uno no tiene las suficientes armas para realizar un proyecto y se limita a copiar el proyecto de un libro"*; cuando la evaluación no despierta en ellos INTERÉS alguno, cuando todos tienen que HACER LO MISMO y cuando en una sola prueba se "juegan" su nota del semestre o del período.

Los profesores mencionaron que en pruebas con *"mayor complejidad"*, o en las que *"el tiempo no es el adecuado"*, hay mayor tendencia a la copia y por ello se idean mecanismos para prevenirla, desviando la atención del objetivo de la evaluación hacia evitar la copia. La mayoría de medidas que mencionan las toman para evitarla, pero podrían aplicarlas aun cuando no hubiese copia y quizás serían evaluaciones más formativas. Por ejemplo, un profesor que hace *"exámenes nuevos"*, estaría reconociendo las particularidades de sus estudiantes y el hecho de que el proceso de enseñanza no es repetible, que cada vez ocurren cosas distintas en el aula. Sus evaluaciones serían coherentes con lo que va comprendiendo de sus estudiantes y de su proceso de aprendizaje. De la misma manera, un profesor que permite al estudiante *"consultar la información que requiera"* no está limitando la evaluación al recuerdo, está pensando posiblemente en evaluaciones más formativas. En este caso,

por querer controlar la copia, ¡hacen evaluaciones que no se limitan al control!

Los profesores se quejaron de que los estudiantes PREGUNTAN MUY POCO, mientras que los estudiantes expresaron que *"uno puede estar perdido en el tema y no pregunta porque tiene temor"*; no preguntar no necesariamente obedece a PASIVIDAD, a NO QUERER APRENDER.

En contraste con el supuesto de los profesores acerca de la FALTA DE INTERÉS DE LOS ESTUDIANTES POR APRENDER, los estudiantes juzgaron como evaluaciones excelentes aquellas en las que APRENDEN: *"Es algo que uno lo hace con gusto porque sabe que realmente aprende"*; las que los exigen: *"Me hizo exigir en todas las áreas académicas y personales"*; las que les representan un RETO: *"Era difícil, pero puede hacer todo y me fue excelente"*; y como inadecuadas en las que *"no se da la oportunidad de aprender en serio porque uno estudia es para alcanzar un 3.0 y no para aprender cuando el examen vale el*

100%", *"era algo muy básico y no se aprendía nada"*. Esperan evaluaciones formativas, evaluaciones que les permitan AUTOAFIRMARSE, explorar sus capacidades: *"Exploré áreas de mí que no conocía y en las cuales soy excelente"*.

Los estudiantes QUIEREN MOSTRAR LO

QUE SABEN, esperan que el profesor les dé la palabra para poder mostrarse, que los deje expresarse: *"Se demostró todos los conocimientos de la materia sin dejar ninguno de estos por fuera"*, y consideran inadecuadas aquellas evaluaciones en las que no les permiten hacerlo: *"Única-*



mente eran 3 puntos que no representaban la amplitud del tema". Quieren mostrar, quieren ser escuchados.

Si el profesor piensa que las evaluaciones deben permitir al estudiante que muestre lo que sabe, la prueba estaría diseñada para ello y no se reduciría a la valoración de una respuesta, sino que tendría en cuenta el procedimiento, demanda que hacen los estudiantes: "Evaluar y calificar sólo respuestas en un examen es desconocer e ignorar el proceso del estudiante". La intención formativa del profesor se concreta en la PREGUNTA elegida en la construcción de la prueba, y en lo que TIENE EN CUENTA el profesor en la calificación.

Si las evaluaciones se limitan a hacer que el estudiante ESTUDIE o que REPITA no son evaluaciones formativas, sino guiadas por el control, no permiten que el estudiante hable con voz propia y por eso él las considera inadecuadas. El estudiante QUIERE HABLAR CON VOZ PROPIA para que el profesor lo escuche y le diga algo, no ser su eco.

Los profesores podrían hacer de las evaluaciones momentos de aprendizaje al no limitarlas a CONTROLAR y COMPROBAR, al hacer evaluaciones que lleven a los estudiantes no sólo a aprender conocimientos, sino a auto-conocerse. Parece que los estudiantes sacan más provecho de las evaluaciones de lo que conscientemente esperan los profesores; diríamos que VAN MÁS ALLÁ de las intenciones del profesor. Parece también que hay un VACÍO en relación con la comprensión de los PROCESOS COGNITIVOS que se implican en las diferentes maneras de preguntar.

La subjetividad se convierte en subjetivismo cuando no dejamos que nuestros estudiantes sean. Si los escucháramos más, tal vez nos llevaríamos sorpresas y descubriríamos que no todos copian e incluso que quieren aprender.

c) Brechas entre el decir y el hacer

En los diferentes procesos realizados los profesores expresaron deseos y concepciones sobre diversos aspectos de la evaluación que se les dificulta llevar a la práctica porque encuentran obstáculos o porque no saben cómo hacerlo. Si bien reconocen que la evaluación es un PROCESO CONTINUO, que desean EVALUACIONES "JUSTAS" y una COMUNICACIÓN ABIERTA, en la práctica hacen evaluaciones únicas, se limitan

a dar una nota, no permiten corregir, se presenta incoherencia entre lo enseñado y lo que se pregunta y la relación se basa en la desconfianza.

Los profesores conciben la evaluación como INHERENTE AL PROCESO DE FORMACIÓN en tanto que ha de tener una intención formativa. Al ser un proceso CONTINUO y relacionado con la formación, se supone un proceso circular en el aprendizaje a partir del reconocimiento de errores, del reconocimiento de nuevas comprensiones, a partir de que el estudiante encuentre cuáles son sus dificultades en su proceso y que el maestro a la vez ajuste su enseñanza para ayudarle.

En contraste, los estudiantes reportaron que en las evaluaciones únicas no es posible valorar un proceso y que ello genera presión que muchas veces los lleva a cometer errores: "Por la presión se pueden cometer muchos errores". Reclaman la evaluación continua: "Esperaba que existieran otras notas para que se evaluara el conocimiento del estudiante no en una hora, sino en todo el semestre". Y esperan que el profesor los acompañe en su proceso.

Las evaluaciones únicas se consideran el PUNTO FINAL del proceso y por tanto no atienden al propósito de "corregir y mejorar". El profesor pretende solamente saber qué

sabe y qué no sabe el estudiante, pues no son evaluaciones que PERMITAN APRENDER. Los profesores creen que la evaluación ha de permitir "corregir o mejorar", que no se limite a calificar, a dar una nota; que es "más que una simple calificación", que si bien ha de ser el resultado de "un proceso de constante evaluación", "no constituirá ni lo único ni mucho menos lo más importante". Sin embargo, los estudiantes reportaron evaluaciones en que solo reciben notas y reclaman

que "no se sabía de dónde salían las notas", es decir, reciben únicamente NOTAS sin explicación, sin corrección, sin ANOTACIONES.

Las dificultades planteadas muestran a la vez un camino posible para evaluaciones formativas: una evaluación continua cuyo propósito vaya más allá de verificar el aprendizaje, que retroalimente al estudiante porque en la corrección el profesor indica errores, reconoce respuestas novedosas y las devuelve con anotaciones además de la nota, buscando que el estudiante las utilice para beneficio de su propia formación. Una manera que los profesores encontraron para ello son las evaluaciones sin calificación, que son además una oportunidad para descentrar la atención

Si el profesor piensa que las evaluaciones deben permitir al estudiante que muestre lo que sabe, la prueba estaría diseñada para ello y no se reduciría a la valoración de una respuesta, sino que tendría en cuenta el procedimiento...



del estudiante en la nota precisamente porque se devuelve algo más. Cuando lo importante es sobresalir, obtener buenas notas, “el alumno difícilmente reflexiona sobre su aprendizaje, es decir sobre qué aprendió y cómo logró aprender; también crea un falso mito sobre el aprendizaje, que es referido básicamente a un número: la máxima calificación significa que ha aprendido, la calificación no aprobatoria quiere decir que no sabe” (Díaz, 1997).

Si en el momento de la corrección y calificación se vincula al estudiante pensando en retroalimentarlo, en atender lo que el estudiante dice y no dice en la respuesta y en hacer anotaciones que lo guíen, entonces podemos hablar de valoración. En realidad, si el profesor no corrige, no estaría valorando. Para corregir se hace necesario ESCUCHAR con atención lo que el estudiante haya dicho, el profesor lo **aprecia** para poder decirle algo reconociéndolo: “*Ser justos es que se hagan las observaciones por escrito a cada estudiante*”. Este es un momento privilegiado para la formación.

Los profesores consideran que sus evaluaciones son justas —entre otras— cuando “las preguntas son acordes a los objetivos, el tiempo es el estimado, cumple con las reglas del juego”, “cuando uno pregunta los temas que han sido tratados ‘in extenso’ y no aquellos que fueron mencionados de paso pero sin hacer mayor hincapié”, cuando la prueba es COHERENTE con el proceso de enseñanza y de aprendizaje que se ha llevado. Todos estos aspectos, que se concretan en la construcción de la prueba, se les dificultan y presentan incoherencias. Por eso los estudiantes consideraron inadecuadas las evaluaciones en las que no hay correspondencia entre lo que se enseña y lo que se pregunta, en las que el tiempo no les alcanza y en las que no se conocen las reglas.

En relación con LO QUE SE PREGUNTA, los estudiantes esperan que las evaluaciones sean coherentes con la enseñanza, que se limiten a preguntar sobre lo visto en clase no

sólo en cuanto al tema (los importantes, aquellos en que el profesor haya hecho énfasis y no aquellos en los que no se profundizó), sino también en cuanto a dificultad de los ejercicios y el modo de preguntar. Por ello consideran inadecuadas evaluaciones en que “*preguntó cosas puntuales de cosas que había explicado muy por encima*”, “*los ejercicios desarrollados en clase no tenían la misma dificultad que los del parcial*”, “*cambian el modo de las preguntas y por ende a todos les va mal*”.

En relación con el TIEMPO que dan a los estudiantes para responder, los profesores expresaron diferentes formas de calcularlo y mientras algunos quieren que sea muy preciso, otros consideran que debe tenerse en cuenta el rendimiento del alumno promedio como criterio para ser justo: “*Ser justo en el tiempo que se asigna de manera que un alumno bueno termine antes de tiempo y uno promedio esté terminando al pedir uno la entrega de los exámenes*”. Los profesores resuelven la prueba, toman el tiempo que se demoran y utilizan un factor multiplicador que obedece a sus supuestos sobre cuánto más que él se demora respondiendo un estudiante. A pesar de estos esfuerzos, los estudiantes reportaron evaluaciones “*muy extensas*” o en las que “*sólo pude resolver un poco más de la mitad*”.

En relación con CUMPLIR LAS REGLAS DE JUEGO, ellos mismos reconocieron que son importantes pero que cometen errores y no las definen: “*Fue error mío no especificar las reglas del juego*”. Los profesores muchas veces definen los criterios de evaluación (reglas de calificación) en el momento de la corrección y calificación: “*Voy anotando en una hojita los errores que voy identificando y a un lado pongo cuántas décimas le quito, con lo cual siento que quedan calificados más uniformemente*”. Es decir, las reglas corresponden a los errores y no son conocidas previamente por los estudiantes. Esto es corroborado por los estudiantes cuando juzgan inadecuadas las evaluaciones en que “*no quedaron claras las reglas de juego*”; “*no me explico de dónde sacó las notas*”.

La última dificultad que quiero resaltar se relaciona con el deseo de los profesores de una COMUNICACIÓN ABIERTA y de su disposición para escuchar a los alumnos, de “*conversar con los estudiantes para lograr entenderlos y aclarar inquietudes*”. En contraste, centran la relación en la DESCONFIANZA: “*Los distribuyo al azar en el salón (más vale prevenir)*”, lo cual imposibilita esa apertura.



Si en el momento de la corrección y calificación se vincula al estudiante pensando en retroalimentarlo, en atender lo que el estudiante dice y no dice en la respuesta y en hacer anotaciones que lo guíen, entonces podemos hablar de valoración.

Una COMUNICACIÓN ABIERTA se refiere a una escucha mutua, en este caso, profesor y estudiante. La escucha “pone en relación a dos individuos” (Barthes, 1986:249). Hay disposición para escuchar cuando hay apertura. Siguiendo a Gadamer, “el que se hace decir algo está fundamentalmente abierto” y cuando hay mutua apertura hay “verdadero vínculo humano” (2001:438). Escuchar implica atender, implica confiar en que el otro va a decir algo que me interesa comprender, implica que escucho también para decir algo. Y CONFIAR es “esperar con firmeza y seguridad” (RAE, 2001); de donde desconfianza es dudar, “tener poca seguridad y confianza” (RAE, 2001). Una relación basada en la desconfianza, es una relación cerrada, que no espera del otro, que no lo escucha.

Cuando el profesor escucha al estudiante se dispone a comprenderlo. Hablamos de un vínculo humano. Por tanto, el tipo de relación que se establezca tiene efectos sobre las personas. Los estudiantes pudieron reconocer que “un buen profesor que escucha a los alumnos ante dudas y reclamos, lleva a un grupo a obtener excelentes resultados” y, por el contrario, “el profesor no entendió mi situación: me dijo que si no lo presentaba tendría mala nota, no me dio opción, de modo que opté por copiarlo de un compañero”. Aun cuando la desconfianza no justifica la decisión del estudiante, no se puede desconocer que tiene efectos sobre la relación. En el momento de la respuesta se hace evidente el AMBIENTE DE CONTROL que genera el profesor principalmente por la desconfianza. No es posible configurar

una comunicación abierta cuando se parte de la desconfianza.

d) El conflicto entre tener, poder y valorar

Los estudiantes valoraron que los profesores demuestran interés en su aprendizaje. En este caso se configura una relación de reciprocidad en que cada uno reconoce y valora al otro.

Este núcleo se refiere a situaciones en las que la relación entre profesor y estudiante se centra en el poder del maestro entendido como dominación, como imposición de exigencias configurándose como una relación jerárquica de mandar-obedecer, y a situaciones en las que la relación se centra en el reconocimiento del otro, que exige reciprocidad y permite valorar.

A partir del análisis y de la sistematización de las respuestas de los estudiantes, fue posible descubrir tres tipos de maestro en el rol de evaluador. En primera instancia, aquel que centra la evalua-

de notas. En segunda instancia el que hace énfasis en una relación de poder, una relación jerárquica que pretende verificar habilidades, basa la relación en la desconfianza y el control, la corrección se centra en identificar errores y aciertos y se preocupa por cobrarlos a todos los estudiantes por igual, usa la nota como premio o castigo, impone los criterios y no siempre los da a conocer al estudiante. Por último, un maestro más activo, que explica, resuelve dudas, comparte su saber, acompaña, apoya y es recíproco en la relación: exige y da, cumple, respeta, dice algo y también escucha, deja que el estudiante muestre lo que sabe, la evaluación es consecuencia de su enseñanza, reconoce la individualidad de los estudiantes y pretende comprender su proceso para guiarlo hacia la formación que él elige, evalúa para que los dos aprendan, ajusten, se transformen y por tanto comprendan y transformen el mundo. Estos tipos de maestros no se encuentran en un estado puro. Mal haría en suponer un ser humano clasificado, rotulado, definido, inamovible, más bien dan luces para que con una postura crítica cada cual encuentre caminos para su transformación.

Cuando los estudiantes reconocen al profesor como “excelente profesor, como persona y como pedagogo” aceptan su AUTORIDAD⁶ PARA EVALUAR; DEMANDAN SU IDONEIDAD como condición para la enseñanza, el aprendizaje y para la EXIGENCIA en la evaluación. La metodología de enseñanza del maestro, sus cualidades como buen enseñante: aclarar dudas, explicar y hacer ejercicios, así como su compromiso, su interés porque los estudiantes aprendan y la forma de apoyarlos y acompañarlos en el proceso, influye en el aprendizaje de los estudiantes y, por tanto, en su preparación para resolver pruebas, en su seguridad y confianza frente a la eva-



ción primordialmente en el tener, en la posesión, se preocupa ante todo por verificar lo enseñado, evalúa para comprobar la enseñanza, se centra en la medición, en la repetición, la calificación es consecuencia de comparar lo dicho por el estudiante con lo que él espera (“respuestas correctas”), evalúa para cumplir requisitos institucionales, se limita a cumplir fechas de entrega

luación y en el éxito que tengan en una prueba. Los estudiantes valoraron que los profesores demuestran interés en su aprendizaje. En este caso se configura una relación de RECIPROCIDAD en que cada uno reconoce y VALORA al otro.

Por el contrario, cuando los estudiantes no ven que el profesor domina el tema: *"Parece no saber, no es capaz de resolver dudas"*; cuando la exigencia no corresponde con la enseñanza y el compromiso mostrado por el profesor, los estudiantes consideran que las evaluaciones son inadecuadas: *"Exigía cosas que no daba"*, *"faltaba a clase y luego nos exigía"*. Entonces no reconocen la autoridad del profesor para exigir: *"Exige pero no demuestra conocimiento y experiencia acerca del tema y de la asignatura"*. No perciben que haya reciprocidad por lo que el profesor da y lo que pide, sino que es una relación más centrada en el PODER.

A pesar de sus concepciones sobre formación integral y evaluación, sólo hay una mención al reconocimiento del estudiante como persona en relación con el sentido que da el profesor a la evaluación: *"Para apreciar a los estudiantes como personas que quieren acceder a un título profesional"*; prima el CONTROL: *"Para saber quién puede continuar y quién tiene que quedarse"*; y priman las razones externas al proceso del estudiante: *"Para cumplir con un requisito institucional"*, *"proporcionar pruebas sobre los objetivos logrados total o parcialmente"*, lo cual sitúa

la evaluación más en una relación de posesión (tener) que de valoración.

Cuando la evaluación tiene la pretensión de comprobar la enseñanza, los profesores suponen que tienen que preguntar "todo lo visto" para VERIFICAR el aprendizaje de ese conocimiento transmitido en la clase: *"Conocer el aprendizaje de los conocimientos transmitidos en clase"*. Para ello muchas veces hacen preguntas de selección múltiple, porque *"al ser más cortas permiten mayor cobertura del tema"*. La evaluación se convierte en un espacio donde prima el tener (el conocimiento) y el poder (verificar) más que el COMPRENDER un proceso de aprendizaje.

Cuando la preocupación principal de la evaluación es encontrar los ERRORES y el profesor es el poseedor de la VERDAD, prima también la posesión del conocimiento y el poder. Parecen olvidar que contestar un examen como lo espera el evaluador no implica saber un tema o dominar una disciplina (Díaz, 1994). Cuando un profesor da por sentado que las tareas contienen errores y por eso no las califica, puede estar reforzando la idea de la NOTA COMO CASTIGO al error. Igualmente, si no califica las tareas porque son para aprender, aceptaría que realiza evaluaciones que no son para aprender y por tanto que no son formativas. No sólo se aprende cuando se encuentran los errores en una evaluación, se puede

aprender al responder la evaluación o al prepararla, como en un proyecto en el que se va aprendiendo a medida que se va avanzando, se cometen errores, se encuentran, se corrigen. La evaluación en sí sería un aprendizaje.

Siempre existe el riesgo del error, ¡aun en lo que conocemos como maestros! La tendencia en evaluación ha sido que el maestro muestra el error al alumno según su propia comprensión. Nos hemos creído poseedores de la verdad y conocedores del único camino posible para resolver los problemas, camino que esperamos que sigan nuestros estudiantes. Esto surgió en la investigación cuando los profesores mencionaron esperar respuestas correctas y también cuando al devolver la prueba, expresaron que muestran la solución: *"Les corrijo el examen en el tablero para que ellos sepan cuál era la respuesta verdadera y acaben de resolver sus dudas"*. Lo expuesto nos lleva a que ésta sería también una evaluación más centrada en el TENER ESE CONOCIMIENTO y en el poder del maestro, POSEEDOR DE LA VERDAD. Como las excepciones también surgen, un profesor se refirió a INVESTIGAR (indagar) cuando el estudiante presenta respuestas 'geniales'. Esto implica estar dispuestos a sorprenderse, no suponer por ejemplo que estudiantes 'malos' contestarán mal y lo contrario; implica estar ABIERTOS a descubrir, DEJARSE HABLAR.

Lo que hoy se nos reclama como maestros es precisamente INTERROGAR a nuestros alumnos, presentarles esos "interrogantes fundamentales" de que habla Morin (2001), para que ellos escudriñen en el conocimiento y puedan construir nuevas comprensiones del mundo y sus problemas. En esta perspectiva no podríamos concebir una evaluación en la que sólo valen las respuestas correctas, y no valoramos la manera como el estudiante se aproxima a los interrogantes que le presentamos. Y aquí está entonces también



lo fundamental del maestro: un maestro que se pregunte por el mundo, por el conocimiento y que esté dispuesto a PONER EN TELA DE JUICIO SUS IDEAS Y SUS CREENCIAS.

Con base en lo que el estudiante muestra al contestar, el profesor valora y emite un juicio. En este punto aparecen las notas. En una evaluación guiada por el poder, las notas se usan como CASTIGO: “*Si entregan tarde se baja la nota, se castiga con la nota*”; o como PREMIO: “*He querido premiar a los mejores estudiantes, por lo cual el quiz estaba diseñado para sacar hasta ocho sobre cinco*”. Los profesores mostraron cómo son FLEXIBLES o no en la obtención de las notas definitivas, limitándose a operaciones matemáticas o utilizando también su “buen juicio”: “*Las matemáticas dejan colar muchos a los que les queda en 3.0 la asignatura y yo lo respeto, pero al que le quedó en 2.94 igual no le cambio la nota*”. Sin embargo, las mediciones suponen la presencia del error, lo cual lleva a pensar que el número no refleja la verdad. Lo anterior muestra que la atención de maestros y estudiantes se centra en la nota más que en el proceso de aprendizaje. El maestro ejerce presión sobre el estudiante con la nota, ejerce su poder. El reto que se hace evidente es lograr “transformar efectivamente el poder en instrumento de educación para la libertad”, un “poder sin abuso de fuerza” (Ricoeur, 1982:136).

Cuando la evaluación se limita a la MEDICIÓN (estadísticas), priman el tener y el poder. Parece que el uso de estadísticas “genera un ‘efecto de cientificidad’ en los planteamientos de la evaluación” (Díaz, 1997). El hacer estadísticas no tiene de por sí una connotación negativa; el problema es que la comprensión no trascienda las cifras sino que se limite a saber cuál es la nota más alta, el promedio, el porcentaje de estudiantes que va PASANDO O PERDIENDO, que se valide una prueba por el porcentaje de estudiantes que la pueda contestar acertadamente: “*Si un gran número de estudiantes obtiene buena calificación, es porque se pusieron parámetros muy bajos*”. Esto cierra toda posibilidad al cuestionamiento para comprender los procesos de aprendizaje de los estudiantes y de enseñanza del profesor.



Si quisieran COMPRENDER el proceso de aprendizaje, los profesores se harían preguntas como ¿por qué este proceso se dio así?, ¿qué ocurrió en el proceso de aprendizaje? Uno de los 9 principios propuestos para una buena práctica

Con base en lo que el estudiante muestra al contestar, el profesor valora y emite un juicio. En este punto aparecen las notas.

evaluativa es que la evaluación atienda a los logros, pero también a las EXPERIENCIAS que llevan a dichos logros: entender qué estudiantes aprenden mejor en qué condiciones (Astin, Banta, Cross, El-Khawaw, Ewell, Hutchings, Marchese *et al.*,

s.f.). En la investigación, los profesores comenzaron a hacerse preguntas acerca de su proceso a partir de los datos estadísticos: “*¿Qué ha pasado? Me tocaron dos grupos muy buenos? (...)*”. Se evidencia una intención por comprender, más allá de medir, desplazando la evaluación hacia la valoración.

Parece que FALTA una mejor comprensión sobre el OBJETO DE LA EVALUACIÓN (qué se evalúa) cuando aparece la pretensión de medir el conocimiento y el aprendizaje: “*Evaluar el grado de asimilación del conocimiento*”, “*medir el grado de aprendizaje*”, porque el aprendizaje es realmente un proceso y no algo que se tiene o no se tiene. “La idea de medir el conocimiento generalmente está unida a una concepción de éste como una representación, depositable en un lugar, acumulable, terminado” (Ibáñez, citado por Bustamante, 1996). “La cuantificación del aprendizaje lo reduce a lo superficial y aparente, en detrimento del proceso mismo de aprender” (Díaz, 1997).

Diríamos que en la corrección y calificación prima descubrir los errores, las fallas, no las cualidades ni las respuestas novedosas, y la obtención de la nota consiste principalmente en cobrar por esos errores, en restar los puntos malos a un valor máximo posible que puede obtener el estudiante. La nota se convierte en una medida estadística: *¿cuántos estudiantes van perdiendo?, ¿cuánto me falta para pasar la materia?* Por tanto, la evaluación pasa de ser un momento formativo a un momento informativo. La calificación pasa de ser una traducción (que implica comprensión) a ser sólo un resultado numérico. Con la nota, el profesor cobra el error y castiga el incumplimiento.

Cuando hay trato respetuoso en la evaluación, se posibilita la valoración. RESPETO significa ‘consideración, miramiento’ (Corominas, 2000). Y *considerar*, en su origen significa ‘examinar atentamente’, y *atender*, del la-

tín *attendere*, ‘tender (el oído hacia algo)’. Respetar a alguien es considerarlo digno de atención y, por tanto, implica interés, implica atenderlo, ESCUCHARLO. Para los estudiantes el trato respetuoso de los profesores en la evaluación es una de las condiciones para juzgar que una evaluación es excelente: “En ningún momento me asaltó con preguntas que hicieran dudar de mis conceptos”. Por el contrario, cuando es irrespetuoso, la



consideran inadecuada. Cuando al profesor le interesa el estudiante y lo considera digno de atención, le importa cómo presenta la prueba y el tiempo que le da para responder. El trato respetuoso se da entonces en la región de las relaciones en que se valora al otro. Actitudes irrespetuosas no fomentan una relación asertiva entre profesores y estudiantes, no llevan a una comunicación abierta y sólo podrían ser cambiadas por el profesor si él logra MIRARSE, reconoce para sí sus posibilidades y decide otros caminos hacia el reconocimiento y la valoración.

Hasta este punto he presentado lo que sería el proceso evaluativo en la Escuela, que si bien es una lectura particular por ser de esta institución y por ser leída desde mi perspectiva, puede dar luces para dar otras miradas a ella misma y a otras instituciones.

CONCLUSIONES

Al volver sobre los núcleos presentados, resaltan como puntos de insistencia la presencia de la subjetividad ma-

nifiesta en la dependencia del juicio, de las condiciones personales del profesor, de su SABIDURÍA; los CRITERIOS como requisito para controlar la subjetividad y lograr la EQUIDAD reconociendo a cada quien, para la aplicación de la ley general y la ley particular; los prejuicios sobre los estudiantes, que al generalizarse llevan a olvidar sus particularidades, a configurar una relación basada en la desconfianza, el control y

en la que NO SE RECONOCE al estudiante; la necesidad de acompañamiento, de la presencia del profesor para la coherencia con lo que exige a sus estudiantes (lo que se da y lo que se pide), lo que les pregunta, es decir, la RECIPROCIDAD; la retroalimentación para que la evaluación PERMITA APRENDER, que implica haber acompañado, reconocer al estudiante, DEJARLO SER, ENCONTRAR SU CAMINO en contraposición con una evaluación que pretenda solo VERIFICAR la adquisición de conocimientos y CASTIGAR el ERROR que se determina porque el profesor es poseedor de la verdad; y, por último, el RESPETO por el estudiante, por su proceso.

Todos estos temas permiten que se hable de la evaluación como valoración y se relacionan con la justicia y la libertad. Una evaluación formativa hace referencia a una evaluación que promueva el desarrollo, y si éste es visto como libertad, como ampliación de oportunidades, se trata entonces de una evaluación liberadora. Una evaluación jus-

ta será formativa y, por tanto, ampliará las oportunidades de los estudiantes para lograr su propia formación, la que ellos desean.

Lo anterior requiere una disposición especial de profesores y de estudiantes. Implica una actitud mental de APERTURA, lo cual significa dejar de lado la tendencia a dar “por sentado” algo, estar dispuesto a mirarse, a dejarse tocar, a ESCUCHAR y ESCUCHARSE, supone el deseo de comprender en contraposición con el ejercicio del poder que pretende ejercer control con la nota y olvida la comprensión.

Cuando el maestro escucha al alumno, lo reconoce; implica una posición de respeto, de apreciarlo como ser humano en toda su complejidad. Supone interés, pero no un interés para oír lo que él desea oír, sino interés en escuchar su palabra para comprender y ser mejor maestro. Cuando el maestro escucha lo que pasa en el aula y escucha a su alumno, elabora pruebas con sentido para él, para su proceso de aprendizaje; define criterios coherentes con el proceso; descubre; interpreta —desde lo que él es— lo que el alumno le presenta; se preocupa por decirle algo que espera que el alumno escuche. Un maestro que escucha es un maestro que no reduce a un momento único y puntual la valoración de su alumno, sino que necesita un encuentro permanente con lo que el alumno es.

El maestro se escucha en la evaluación cuando encuentra aspectos para sí, para su práctica, cuando se da cuenta de qué le corresponde asumir y corregir. Este tipo de evaluación *ausculta*, escucha lo más profundo del profesor y del estudiante para actuar con prudencia. Y la prudencia requiere tiempo y *aguzar el oído* hacia la formación del alumno. Escuchar en este terreno implica “ponerse en disposición de decodificar lo que es oscuro, confuso o mudo” (Barthes, 1986:247): ¿qué requiere cada alumno para formarse? La

respuesta está únicamente en el alumno, y nosotros como maestros asumimos el reto y el riesgo de escucharlo para develarla. Si bien nada garantiza que no nos equivoquemos, sí se espera que sepamos juzgar sabiamente para elegir, para tomar decisiones con rectitud.

En una relación de reciprocidad, también el alumno escucha. Escucha con atención al maestro, lo que él tiene que decir, lo que enseña, sometiéndolo a su juicio y sospechando del conocimiento cuando se presenta como dogma, porque “‘escuchar al otro’ no significa simplemente realizar lo que quiera el otro. Al que es así se le llama sumiso”, (Gadamer, 1998:438) y no es la sumisión lo que resulta de esta escucha que propongo, sino la libertad.

Un proceso de valoración con estas características permite que el estudiante tenga la oportunidad de elegir su camino y su propia dirección en el aprendizaje, resultado de escuchar y escuchar-se; es decir, es un proceso que potencia la autonomía y por tanto la libertad.

Al ser la evaluación una práctica docente, es un ejercicio continuo que es posible transformar mediante la reflexión al hacerla consciente, voluntaria, autónoma⁷. En ejercicio de nuestra libertad elegimos la manera de ir configurándonos como maestros. La reflexión implica RESPONSABILIDAD, considerar las consecuencias de una elección y estar dispuestos a asumirlas, es decir, estar dispuesto a transformar.

Un grupo de profesores puede estar conformado por docentes de edades, disciplinas, experiencias profesionales, experiencias académicas y condiciones personales muy disímiles, de las cuales los demás pueden sacar provecho si hay apertura. Cada profesor mostrará su propio estilo ya que “la adopción de una perspectiva metodológica en la enseñanza proyecta un estilo singular de formación” (Edelstein, 1998:82).

Una propuesta de formación coherente con lo expuesto habrá de tener en cuenta los aspectos presentados partiendo de las particularidades de la institución, de cada grupo de profesores y de cada profesor para que se constituya en una experiencia significativa.

NOTAS

1. Acces es Marca registrada de Microsoft Corporation Inc.
2. Las versalitas son mías.
3. Las frases de profesores y estudiantes se incluyen entre comillas e itálicas transcritas como aparecieron en los textos.
4. Para ampliar sobre la sabiduría práctica en las prácticas docentes, ver Restrepo & Campo, 2002.
5. Se habla de subjetivismo cuando se reducen “el bien y el mal y lo bello y lo feo a las preferencias de los sujetos en particular” (Abbagnano, 2001).
6. La autoridad en sí no es mala. “El mando constituye una ‘diferenciación’ necesaria entre los hombres” (Ricoeur, 1982:134).

7. Adapto el concepto general de práctica docente de Restrepo & Campo, 2002.

LISTA DE REFERENCIAS

- Abbagnano, Nicola. *Diccionario de filosofía*. (3ª. reimpresión). México: Fondo de Cultura Económica, 2001.
- Aristóteles. Libro V: De la Justicia. En *Ética Nicomáquea. Política*. (Gómez, Antonio. Trad.) México: Porrúa. (Primera edición “Ética Nicomáquea” Valencia 1475, “Política”, Barcelona 1480), 2000.
- Astin, Alexander, Banta, Trudy, Cross, Patricia, El-Khawas, Elaine, Ewell, Peter, Hutchings, Pat, Marchese, Theodore J., McClenney, Kay M., Mentkowski, Marcia, Miller, Margaret A., Moran, E. Thomas, Wright, Barbara D. (s.f.). *9 Principles of Good Practice for Assessing Student Learning*. Recuperado julio 2, 2004, de la Página web de la American Association for Higher Education: <http://www.aahe.org/assessment/principles.htm>
- Barthes, Roland. El acto de escuchar. En *Lo obvio y lo obtuso. Imágenes, gestos, voces* (pp. 243-256). Barcelona: Paidós, 1986.
- Bustamante, Guillermo. ¿Es posible evaluar objetivamente? En Pérez, Mauricio y Bustamante, Guillermo, *Evaluación escolar: ¿Resultados o procesos? Investigación, reflexión y análisis críticos* (pp. 35-61). Bogotá: Magisterio, 1996.
- Corominas, Joan. *Breve Diccionario etimológico de la lengua castellana*. (3ª edición, 10ª. reimpresión). Madrid: Gredos, 2000.
- Díaz, Ángel. Una polémica en relación al examen. En *Revista Iberoamericana de Educación*. No. 5, Madrid, 1994.
- Díaz, Ángel. *Didáctica y currículum: convergencias en los programas de estudio* (pp. 147-197). México: Paidós, 1997.
- Edelstein, Gloria. Un capítulo pendiente: el método en el debate didáctico contemporáneo. En Camilloni, Alicia, Davini, María Cristina, Edelstein, Gloria, Litwin, Edith, Souto, Marta & Barco, Susana, *Corrientes didácticas contemporáneas* (pp. 75-89). Buenos Aires: Paidós, 1998.
- Fronzizi, Risieri. *¿Qué son los valores?* México: Fondo de Cultura Económica, 1968.
- Gadamer, Hans-Georg. *Verdad y Método II*. (3ª. edición). Salamanca: Sígueme, 1998.
- Gadamer, Hans-Georg. *Verdad y Método I*. (9ª. edición). Salamanca: Sígueme, 2001.
- Morin, Edgar. *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. Unesco. Bogotá: Magisterio, 2001.
- Restrepo, Mariluz & Campo, Rafael. *La docencia como práctica: el concepto, un estilo, un modelo*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Educación, 2002.
- Ricoeur, Paul. Del conflicto a la convergencia de los métodos en exégesis bíblica. En Barthes, Roland, Beauchamp, Paul, Bouillard, Henri; Courtes, Joseph, Haulotte, Edgar, Léon-Dufour, Xavier, Marin, Louis et al., *Exégesis y hermenéutica* (pp. 33-50). Madrid: Ediciones Cristiandad, 1976.
- Ricoeur, Paul. *Finitud y culpabilidad*. Madrid: Taurus, 1982.
- Sagor, Richard. *The Action Research Guide Book*. California: Corwin Press, 2005.
- Tracy, David. *Pluralidad y ambigüedad. Hermenéutica, religión, esperanza*. (Tabuyo, M & López, A. Trad.). Madrid: Trotta, 1997.
- Real Academia Española. *Diccionario de la Lengua Española*. XXII Edición. España: Autor, 2001

Tendencias mundiales en ciencia y tecnología de materiales

Ponentes

Nelly Cecilia Alba de Sánchez

Ph.D., directora del grupo Ciencia e Ingeniería de Materiales y profesora del Departamento de Ciencias Básicas de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Occidente de Cali.

Félix Echeverría Echeverría

Ph.D., coordinador del Grupo de Corrosión y Protección, y profesor de la Universidad de Antioquia.

Pedro Prieto Pulido

Ph.D., director del Centro de Materiales y Nanotecnología, escogido por Colciencias como Centro de Investigación de Excelencia. Profesor del Departamento de Física de la Universidad del Valle.

Pedro Nel Quiroga (moderador)

Ph.D., director del Centro de Estudios de Estructuras, Materiales y Construcción, y profesor de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

La Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería, en el marco de la programación de la decimocuarta versión de ECiencia, organizó esta mesa redonda para mostrar el panorama actual y las tendencias en ciencia y tecnología de los materiales, que son parte de nuestro diario vivir y cuyas características tienen una incidencia directa en todas nuestras actividades.

En esta edición se publican las ponencias de los doctores Nelly Alba de Sánchez y Félix Echeverría Echeverría. El trabajo del doctor Pedro Prieto Pulido se podrá consultar en la próxima edición de la revista, que circulará en septiembre.

De izquierda a derecha: doctores Pedro Nel Quiroga (moderador), Pedro Prieto Pulido, Nelly Cecilia Alba de Sánchez y Félix Echeverría Echeverría.



Materiales de ingeniería

Nelly Cecilia Alba de Sánchez

En el presente documento se realiza una breve descripción sobre el pasado, el presente y el futuro de los materiales de ingeniería, principalmente de los que tienen mayor uso en la industria. Se inicia con una descripción de las características, la importancia y el futuro de las aleaciones ferrosas, los aceros y las fundiciones. También se tratan las aleaciones no ferrosas, como cobres, latones y bronces. Se continúa con los materiales cerámicos, presentando la clasificación y las propiedades mecánicas de las cerámicas de ingeniería, preparación de algunas cerámicas y criterios de selección. Se describen los materiales poliméricos y se realiza una breve introducción sobre su estructura y su clasificación: los elastómeros y los termoplásticos. El documento finaliza con una semblanza sobre el futuro de los materiales compuestos.

INTRODUCCIÓN

El progreso de la humanidad se basa en un intenso desarrollo de la microelectrónica, la informática, la automatización y robotización de la producción, en el empleo de nuevos materiales y nuevas tecnologías, en la utilización de nuevos manantiales de energía; en el fomento de la biotecnología y en el intenso desarrollo y de utilización de los materiales de ingeniería. La tecnología requiere cada vez más materiales con diversas propiedades, bajo costo de producción y alta versatilidad para ser transformados en elementos estructurales en los procesos de fabricación.

El número de materiales disponibles se calcula entre 40.000 y 80.000. Anteriormente se hablaba de la era de los materiales, dependiendo del material más utilizado: la edad de piedra, la edad de bronce, etc. Hoy no podemos hablar de un material que distinga la época, sino de varios; estamos en la era de los nuevos materiales. La evolución técnica e industrial de los países desarrollados se ha dado gracias a que la industria encontró entre los materiales existentes las propiedades necesi-

sarias para resolver necesidades extremas.

La humanidad ha superado la etapa en la cual teníamos que aceptar la disposición de la naturaleza en los campos atómico y molecular. Ahora ésta puede ser modificada, reacomodada o “construida” a fin de obtener un material que se adecue a satisfacer las necesidades específicas que de él se requieran; tal es el caso de las mezclas poliméricas y aleaciones metálicas, los nuevos materiales cerámicos y el amplio mundo de los materiales compuestos. Antes de iniciarse la etapa del diseño de cualquier elemento de máquina, se debe tener en cuenta el material que se va a utilizar. Después se realizan los cálculos estructurales necesarios para que el diseño tenga éxito y cumpla los requerimientos de la solicitud.

Luego viene la etapa del proceso de los materiales: síntesis, elaboración, transformación y tratamiento. Todas estas etapas están relacionadas con los resultados que se obtendrán al caracterizar los materiales. En la figura 1 se observan las diferentes etapas del proceso de materiales.



Figura 1. Proceso de materiales. a) Síntesis, b) elaboración, c) transformación, d) tratamiento.

PhD. Directora del Grupo Ciencia e Ingeniería de Materiales, profesora del departamento de Ciencias Básicas de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Occidente.
nalba@uao.edu.co

En la figura 2 se observan los diferentes equipos que permiten caracterizar el material, el equipo de rayos x, para determinar si su estructura es cristalina o amorfa; el analizador de imágenes, para determinar las diferentes fases que están presentes en el material; el microscopio de fuerza atómica y el microscopio de barrido, para determinar la morfología del material y composición química. También se determinan las propiedades mecánicas, físicas y químicas. Utilizando la máquina universal de ensayos se puede determinar la resistencia del material al aplicarle cargas de tensión, compresión, flexión y cortadura.

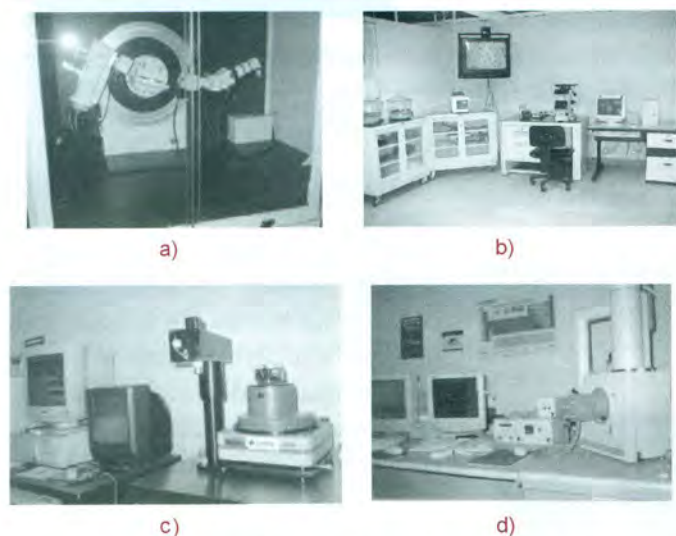


Figura 2. a) Rayos x, b) analizador de imágenes, c) microscopio de fuerza atómica, d) microscopio electrónico de barrido.

La utilización de los materiales es amplia y cubre las áreas de transporte, comunicación deporte, electricidad, espacio y medicina. Además, en la figura 3 se observa la utilización de los materiales en diferentes áreas de la industria.

Son varios los factores que han influido en el desarrollo de la industria de los países desarrollados, entre otros la necesidad de economizar energía, la urgencia de conservar el medio ambiente, la conveniencia de disminuir el consumo de materiales estratégicos y la necesidad de incrementar la competitividad en los mercados.

Se consideran materiales estratégicos aquellos que reúnen las características siguientes:

1. No se producen, o al menos, no se obtienen en cantidades suficientes.
2. Son esenciales para la producción industrial.

3. Tienen pocos o ningún otro sustituto, y su reciclaje es difícil.

4. La producción está concentrada en un número restringido de terceros países.

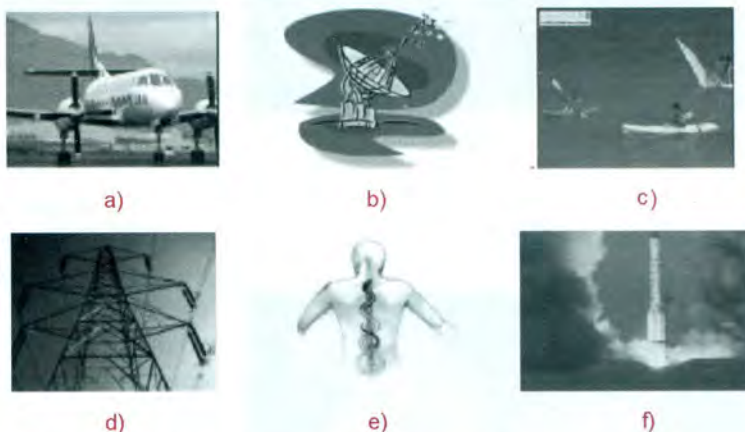


Figura 3. Materiales utilizados en diferentes áreas: a) transporte, b) comunicación, c) deporte, d) electricidad, e) medicina y f) espacio.

ALEACIONES METÁLICAS

Hasta los años 60 “materiales de ingeniería” era sinónimo de “metales”, pero desde esa época hasta nuestros días todo ha cambiado. La velocidad de desarrollo de las nuevas aleaciones metálicas es más bien baja, y la demanda de acero y de hierro fundido ha caído. Las industrias de polímeros y materiales compuestos crecen rápidamente, al igual que las proyecciones de desarrollo de las nuevas cerámicas.

El desarrollo de la ciencia y la tecnología de los materiales en las próximas décadas estará caracterizada por:

1. Se elevará la resistencia mecánica y las propiedades anticorrosivas de los aceros en condiciones extremas (altas temperaturas, presiones y medios altamente corrosivos), variando la microestructura con base en la sustitución de algunos elementos aleantes tradicionales y la disminución del tamaño de grano y tratamientos termomecánicos. La figura 4 presenta una pieza metálica atacada por la corrosión.

2. Se intensificará la fabricación y el uso de los aceros esferoidizados y colados en forma continua para la elaboración de elementos de máquinas. En la figura 5 se observan piezas elaboradas con acero esferoidizado.

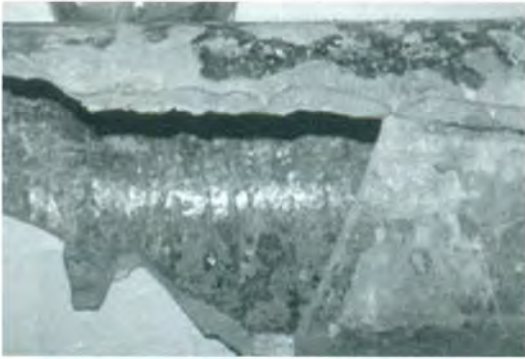


Figura 4. Corrosión de los metales.



Figura 6. Aleaciones ligeras para el uso de la aeronáutica.

6. En lo que se refiere a las perspectivas de desarrollo del conformado mecánico sin arranque de viruta, se prevé un repunte del estampado para confeccionar piezas de partes críticas, que reemplazarán a las forjadas y fundidas, las cuales tendrán menor peso y tamaño. En la figura 7 se observa una chapa metálica tratada con proceso de estampado.



Figura 7. Estampación de chapa metálica.

MATERIALES CERÁMICOS

En el futuro se dará mucha importancia al reciclaje de los materiales debido a que escasean en el mercado ciertos elementos químicos que cumplan un papel importante en las aleaciones. Se utilizarán materiales cerámicos en la fabricación de algunos tipos de elementos de máquinas debido a su menor peso específico y costo con respecto a los materiales metálicos. La figura 8

presenta diferentes piezas fabricadas en material cerámico.



Figura 8. Piezas fabricadas en cerámica.

Se están fabricando materiales compactos por proceso de sinterización; la materia prima son las cenizas de la combustión de carbón y las escorias de las acerías. En la figura 9 se observan algunos elementos obtenidos por sinterización de material cerámico. Estos materiales poseen alta resistencia mecánica, conjugada con alta tenacidad. Estas propiedades los hace aptos para la fabricación de diversas piezas industriales.



Figura 9. Producción de materiales cerámicos por sinterización.

También se están fabricando fibras de vidrio de 20 micrones de diámetro, utilizando residuos de vidrios de tu-



Figura 5. Producción de aceros esferoidales para fabricación de piezas.

3. Se espera un incremento notable del uso de metales y aleaciones ligeras, en especial aluminio y sus aleaciones (Al-Zn-Mg-Cu, Al-Zn-Mg) en la fabricación de elementos de máquinas, especialmente para la industria automotriz y aeronáutica. La figura 6 muestra la utilización de las aleaciones ligeras para la fabricación de aviones.

4. Se intensificará la investigación de las aleaciones superplásticas con una elevada resistencia a la corrosión.

5. Se ampliará y profundizará el conocimiento y la tecnología del tratamiento térmico de envejecimiento de las aleaciones ligeras.

bos de televisores con refuerzo de materiales cerámicos y polímeros, como se muestra en la figura 10.



Figura 10. Producción de materiales cerámicos por sinterización.

Se está incrementando la producción de material vitrocerámico, fabricado con polvos de filtros de incineradores de basura domiciliar. Este material presenta elevada dureza y, por tanto, alta resistencia al desgaste por abrasión, bajo coeficiente de dilatación térmica y alta resistencia al choque térmico. Se utiliza para la fabricación de componentes de máquinas, principalmente, las que trabajan a temperaturas hasta 500 °C.

MATERIALES POLIMÉRICOS

Antes de conocerse los polímeros, la naturaleza era la única fuente de materiales ligeros: madera, metales, caucho natural, etc., pero las propiedades de estos materiales no bastaban para solucionar los problemas. Entonces se inició la búsqueda de materiales que suplieran las necesidades existentes.

Los materiales poliméricos son en la actualidad de valor imprescindible en la vida cotidiana debido a su amplia variedad de usos en todos los ámbitos. Actualmente son materiales insustituibles en diversas aplicaciones. Los plásticos se caracterizan por una alta relación resistencia/densidad, propiedades excelentes para el aislamiento térmico y eléctrico, y una buena resistencia a los ácidos, álcalis y solventes. En la figura 11 se observa una pieza de automóvil que anteriormente se fabricaba en metal y ha sido reemplazada por material polimérico.

El desarrollo de estas sustancias se inició en 1860 cuando el fabricante estadounidense de bolas de billar Phelan and Collander ofreció una recompensa de 10.000 dólares a quien consiguiera un sustituto aceptable del marfil natural.

Una de las personas que optaron al premio fue el inventor estadounidense Wesley Hyatt, quien desarrolló un método de procesamiento a presión de la piroxilina, un nitrato de celulosa de baja nitración tratado previamente con alcanfor y una canti-



Figura 11. Bomper de carro fabricado en polímero.

dad mínima de alcohol. Si bien Hyatt no ganó el premio, su producto, patentado con el nombre de celuloide, se utilizó para fabricar diferentes objetos, desde placas dentales hasta cuellos de camisa. El celuloide tuvo notable éxito comercial a pesar de ser inflamable y deteriorarse al exponerlo a la luz.

Vemos como ha influenciado la ciencia y la ingeniería de los materiales en esta línea de los plásticos. Los tratamientos superficiales tenderán a ser reemplazados por los recubrimientos plásticos. Los procesos de endurecimiento más utilizados serán por láser, haz de electrones, por inducción en atmósferas controladas o al vacío.

Los plásticos de ingeniería están representados en la fila de los polímeros llamados semicristalinos. Debido a la cristalinidad presentan excelentes propiedades mecánicas al someterlos a esfuerzos de tracción, compresión, torsión o deformación bajo carga.



Figura 12. Diferentes piezas producidas en material polimérico.

Se denominan semicristalinos porque un plástico nunca logra formar todas sus cadenas moleculares en forma cristalina, ya que siempre van a quedar intercaladas con zonas amorfas. Éstas dan al material alta resistencia al impacto porque permiten deformarse con mayor facilidad que las zonas cristalinas. El grado de cristalinidad es variable, y depende del proceso de producción. Por ejemplo, para aumentar el grado de cristalinidad se realizan enfriamientos lentos.

Los polímeros pueden clasificarse:

- Según la respuesta mecánica que tengan.
- Por su comportamiento en función de la luz.
- Por su resistencia al calor (un gran limitante)
- Por su densidad o peso molecular.

En el campo industrial son muchos los materiales que han sido reemplazados por plásticos de ingeniería, ya que éstos poseen características sorprendentes. Además, su diseño cumple un papel importantísimo porque la comodidad y la flexibilidad que proporciona cualquier material, por pequeño que sea, es esencial cuando se trata de costos.

La elección adecuada de un plástico técnico es vital para la construcción de una pieza y para conseguir una duración

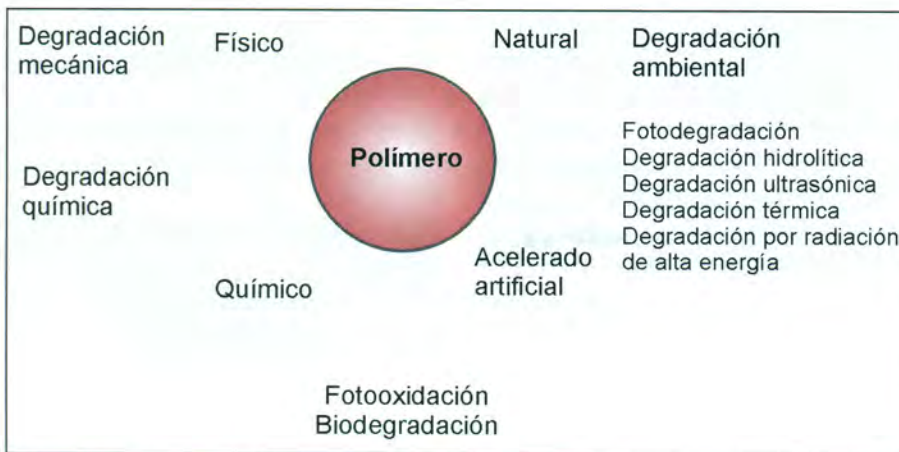


Figura 13. Diferentes tipos de degradación de los materiales poliméricos.

y un rendimiento extraordinario en comparación con el que se obtiene sin adecuar el producto a la aplicación. La industria ha intensificado el uso de materiales poliméricos en la fabricación de algunos tipos de elementos de máquinas debido a su menor peso específico y costo con respecto a los materiales metálicos.

Los tratamientos superficiales tenderán a ser reemplazados por los recubrimientos plásticos. Se crearán nuevos procesos de conformado para los materiales plásticos.

Tipos de degradación polimérica

Existen diversas maneras de clasificar los tipos de degradación de acuerdo con los factores que intervienen. En la figura 13 se presentan los tipos de degradaciones que sufren los polímeros.

Degradación ambiental. Se presenta cuando el polímero está sometido a la influencia de los elementos naturales, es decir, al ambiente.

Degradación acelerada. Ocurre al someter el polímero a condiciones climatológicas diferentes de aquellas en que fue diseñado. Esto repercute en su tiempo de vida útil.

Degradación física. En este proceso intervienen todos los fenómenos que interaccionan con los polímeros

sin modificar la estructura química de éstos.

Degradación química. Se presenta cuando existe modificación estructural del material polimérico expuesto a determinadas condiciones de luz, temperatura en presencia o ausencia de oxígeno, disolventes, diferentes tipos de radiación y diversos microorganismos.

Degradación térmica. Se origina por los efectos térmicos, y se caracteriza por la ruptura de enlaces químicos. Una vez que éstos empiezan a romperse, se crean cadenas reactivas y radicales libres.

Las piezas en compuestos poliméricos avanzados se diseñan y fabrican totalmente diferente de las de acero, ya que son más ligeras, rígidas y robustas, y además permiten el tren-

zado interior de fibras, formando una matriz-soporte plástica que distribuye uniformemente la tensión. Las fibras pueden ser seleccionadas y orientadas para conseguir las propiedades mecánicas requeridas. Con la fibra de carbono es posible conseguir una robustez similar a la del acero, pero con la mitad o una tercera parte del peso de éste.

MATERIALES COMPUESTOS

El mercado mundial de los materiales compuestos llamados “composites” crece desde 1994 en el 5,7% anual en cantidad. En el año 2000 se produjeron 7 millones de toneladas, correspondiendo más del 95% a compuestos de gran difusión. Esta producción podría alcanzar 10 millones de toneladas en 2006.

En conjunto puede afirmarse que actualmente se pueden diseñar y fabricar sistemas estructurales fiables y eficientes a base de materiales compuestos de matriz polimérica reforzada con fibras de diferentes tipos (carbono, vidrio, poliaramida, etc.), lográndose importantes mejoras operativas y, en muchas ocasiones, considerables ahorros económicos. Sin embargo, aún quedan problemas por resolver, ya que existen lagunas en la comprensión de ciertos aspectos del comportamiento de los materiales compuestos, fundamentalmente en áreas como mecanismos



Figura 14. Casco fabricado con materiales compuestos a base de matriz polimérica.

de fallo y predicción de resistencia, análisis de fallos en servicio, introducción de cargas concentradas, uniones, durabilidad, comportamiento a fatiga, tolerancia al daño, etc. En la figura 13 se observa un casco de protección para tanquistas AFV-73.

Estos problemas son muy manifiestos y se plantea la necesidad ineludible de encontrar soluciones en la industria aeroespacial, en la que la seguridad y la fiabilidad de la estructura han sido siempre temas de importancia capital y de preocupación básica. Las estructuras de las naves aeroespaciales se caracterizan porque deben tener elevada eficiencia estructural y cumplir exigentes requisitos de integridad estructural que deben validarse de acuerdo con una estricta normativa de certificación.

Desarrollar la estructura de una aeronave es, por tanto, un proceso complejo y laborioso debido, fundamentalmente, a los altos requisitos de seguridad exigidos. En consecuencia cada aspecto del comportamiento mecánico del material utilizado debe ensayarse y analizarse completamente. La fatiga y la resistencia residual son dos de los más importantes aspectos a considerar en la evaluación de la durabilidad y tolerancia al daño. Además, el desarrollo de nuevos aeroplanos está significativamente influido por el incentivo de reducir los costos operativos de la aeronave, lo que se logra reduciendo el peso estructural y las operaciones de mantenimiento, aspectos directamente relacionados con la "durabilidad" y la "tolerancia al daño".

Los requisitos de diseño tolerante al daño y ensayos asociados en materiales compuestos son considerablemente distintos del caso de aleaciones metálicas. En estas últimas, la tolerancia al daño se relaciona con la velocidad de propa-



Figura 15. Uso de los polímeros en el área aeroespacial.

gación de una grieta de determinado tamaño y localización (la tolerancia al daño suele entenderse como una medida de diseño de la velocidad de crecimiento de grieta, de modo que en estructuras diseñadas como "tolerantes al daño" no se permite el crecimiento de una grieta hasta un tamaño crítico durante la vida de funcionamiento operativo esperada), mientras que en los materiales compuestos usualmente significa la relación entre la resistencia al daño por impacto y requisitos de diseño.

En el caso de cazas, por ejemplo, los requisitos de tolerancia al daño para la estructura del ala en material com-

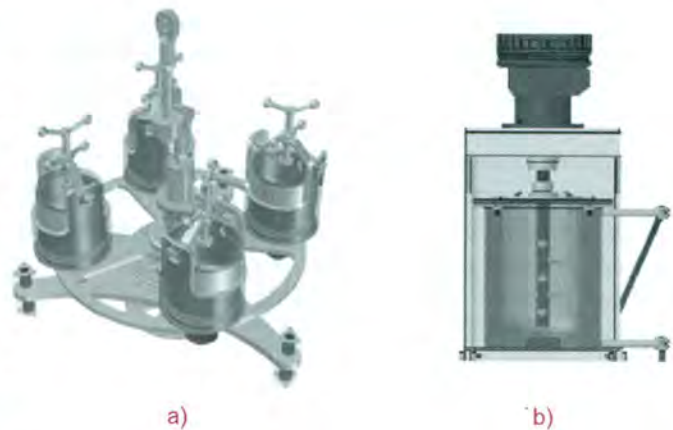


Figura 15. Equipos para obtención de materiales compuestos. a) Molino planetario, b) molino atritor.

puesto establecen dos condiciones: para impactos de baja energía, el daño provocado por un impacto de 7 J con un impactador de 127 mm no debe limitar (disminuir) ni la carga estática última de diseño ni los requisitos de durabilidad. En el caso de impactos de alta energía, tras el daño inducido por un impacto de 140 J con impactador de 254 mm, la estructura debe soportar la carga estática límite de diseño y mantener la integridad estructural (ser segura) durante 10 horas de vuelo antes de ser reparada. Las delaminaciones que pueden presentarse durante el servicio también se incluyen en los estudios de tolerancia al daño.

En nuestro grupo de investigación trabajamos en un proyecto financiado por Colciencias y liderado por tres universidades: diseño y fabricación de dos molinos de bolas, uno tipo planetario y otro tipo Atritor. Estos molinos permitirán producir materiales compuestos mediante la técnica de aleamiento mecánico.

En el caso de un automóvil surgen muchas preguntas referentes a su fabricación: ¿de qué materiales está hecho?, ¿qué materiales recubren el motor?, ¿qué sustancias recorren los conductos?, ¿qué elementos bombean el motor?, ¿cuántas piezas tiene el motor?, ¿cuántas piezas son de plástico?, ¿cuántas piezas son metálicas?, ¿cuántas piezas son de cerámica?, etc.

En la figura 16 se presenta el esquema de un automóvil moderno. Se indica el material en que están fabricadas algunas de las partes de éste. Los tratamientos térmicos se están sofisticando con el uso de microprocesadores que maximizan la eficiencia de los sistemas y controlan adecuadamente los procesos.

Se han creado y se continuarán creando nuevos métodos de análisis microscópico y macroscópico de estos ma-

teriales, así como nuevos procesos tecnológicos de conformación y tratamiento de los mismos. En los procesos de soldadura, el láser tendrá cada vez mayores aplicaciones, al igual que el ultrasonido para el control de calidad de la misma. Los procesos de endurecimiento más utilizados serán por láser, haz de electrones, por inducción en atmósferas controladas o al vacío.

Se hará más frecuente el uso de medios refrigerantes poliméricos y compuestos orgánicos solubles en agua. Se dará mucha importancia a la fabricación de alambres multifilamentarios y superconductores en base de vanadio y germanio.

La tecnología de soldadura incrementará los procesos automáticos y semiautomáticos. Se mejorará la composición de los electrodos no sólo para mejorar la calidad de la soldadura, sino para hacer cada vez menor su dependencia de las habilidades del operador. Se investigarán intensamente las propiedades de los materiales compuestos y se crearán nuevos procesos de conformado de los mismos.

Se incorporará cada vez con mayor intensidad la computación y la robótica en el análisis de los procesos internos de los materiales, así como en los procesos de conformado de los

mismos. Los aspectos más importantes que se deben tomar en cuenta en el futuro son la disponibilidad, la utilización y la preservación de los materiales. Un razonable abastecimiento y una buena cantidad de reserva de emergencia contrarrestará, de alguna manera, la deficiencia de los materiales.

Considerando que en el futuro próximo la población aumentará su confianza en la ciencia y la tecnología, se harán esfuerzos por mejorar la calidad del ambiente y, fundamentalmente, se volcará la atención en la calidad de vida. Se prevé un gran dinamismo en los modelos de producción y consumo.

CONCLUSIONES

Las industrias del sector metálico, plástico y cerámico deberán entrar en un proceso de transformación y reconversión hacia el uso de materiales compuestos si desean conservar sus espacios de mercado frente a los productos ofrecidos desde el exterior, facilitados por la inclusión del país en los bloques del comercio internacional.

Los nuevos materiales surgieron de la perspectiva del desarrollo de proyectos del espacio y de defensa militar. Sin embargo, actualmente ocupan un sec-

tor importante del mercado y van a cobrar mayor preponderancia al diversificar sus aplicaciones y ofrecer precios cada vez más competitivos frente a los materiales tradicionales.

Agradecimientos

A la Escuela Colombiana de Ingeniería por permitir mi participación en ECIciencia 2005 en la mesa redonda sobre Tendencias mundiales en ciencia y tecnología de materiales.

REFERENCIAS

1. Ondracek, G. & Gahlert, S. "Sintered Glass". En Lutze, W. & Ewings, R.C (eds.), *Radioactive Forms for the Future*, North Holland, Amsterdam, 161-168, 1998.
2. Sábato, J.A. *Visión. El pensamiento Latinoamericano en la problemática ciencia-tecnología-desarrollo-dependencia*. Buenos Aires, Paidós, 1975.
3. Jones, G. *Ciencia y tecnología en los países en desarrollo*. México, D.F., Fondo de Cultura Económica. 1973.
4. Bunge, M. *Ciencia y desarrollo*. Buenos Aires. Ediciones Siglo Veinte, 1984.
5. Conuep. Problemas universitarios. *Cuadernos de Análisis* 6, 1990.
6. Conuep. Evaluación de la situación actual y perspectivas para el corto y mediano plazos de las universidades y escuelas politécnicas. Quito. 1992.
7. Madroño, A. Tecnología e investigación en Materiales Compuestos. *Política Científica*. No. 33, 1992.
8. Boccaccini, A.R. & Ondracek, G. "On the Porosity Dependence of the Fracture Strength of Ceramics". En Durán, P. & Fernández, J.F. (eds.), *Third Euroceramics*, 3:885-900, 1993.
9. Bundesministerium Fur Umwelt, Naturschutz Und Reaktorsicherheit, 3. Allg. Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz, Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstiger Entsorgung von Siedlungsabfällen. TA Siedlungsabfall, Bonn, 1993.
10. Pedró, F. Tendencias de la educación europea. *Investigación y Ciencia*. Diciembre de 1992.
11. De Arcos, A. La magia de los nuevos materiales. *Muy Interesante*. Año 6. No. 67. p. 12, 1992.
12. Moreno, P. Relaciones de la Universidad con el sector productivo. *Informativo Politécnico*. (Febrero de 1993). Sparkes J. Calidad de la educación en ingeniería. *Informativo Politécnico*. Mayo de 1993.
13. Cárdenas, V. Breve de ciencia y la tecnología de los materiales en el Ecuador. EPN, 1993

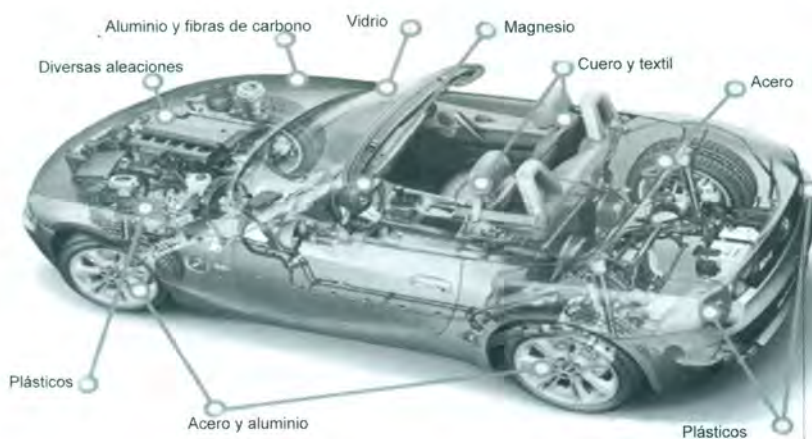


Figura 17. Materiales utilizados para la fabricación de algunas partes de automóviles.

Materiales y medio ambiente

Félix Echeverría Echeverría

La relación entre los materiales y el medio ambiente se ha venido considerando principalmente desde el punto de vista de la influencia negativa de los procesos de producción de los primeros sobre la calidad del segundo. Sin embargo, es importante considerar que desde tiempos antiguos el hombre ha venido luchando por evitar que los materiales que produce se deterioren y, por tanto, generen mayor degradación del ambiente; ya sea fabricando los materiales para reemplazar los deteriorados u obteniendo otros nuevos más resistentes. En esta lucha, uno de los problemas más importantes es que la falta de información lleva a que los responsables del uso de materiales promuevan (involuntariamente claro) su degradación. En este trabajo se dan los fundamentos de cómo el medio ambiente afecta los materiales, para hacer conscientes a los ingenieros (en general) de los posibles efectos de sus decisiones.

Palabras clave: degradación, deterioro, corrosión, control, fundamentos, materiales, ambiente

Coordinador del Grupo de Corrosión y Protección, y profesor de la Universidad de Antioquia.
felix.echeverria@siv.udea.edu.co

INTRODUCCIÓN

Las leyes naturales se imponen, no importa qué tan avanzado sea el mundo tecnológico de hoy en día. Un caso patético de esta premisa lo han venido experimentando ingenieros y profesionales de diferentes ramas, quienes tienen que ver con la fabricación, uso y administración de materiales y equipos. Vale la pena aclarar que para el caso a tratar acá, el término “medio ambiente” se refiere a todos aquellos medios en los cuales se deben desempeñar los materiales, lo cual no niega el hecho de que la mayor parte de las interacciones material-ambiente ocurre en el medio que nos rodea.

A pesar de la búsqueda de un mundo ideal en el cual los materiales permanezcan inmutables luego de la interacción de estos con los medios en los cuales se encuentran, hay varios aspectos que juegan en contra de un “éxito total” en este aspecto. A medida que se desarrollan nuevos materiales, aparecen nuevas aplicaciones que en muchos casos son más exigentes que las anteriores. En general son ingenieros los encargados de tomar decisiones en lo que se refiere a producción, aplicación y administración de materiales; sin embargo, muy pocos currículos incluyen de alguna manera formación acerca del manejo del tema de degradación, prevención y control de materiales. Este trabajo proporciona los conceptos fundamentales a este respecto, in-

cluyendo mecanismos, causas, morfologías de ataque y métodos de control y prevención. Se espera que estos conceptos sirvan de punto de partida y de toma de conciencia en el ejecutor o diseñador de un proyecto que involucra materiales, partes, equipos e infraestructura en general.

HECHOS BÁSICOS

Debemos iniciar por plantear dos aspectos. Primero, que existe un efecto de cualquier medio ambiente cuando se pone en contacto con un material dado. Este efecto en algunas ocasiones es imperceptible dado que la cinética del fenómeno es muy lenta o dado que la estabilidad termodinámica de los primeros productos de reacción hace que ésta prácticamente se detenga.

Segundo, la interacción de medio y material es considerada negativa y lleva a pérdida de material o de sus propiedades físicas, químicas o mecánicas. En el caso menos alarmante, aunque no menos costoso, se presenta un deterioro en la apariencia superficial del material. Algunas veces, principalmente con el aumento de la población y la sociedad de consumo, sería deseable que ciertos materiales fuesen fácilmente degradados por su interrelación con el medio, buscando disminuir la contaminación ambiental. En este caso la reacción es considerada positiva.

Las leyes naturales se imponen, no importa qué tan avanzado sea el mundo tecnológico de hoy en día.

Cuáles materiales son afectados

En la actualidad se pueden afectar materiales metálicos, cerámicos o poliméricos, y combinaciones de uno o más de estos que se denominan materiales compuestos. En la mayor parte de los casos se asocia el deterioro de materiales a los fenómenos registrados en materiales metálicos; sin embargo, dado el creciente uso de las otras familias, tanto en aplicaciones tecnológicas como del día a día, se ha podido ver que todos son susceptibles a degradación en ciertas condiciones. Así, mientras los metales son reactivos en soluciones acuosas, los materiales poliméricos lo son en condiciones de radiación intensa. Existen tablas donde se pueden encontrar las aplicaciones posibles para diferentes materiales, indicando condiciones generales y grado de reactividad esperado. Sin embargo, esto se debe tomar sólo como guías iniciales en la selección del material más apropiado para una aplicación específica.



Por qué se degradan los materiales

La degradación de los materiales obedece leyes naturales de termodinámica. Así, podemos plantear un ciclo de vida de los materiales. Inicialmente se extraen las materias primas y se someten a un proceso de obtención y conformación para llegar a tener las partes, equipos o infraestructura deseada que, posteriormente por su interrelación con el medio, tienden a transformarse en productos muy similares a las materias primas iniciales¹. La velocidad de dicho deterioro varía para los diferentes sistemas².

MECANISMOS DE DETERIORO

La degradación puede ocurrir de tres maneras: reacciones químicas, electroquímicas y efectos mecánicos.

- **Reacciones químicas.** En este primer caso existe un grupo de reactantes que interactúan y dan como resultado unos productos diferentes, en alguna medida, de los materiales de entrada.

- **Reacciones electroquímicas^{2,3}.** Una situación similar a la anterior se tiene en el caso de la reacción electroquímica; sin embargo, en ésta la reacción química viene

acompañada de un intercambio de electrones, y existe una corriente eléctrica que circula entre una parte y otra del material, denominadas ánodo y cátodo. El ánodo será la sección deteriorada, mientras el cátodo permanece sin modificación. Sin embargo, esto es un proceso dinámico; por tanto, un área anódica se puede convertir en catódica, y viceversa.

- **Efectos mecánicos^{1,4}.** El deterioro puramente mecánico incluye fricción y erosión, principalmente. Más adelante se verá qué

combinaciones de efectos mecánicos en tensión con reacciones electroquímicas pueden acelerar el ataque de un material.

TIPOS DE ATAQUE

Se pueden men-

cionar los siguientes^{1,4}:

- **Uniforme.** Como su nombre lo indica, la superficie es afectada uniformemente por un efecto dinámico de intercambio de zonas anódicas y catódicas. Es considerado el menos grave desde el punto de vista de reducción de propiedades mecánicas, pero sus costos asociados son elevados.

- **Localizado.** En este tipo las zonas anódicas son fácilmente diferenciables y, en general, mucho menores en área que las catódicas, lo cual origina velocidades de ataque altas y fallas potencialmente catastróficas. Es difícil de detectar y entre sus variedades se encuentra el tipo picado y el tipo rendija. Se halla asociado a fallas en diseño y a materiales con capas pasivas en su superficie.

- **Galvánico.** La unión eléctrica de dos materiales suficientemente disímiles en actividad en un medio dado, genera la formación de una celda ánodo-cátodo, donde el material anódico experimenta un ataque acelerado a expensas de la protección del catódico. Esta falla se asocia a diseño o labores posteriores de mantenimiento.

- **Efectos mecánicos.** Se conocen tres modos principales: erosión, fricción y cavitación. La erosión ocurre en superficies expuestas a fluidos en movimiento, los cuales transportan partículas sólidas que impactan un área determinada acelerando y concentrando su ataque. La fricción ocurre entre dos partes sólidas que tienen movimiento re-

La degradación puede ocurrir de tres maneras: reacciones químicas, electroquímicas y efectos mecánicos.



Cuatro de los ambientes en los que se presenta deterioro de materiales: a) atmósfera, b) concreto reforzado, c) microorganismos, d) suelo y agua.

lativo entre ellas y en presencia de un medio agresivo; como resultado de esta acción se remueven capas pasivas y se incrementa la velocidad de deterioro. La cavitación, como la fricción, está asociada a fluidos en movimiento, pero esta vez el ataque se da por la explosión de burbujas de aire formadas por cambios bruscos de presión. Al igual que en los casos anteriores, el ataque de la superficie afectada se acelera.

• **Microestructural.** Son fenómenos que resultan principalmente del ataque selectivo de ciertos constituyentes microestructurales de un material (desaleación), de los límites de grano (ataque intergranular) o de planos preferenciales originados durante la fabricación del material (delaminación).

• **Bajo esfuerzo.** Ciertas combinaciones de material, medio y magnitud de esfuerzo generan un incremento importante en la velocidad de deterioro de un material, que muchas veces fallan de manera súbita. Los tipos de ataque se denominan dependiendo de su naturaleza, corrosión bajo esfuerzo, "creep" o corrosión fatiga.

En la figura 1 se pueden observar fotografías de cuatro de las más comunes formas de corrosión.

• **Suelo**⁶. Reviste especial importancia dadas las grandes inversiones en infraestructura enterrada de las sociedades modernas. Los costos de instalación y mantenimiento son altos debido a las obras civiles conexas y, por supuesto, a la infraestructura misma. Las variables (del suelo) principales en este caso son humectación, aireación, pH, resistividad, especies agresivas y microorganismos.

• **Marino**⁷. Es el medio más agresivo que se debe enfrentar en la parte atmosférica y en la líquida. La presencia de sales como el cloruro es un reto para los profesionales encargados de la protección de infraestructura fija o móvil expuesta en zonas costeras y mar adentro (embarcaciones, plataformas, comunicaciones, etc.). Este medio se caracteriza por la alta conductividad, presencia de cloruros, mayor solubilidad de oxígeno y alta actividad biológica.

• **Concreto reforzado**^{8,9}. En este aspecto se debe considerar que todo el sistema es susceptible a diversos ataques, pero con la misma consecuencia: la pérdida de propiedades mecánicas del material compuesto. El deterioro del refuerzo metálico lleva a la falla del componente cerámico, y viceversa. Las variables más importantes son dosificación, compactación, homogeneidad y espesor de la mezcla cementicia.

• **Agua**^{7,8,10}. Teniendo en cuenta la importancia

para la supervivencia de los seres vivos, este medio, su tratamiento y el transporte se convierten en prioridad para cualquier sociedad actual. Son muchos los problemas asociados al deterioro de la infraestructura relacionada con agua natural o potable, entre estos están corrosión uniforme, por picado y rendija; cavitación; erosión microbiológica y galvánica; y tuberculación de ductos.

• **Microbiológico**¹¹. Organismos como bacterias, hongos, algas y protozoos son capaces de establecer colonias sobre todo tipo de materiales en diversas condiciones ambientales, incluidas las aeróbicas y las anaeróbicas. En muchos casos una o más de las etapas del proceso metabólico de estos organismos incluyen la producción de agentes agresivos. Indirectamente, estos depósitos también generan condiciones agresivas al material, originando problemas como ataque localizado por picado, tuberculación o deterioro de la apariencia de las superficies, entre otros.

• **Alta temperatura**^{1,6,12}. Las reacciones químicas y electroquímicas son más rápidas si se producen a elevada temperatura del medio. Muchas de las reacciones que deterioran los materiales son químicas, y los medios encon-



Figura 1. Cuatro de las principales formas de corrosión: a) uniforme, b) localizada, c) galvánica, d) efecto de fricción¹⁸.

trados, además de gases y vapores calientes, incluyen sólidos fundidos (cenizas, escorias, sales y metales fundidos). En muchos casos la reacción de deterioro a altas temperaturas oxida el material. Existen otras posibles reacciones, como sulfurización, carburización y combinación. Entre los sectores afectados se pueden mencionar: generación de energía, procesamiento químico, industria del transporte, procesamiento de metales, minerales y desechos.

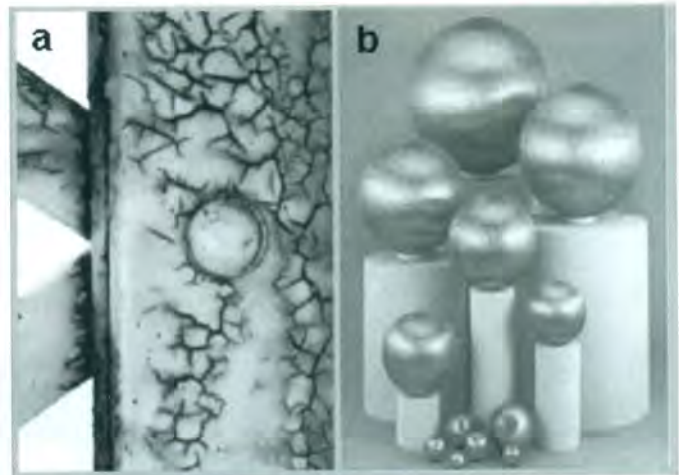
SECTORES AFECTADOS

Como puede deducir el lector, casi todos los materiales y las aplicaciones pueden ser afectados por problemas de deterioro. Estos problemas son valorados no sólo por la pérdida misma ocasionada en el material, sino también por los costos indirectos generados por paradas en los procesos, pérdida de productos, riesgos para la salud y la vida humana. Así mismo, los daños por corrosión totalmente despreciables en un caso pueden convertirse en motivo de falla total en otros. Por ejemplo, plantas industriales, infraestructura de transmisión de energía, de comunicaciones, de agua potable y de generación de energía, transporte, patrimonio cultural, etc.

PREVENCIÓN Y CONTROL

- **Recubrimientos orgánicos**¹³⁻¹⁵. Están compuestos básicamente por una resina soporte, un material particulado que actúa como pigmento y un solvente. En general los sistemas de protección están compuestos por una primera capa de imprimante (adherencia), una pintura intermedia (barrera) y una capa final de pintura de acabado (apariencia). El procedimiento para emplear un sistema de protección orgánico implica en su orden, la selección del sistema, la preparación de la superficie y la aplicación. Además de los sistemas de pintura, los recubrimientos orgánicos comprenden cintas adhesivas y recubrimientos de gran espesor.

- **Recubrimientos metálicos e inorgánicos**¹³⁻¹⁵. Entre los procedimientos para generar películas protectoras de este tipo están: electrolítico (aplicación de corriente eléctrica en un líquido conductor), "electroless" (inmersión de la superficie en un medio activo sin presencia de corriente eléctrica), revestimiento (aplicación de capas delgadas sobre la superficie), galvanizado (recubrimiento de zinc) y vía termal (aplicación de una película fundida). Algunos procesos de for-



Dos métodos de protección de superficies: a) recubrimientos orgánicos, b) recubrimientos inorgánicos.

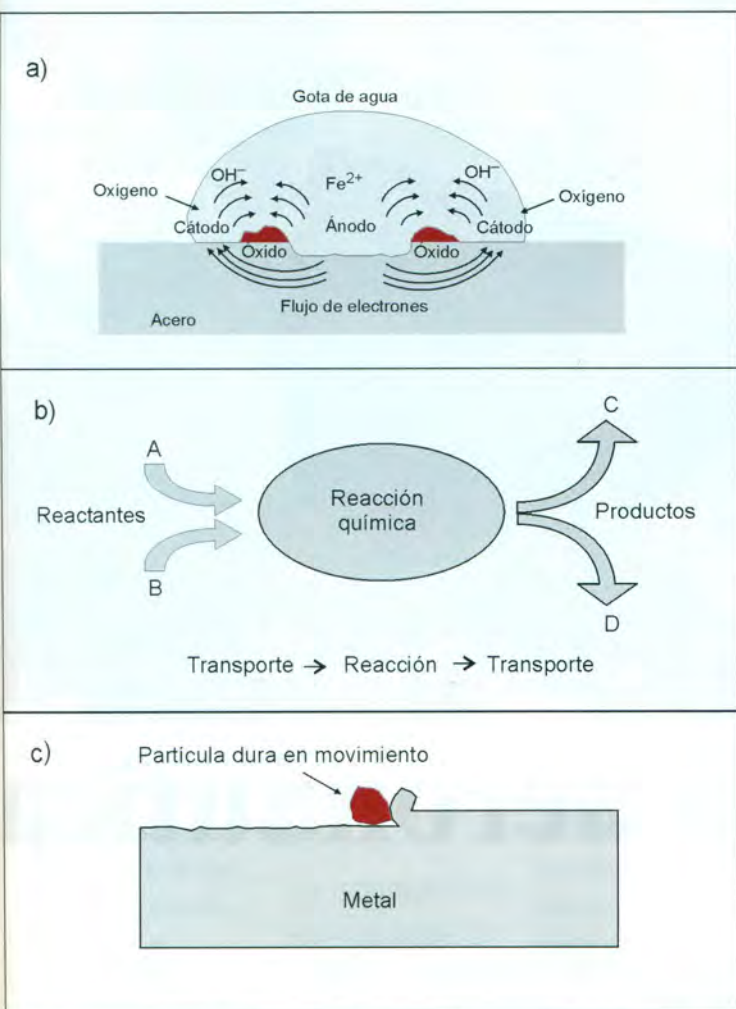
mación de recubrimientos inorgánicos protectores son cementación (proceso termoquímico de difusión), anodizado (óxido de aluminio), cromado (películas de cromo), fosfatado (películas de fósforo) y nitrurado (películas de compuestos de nitrógeno).

- **Inhibidores**¹⁶. Son aditivos en fase líquida o gaseosa que se adicionan al medio para proteger la superficie, principalmente mediante uno de los siguientes mecanismos: reducción de la difusión de especies agresivas, polarización de la superficie, aumento de la resistencia eléctrica de la superficie. Según su naturaleza y el mecanismo de protección se conocen diferentes tipos de inhibidores: pasivantes, catódicos, orgánicos, de precipitación y volátiles.

SELECCIÓN Y DISEÑO DE MATERIALES Y EQUIPOS¹⁷

Esta es una de las principales formas de prevenir y resolver problemas de deterioro de materiales. Un inadecuado diseño genera o incrementa las condiciones de agresividad del medio o la susceptibilidad de los materiales. Primero hay que revisar los requerimientos o las condiciones en las cuales se desempeña el material para, con base en esta información, seleccionar integralmente uno que cumpla la función que se requiere y que sea resistente al medio en el que se encuentra. En esta etapa es posible que se llegue a la conclusión de que no existe un material apropiado en el mercado para la aplicación requerida y, por tanto, se necesita desarrollarlo o adaptarlo (aplicación de tratamientos). Una vez seleccionado el material y elaborado el diseño de la pieza o

Los daños por corrosión totalmente despreciables en un caso pueden convertirse en motivo de falla total en otros.



Tres mecanismos de deterioro de materiales: a) electroquímico, b) químico, c) con efectos mecánicos.

tado en alguna medida por el medio circundante y se informen adecuadamente antes de proceder con compras, diseños y construcciones.

• La prevención es la estrategia más efectiva para evitar y controlar los daños en materiales, debidos a su interacción con el medio. Las fases de selección de materiales y diseño de partes, equipos e infraestructura, son determinantes en el futuro desempeño y la vida útil de los bienes.

BIBLIOGRAFÍA

1. Jones, D. A. *Principles and Prevention of Corrosion*. 2nd edition. Prentice-Hall, 1996.
2. Pourbaix, M., *Lectures on Electrochemical Corrosion*, New York, Plenum Press, 1973.
3. Marcus, P. *Corrosion Mechanisms in Theory and Practice*. Second Edition. New York. Marcel Dekker Inc., 2002.
4. Trethaway, K.R. and Chamberlain, J. *Corrosion for Science and Engineering*. 2nd edition. Longman, 1995.
5. Ailor, W. H. *Atmospheric Corrosion*, New York. John Wiley & Sons, 1982.
6. Brasunas, A., et al., *Nace Basic Corrosion Course*. National Association of Corrosion Engineers. Houston, 1970.
7. Uling, H.H. *Corrosion and Corrosion Control. An Introduction to Corrosion Science and Engineering*. New York. Second Edition, John Wiley & Sons, 1963.
8. Scully, J.C. *The fundamentals of Corrosion*. Oxford. Third Edition, Pergamon Press, 1990.
9. Vila, G. *Corrosion y control de corrosión*. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, 1990.
10. Schreir, L.L., Jarman R. A., Burstein G. T. *Corrosión*. Vol. 1. Metal/Environment Reactions. Third Edition, Butterworth Heinemann, 1994.
11. Chantreau, J. *Corrosión bacteriana*. México. Limusa. 1985.
12. Fontana, M.G. Greene N. D., *Corrosion Engineering*, Tokyo. Second Edition, McGraw Hill, 1978.
13. Feliu, S., Andrade M.C. *Corrosión y protección metálicas*. Madrid. Vol. II, C.S.I.C. 1991.
14. Van Drosselaar H., Atkinson J. T. N. *Corrosion and its Control. An introduction to the subject*. Houston. NACE International. 1995.
15. Furtado P. *Introdução à corrosão e proteção das superfícies metálicas*. Belho Horizonte. Universidade Federal de Minas Gerais, 1981.
16. Kuznetsov Y. I. *Organic Inhibitors of Corrosion Metals*. New York. Plenum Press, 1996.
17. Charles, J.A., Crane, F.A.A. and Furness, J.A.G. *Selection and Use of Engineering Materials*. Oxford. 3rd Edition, Butterworth Heinemann, 1997.
18. Doring E. D. D. *Corrosion Atlas*. Third Edition. Amsterdam. Elsevier, 1997

equipo, se deben hacer evaluaciones a escala piloto, de ser posible, antes de establecer el diseño definitivo. Cuando se trata de solución de problemas de equipos o materiales en servicio, se tiene menos flexibilidad en el rediseño, y la solución debe tener en cuenta el tiempo y la facilidad del procedimiento de reparación mismo.

CONSIDERACIONES FINALES

• Los profesionales de la ingeniería tienen responsabilidad directa en la durabilidad de los materiales sobre los cuales toman decisiones, por lo cual es muy importante que sean conscientes de que todo material es afectado

La prevención es la estrategia más efectiva para evitar y controlar los daños en materiales debidos a su interacción con el medio.



Un buen futuro para Latinoamérica en materia aeronáutica



Enrique Calcagni Marajev

Inició su carrera en 1982 cuando ingresó al Centro de Investigaciones Espaciales, adonde remitían a los estudiantes con más altos promedios. Comenzó haciendo aerodinámica de cohetes de distintos tipos, en especial de aire y tierra. En 1991, después de la guerra del Golfo, Argentina debió cerrar sus proyectos de investigación espacial en cuanto a vehículos lanzadores, no en lo referente a la construcción de satélites. Entonces surgió la idea de hacer un satélite, aunque con un presupuesto bajo en comparación con los costos que se manejaban en la época. Fue así como se construyó el primer satélite argentino, cuya inversión —incluido el lanzamiento— ascendió a un millón doscientos mil dólares.

El ingeniero Enrique Calcagni estuvo en la Escuela como profesor invitado y tuvo a su cargo la realización del curso Principios físicos de la aerodinámica, que forma parte del diplomado Fundamentos de Diseño de Estructuras Aerodinámicas, ofrecido por la Escuela para oficiales de la Fuerza Aérea Colombiana.

Es ingeniero mecánico aeronáutico de la Universidad Nacional de Córdoba (Argentina). Trabajó en el Instituto de Investigaciones Aeronáuticas y Espaciales de 1982 a 1991, año en que se vinculó al Centro de Investigaciones Aplicadas del Instituto Universitario

Aeronáutico en el área espacial, más específicamente en cálculo orbital. Miembro del grupo ganador del anteproyecto de un motoplano, organizado por la Dirección Nacional de Aeronavegabilidad de Argentina. Profesor universitario, conferencista internacional y autor de diversas publicaciones relacionadas con la aerodinámica. Ha recibido varias distinciones por su participación en el desarrollo, la construcción y la puesta en órbita del microsátélite mSat (Victor). El ingeniero Calcagni habló para la *Revista de la Escuela* sobre la situación general del sector aeronáutico en Latinoamérica.

El lanzador fue provisto por Rusia e iba con otros tres satélites, mucho más grandes que el nuestro —comenta el ingeniero Calcagni—. El proyecto tomó tres años desde que surgió la idea hasta la puesta en órbita. Lo importante de nuestro logro fue que con elementos e instrumentos no aptos para ambiente espacial pusimos en órbita el satélite, es decir espacializamos elementos comerciales. Esto es relevante, sobre todo si se toma en cuenta que el instrumental espacial es mucho más costoso que el comercial. Fue el primer satélite construido y ensayado íntegramente en Argentina. Cuando digo íntegramente me

refiero a que hicimos todo: los paneles solares, el sistema de separación y el instrumental interior.

¿Cuál fue su participación específica en ese proyecto?

Mi tarea principal era el control y la predicción de la órbita, con todo lo que ello implica; la determinación de la posición en cada instante y, además, la realización de diseños mecánicos de componentes de instrumental electrónico, como los diseños de la caja electrónica y de la caja del transmisor de UHF, y la

ubicación de todos los elementos electrónicos dentro del espacio acordado en el prediseño.

¿Y ahora en qué proyecto están trabajando?

Actualmente estamos desarrollando dos proyectos de motores eléctricos para satélites. Uno es el motor de plasma, en el que el combustible es una barra de teflón que provee la masa iónica necesaria para la propulsión; el otro es mucho más complejo. Su principio de funcionamiento se basa en obtener movimiento de traslación sin consumo de ninguna masa, ya que, como se sabe, un motor eléctrico

genera movimiento de rotación, y con ese principio no se puede viajar en el espacio.

Este último proyecto se basa en una teoría aún no corroborada, pues unos estudios dicen que el principio se cumple y otros que no, así que si este motor funciona, será un gran logro en cuanto a

propulsión.

¿Lo están haciendo sólo ustedes o se está trabajando en lo mismo en otras partes del mundo?

Sí, sólo nosotros, sin ayuda de nadie. Nos financiamos con



En 1987 Enrique Calcagni participó en la "construcción" de este cohete.

subsidios a la investigación. En Estados Unidos dos grupos comenzaron a trabajar en el mismo tema, pero según tengo entendido van un poco atrasados con respecto a nosotros, aunque no será por mucho tiempo porque, como usted sabe, ellos pueden invertir mucho más dinero que nosotros.

DOCENCIA E INVESTIGACIÓN

¿Cómo se vinculó usted a la docencia?

Empecé guiando a jóvenes estudiantes que estaban próximos a recibir su título de ingenieros en áreas como la aerodinámica y la mecánica orbital celeste. Actualmente estoy guiando a una estudiante de la Fuerza Aérea de Francia que realiza su trabajo final aquí.

¿En qué consiste el trabajo de ella?

Está haciendo una pasantía en aeronáutica y eligió realizar su trabajo final aquí porque —según dice— el nivel es muy bueno. Su

proyecto consiste en el cálculo aerodinámico y de mecánica de vuelo de un proyectil aire-tierra.

De acuerdo con su experiencia profesional y docente, ¿qué diagnóstico puede hacer de la situación actual de Latinoamérica en cuanto a los avances en diseño y desarrollo de nuevas tecnologías en el campo de la aeronáutica?

Soy optimista en líneas generales con respecto a América Latina. Especialmente en mi país se están dando algunos grupos económicos que, si invierten en tecnologías de avanzada, pueden tener un retorno económico muy importante. Por algo los países más ricos invierten tanto en investigación y nuevas tecnologías. No fue por casualidad que llegaron a ser ricos o a mejorar sus estándares de vida. Creo que Brasil y Argentina se están dando cuenta de ello. Ahora, hay que tener en cuenta que invertir en investigación y



Calcagni con otro colega junto al *moon rover* que puso la Nasa en la Luna.

nuevas tecnologías es invertir en educación, que es la base de lo anterior. Le doy un dato concreto y contundente: 1 kg de material espacial cuesta veinte mil dólares, con todo lo que ello implica en lo concerniente a mano de obra asociada (muchos gente trabajan en eso). En cambio 1 kg de maíz cuesta solamente centavos de dólar y son muy pocos los que trabajaron en obtenerlo. En el medio están todas las demás industrias.

En el campo específico de la aeronáutica, ¿en qué situación se encuentran los países latinoamericanos con respecto a los desarrollados en materia de investigación y desarrollo tecnológico?

Latinoamérica todavía está lejos de los países desarrollados, excepto Brasil, que está un poco más cerca de

ellos en algunos aspectos de la aeronáutica, ya que su empresa compite por el tercer lugar en el mundo en venta de aeronaves.

En el caso concreto de Colombia, he notado que la semilla de la investigación aeronáutica y espacial está germinando porque en un congreso aeroespacial me encontré con varios colombianos que hablaron de su proyecto espacial. Están visitando colegios, lo cual me parece muy bueno porque si se instruye a los jóvenes y se cautiva su interés, dentro de aproximadamente ocho años tendrían profesionales dedicados a esa área.

¿Y en innovación?

En lo que hace a innovación yo diría que no. Aún no se ha innovado en nada, excepto nosotros—sin afán de

vanagloriarnos— en el ambiente espacial. En Argentina, por allá en los años cuarenta y cincuenta, gracias a ingenieros alemanes, estuvimos en la punta de la aeronáutica mundial porque hicimos el Pulqui II y el Pulqui I, que junto con el Sabre, de los Estados Unidos, y el Mig ruso eran los aviones más avanzados del mundo. También hicimos las alas volantes, superavanzadas para la época. Lamentablemente, con el cambio de gobierno, la política aeronáutica ya no tuvo la misma importancia y comenzamos a rezagarnos.

¿Se está trabajando a la par en la aeronáutica civil y en la militar o hay mayor desarrollo en alguna de éstas?

Eso varía en cada país. Por ejemplo, en Argentina la parte

privada trabaja ahora más que la militar, al igual que en Brasil. En cambio en Chile la parte militar tiene claramente más desarrollo que la civil.

En el caso de Argentina, ¿por qué hay mayor desarrollo en la privada que en la militar?

Porque el Estado se endeudó enormemente en los últimos quince años. Tenemos una deuda externa grande y los recursos se destinan a otras áreas más urgentes. En cambio, la parte privada es distinta; no está sujeta a esos condicionamientos.

De acuerdo con lo que ha podido conocer y experimentar, ¿qué se está haciendo en las universidades de América Latina para fortalecer o desarrollar la investigación en materia aeronáutica?

Lo que se está haciendo en las universidades también está sujeto, en parte, a los presupuestos nacionales. La investigación aeronáutica es más costosa que la de otras áreas de la ingeniería. Por tanto, son pocas las universidades que invierten en investigación. En el caso concreto de la universidad donde trabajo, ésta se hace a través de subsidios nacionales e internacionales.

Mundialmente se está incentivando el uso de las nuevas tecnologías de información y comunicación en el campo educativo. ¿Cómo considera usted que

contribuyen las NTIC a la formación de profesionales de la aeronáutica, especialmente en los campos de la investigación y el desarrollo tecnológico?

La contribución es enorme. Internet facilita en grado sumo obtener información y comunicarse con los centros de educación e investigación en muy poco tiempo. Por ejemplo, un plano realizado en Francia se envía a Alemania en un instante para que se construya la pieza. Un programa de manejo de una máquina de control numérico puede ser hecho en un lugar y cargado en una máquina a miles de kilómetros en unos pocos minutos. En Argentina se están haciendo planos de utillajes para la Airbus que se envían a España.

LA SEGURIDAD AERONÁUTICA EN LATINOAMÉRICA

Un informe de la Federal Aviation Administration en cuanto a evaluación de la seguridad, establece unas categorías para cada país, de acuerdo con el grado de cumplimiento de los estándares definidos por la Organización Internacional de Aviación Civil. En la lista, Argentina figura en la categoría dos (lo cual significa que no cumple dichos estándares).

¿Por qué ocurre esto si Argentina ha dedicado grandes esfuerzos e inversiones al área aeronáutica?

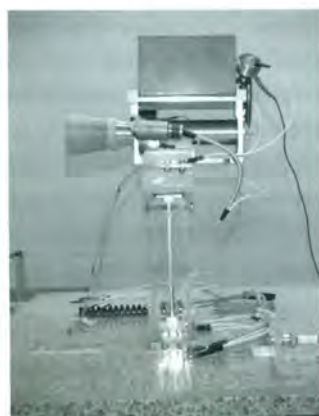
Si bien Argentina invirtió mucho en aeronáutica, lo hizo sobre todo en las áreas de ingeniería e investigación. Descuidó esos otros temas debido a los recursos económicos. Además, el área de seguridad aeronáutica está en manos de militares, y creo que en muchos países está en manos de civiles. Actualmente en mi país se está hablando de que el organismo controlador de la seguridad pasaría al entorno civil.

Pero ¿no han previsto una solución en un plazo más corto?

No. ¿Por qué no se hace más rápido? Debe ser por razones de intereses sectoriales.

¿Contamos en América Latina con personal idóneo para las labores de inspección de aeronaves y entrenamiento del personal a cargo?

Sí, América Latina lo tiene, sólo que debería reorganizar los organismos de control.



Motor de plasma desarrollado en Argentina.

¿Por qué?

En algunos casos los empleados son idóneos y capacitados, pero el personal jerárquico ha sido puesto por razones políticas u otros motivos. Si esos directivos no hicieron la carrera en el organismo de control, no saben impartir las órdenes necesarias. Recuerde que estamos en una industria de alta tecnología: se juegan vidas. Tampoco saben si es necesario perfeccionar al personal ni en qué áreas; a veces no conocen los procedimientos de control de calidad que se aplican.

Esa reorganización se ve difícil porque si hay muchos intereses involucrados...

Sí, así es, pero poco a poco llegan los cambios más que todo obligados por los hechos concretos. Se empieza a pensar por qué en tanto tiempo no ha habido mejoría, y entonces aparecen los puntos débiles.

¿Qué formación deben tener los expertos para el control y la inspección en materia de seguridad aérea?

Deben ser ingenieros aeronáuticos; en muchos casos son ingenieros que han trabajado en la industria aeronáutica y finalmente pasan a dichos organismos de control, quizás por razones económicas. No hay una academia en sentido estricto, pero se han ido formando durante el ejercicio de su

profesión y al llegar a dichos puestos sólo les queda estudiar muy bien las normas de seguridad.

HACIA EL FUTURO

¿Se está invirtiendo en América Latina para mejorar en el campo aeronáutico? ¿En qué áreas?

Últimamente se invierte más en el área civil, ya que el retorno económico es superior. Hay una mayor inversión en áreas de mantenimiento de aeronaves tanto civiles como militares, aunque la empresa que realice el mantenimiento sea civil. Además, la mano de obra de Latinoamérica es bastante más barata. También en el transporte civil de mediano alcance se hacen esfuerzos para competir en ventas contra otros países desarrollados.

¿Cómo ve usted el futuro de la investigación y el desarrollo tecnológico latinoamericano en el campo de la aeronáutica?

Lo veo bien. Los países se dan cuenta de que es un transporte multiplicador de recursos, y también que es necesario hacer investigación propia hasta donde se pueda ya que los pagos por *royalties* son altos. Más concretamente veo que Colombia está bien encaminada, noto un interés profundo en comenzar una industria de alta tecnología. Igual lo veo en otros países

La observación virtual del universo

Desde que Galileo Galilei dirigió su telescopio hacia los astros y descubrió que la Luna no era un disco sino un cuerpo esférico con relieve similar al terrestre y que Júpiter tenía también lunas que giraban alrededor del planeta, la investigación de nuestro sistema solar está en el punto en el cual la observación planetaria se hace desde las sondas y vehículos espaciales que han llegado a todos los planteas del sistema. Hoy día la observación planetaria se dirige hacia sistemas solares diferentes al nuestro, hacia otras estrellas en la inmensidad de la galaxia, donde se espera que haya planetas parecidos a la Tierra con condiciones propicias para el desarrollo de la vida.

Los primeros indicios de la existencia de otros sistemas planetarios proviene de la delicada y muy difícil medición de las perturbaciones gravitatorias de una estrella causadas por un cuerpo masivo y opaco cercano a ella. Se supone que este cuerpo debe ser un planeta cuyas dimensiones son capaces de ejercer una influencia apreciable sobre la estrella, pero con masa insuficiente para generar una nueva estrella, algo similar al caso del Sol y el planeta Júpiter en nuestro sistema solar. La observación óptica como tal es imposible y se hace por métodos indirectos que estudian la disminución del brillo o magnitud estelar cuando el cuerpo opaco se ubica entre la estrella y el observador. Por otra parte, si se quiere detectar planetas similares a la Tierra, la dificultad es mayor aún por el tamaño diminuto del planeta con relación a la estrella. Es como pretender observar una bacteria que se encuentra a un centímetro de una lámpara de 10000 vatios, situada a 1000 kilómetros de distancia del observador.

La posibilidad de enviar sondas o viajar más allá de nuestro sistema solar está fuera de todo debate en nuestra civilización; el sistema solar más cercano que encontraríamos está en la estrella Próxima Centauri a una distancia de 4.22 años luz. Llegar hasta allí con la tecnología actual ¡tomaría 18.000 años!

(la civilización sobre nuestro planeta tiene sólo 7000 años de existencia). Es necesario entonces desarrollar nuevas tecnologías de observación, capaces de discriminar detalles con tamaños inferiores a 1000 kilómetros y ubicados a las enormes distancias que nos separan de nuestros vecinos galácticos. Serán viajes virtuales y los vehículos serán redes de telescopios ópticos que funcionan por interferometría. Veamos esto con más detalle. Un telescopio es un instrumento que cumple dos funciones: a) recoger la mayor cantidad posible de luz y concentrarla en un solo punto para observar la imagen y b) poder de resolución angular, es decir la capacidad de separar entre sí los detalles de la imagen. El aumento que logra un telescopio depende de la cantidad de luz que pueda recoger y la capacidad de resolución angular se logra mediante pares de telescopios que calibran las diferentes longitudes onda de la luz; así se logra una mayor resolución. Para recoger gran cantidad de luz se usan espejos parabólicos de gran diámetro o bien lentes también de gran diámetro y distancia focal. Las observaciones de Galileo en el siglo XVII se hicieron con un telescopio que tenía una lente objetivo de 120 centímetros de distancia focal y un diámetro de 80 centímetros. Las observaciones de Newton se hicieron con un telescopio reflector cuyo espejo no tendría más de 15 centímetros de diámetro.

Desde entonces, la observación se ha basado en estos principios ópticos y el desarrollo tecnológico ha traído avances extraordinarios: lentes hasta de un metro de diámetro como el del telescopio *Yerkes* de la universidad de Chicago o espejos hasta de 8 metros de diámetro como el que se construye actualmente en el laboratorio de óptica de la Universidad de Arizona.

Desde entonces, la observación se ha basado en estos principios ópticos y el desarrollo tecnológico ha traído avances extraordinarios: lentes hasta de un metro de diámetro como el del telescopio *Yerkes* de la universidad de Chicago o espejos hasta de 8 metros de diámetro como el que se construye actualmente en el laboratorio de óptica de la Universidad de Arizona.

Desde entonces, la observación se ha basado en estos principios ópticos y el desarrollo tecnológico ha traído avances extraordinarios: lentes hasta de un metro de diámetro como el del telescopio *Yerkes* de la universidad de Chicago o espejos hasta de 8 metros de diámetro como el que se construye actualmente en el laboratorio de óptica de la Universidad de Arizona.

Desde entonces, la observación se ha basado en estos principios ópticos y el desarrollo tecnológico ha traído avances extraordinarios: lentes hasta de un metro de diámetro como el del telescopio *Yerkes* de la universidad de Chicago o espejos hasta de 8 metros de diámetro como el que se construye actualmente en el laboratorio de óptica de la Universidad de Arizona.

Desde entonces, la observación se ha basado en estos principios ópticos y el desarrollo tecnológico ha traído avances extraordinarios: lentes hasta de un metro de diámetro como el del telescopio *Yerkes* de la universidad de Chicago o espejos hasta de 8 metros de diámetro como el que se construye actualmente en el laboratorio de óptica de la Universidad de Arizona.



Para soslayar los problemas de la aberración atmosférica se colocan en órbita telescopios como el *Hubble*. Estas tecnologías permitieron durante el siglo XX escudriñar nuestro sistema solar, estudiar la galaxia, formular las grandes teorías cosmológicas, en otras palabras han conducido hasta las fronteras del conocimiento sobre el universo.

Sin embargo, no es posible pensar en espejos de diámetros cada vez más grandes, ya que los problemas de construcción y operación que presentan se tornan insolubles. A raíz de esta limitante del tamaño, surge una nueva tecnología basada en espejos múltiples, la cual busca construir un gran espejo con muchos espejos pequeños manipulados de manera coordinada por una red de computación para concentrar la luz en un solo punto y hacer la observación.

A finales del siglo XX se habían instalado ya varios telescopios basados en la nueva tecnología: el *Keck*, en Hawai, consta de dos telescopios gemelos de 9.8 metros de diámetro cada uno; el gran binocular del monte Graham en Arizona, con dos telescopios cuyos espejos de 8.5 metros de diámetro cada uno, producen el equivalente a un telescopio con un espejo de 23 metros de diámetro. El VLT (*Very Large Telescope*), ubicado en el cerro Paranal al norte de Chile, tiene cuatro telescopios, cada uno con espejos de 8,2 metros de diámetro. Precisamente con este último instrumento se espera tener las primeras imágenes de exoplanetas, es decir, planetas exteriores al sistema solar.

¿Cuál es el futuro próximo de la observación óptica? Claramente se trata de grandes redes de telescopios o de un gigantesco telescopio conformado por centenares de células que producirán el efecto un gran espejo de muchos kilómetros de diámetro. Es evidente que esto sólo se podrá lograr con estaciones espaciales; en la Tierra es imposible un proyecto de estas dimensiones.

Para la primera década del siglo XXI se tienen tres satélites destinados a la búsqueda de exoplanetas: *Corot*, *Kepler* y *Eddington*. Están dotados de telescopios que funcionarán usando la Tierra para eclipsar la estrella observada, suprimir el brillo de la misma y detectar posibles candidatos a planetas en esa estrella durante la fase de totalidad del eclipse. Se espera que para finales de la primera década, *Corot*, *Kepler* y *Eddington* hayan explorado cerca de 50.000 estrellas, entre las cuales se extraerán unos 1000 candidatos a sistemas solares similares al nuestro.

La siguiente etapa está proyectada para el año 2014 y consiste en la instalación del telescopio espacial europeo *Darwin*, el cual volará en una órbita más allá de la Luna, alrededor de un millón de kilómetros de distancia del sistema Tierra-Luna. *Darwin* consta de cinco satélites cada uno con un telescopio de 1.5 metros de diámetro, los cuales formarán un inter-

ferómetro equivalente a un espejo de 50 metros de diámetro que funcionará de espaldas al Sol. Su órbita estará libre de toda influencia de la luz reflejada por la Tierra y la Luna y observará las estrellas escogidas previamente con los satélites *Corot*, *Kepler* y *Eddington*, como posibles candidatos para albergar sistemas solares similares al nuestro. El costo de este proyecto se estima en mil millones de euros y será construido por la NASA y la European Space Agency (ESA). Podrá ver los exoplanetas apenas como puntos. Para finales de la segunda década se habrá terminado la fase de búsqueda de exoplanetas, posiblemente conoceremos los sistemas solares de nuestro

pequeño vecindario de la Vía Láctea, en un radio de unos 500 años luz. Se espera haber detectado unos 10.000 exoplanetas entre los diez mil millones de planetas que se cree que hay en nuestra galaxia.

¡En la tercera década los proyectos de observación óptica adquieren características de ciencia ficción! La comunidad científica espera colocar en una órbita ubicada entre Júpiter y Saturno, un gigantesco telescopio formado por 150 células satelitales, cada una con un telescopio ultraligero de 3 metros de

diámetro y todos en una formación de 150 kilómetros de diámetro. Este proyecto, denominado EET (*Exo Earth Imager*), ¡tendrá un aumento de 100 millones! y permitirá ver detalles de 1000 kilómetros en los discos de los exoplanetas, podrá percibir continentes, mares, casquetes polares, nubosidad, etc. El costo de EET será diez mil millones de euros.

Pero el asunto no termina aquí; para 2050 se estima que la comunidad científica dispondrá de un hipertelescopio que podrá ver con detalle los exoplanetas detectados. El hipertelescopio estará en una órbita entre Júpiter y Saturno, y lo conformarán 100 células de espejos gaseosos gigantes de 100 metros de diámetro de unas pocas micras de espesor entrelazadas por ondas estacionarias de rayos láser. Con un costo estimado de cien mil millones de euros, el hipertelescopio de 10.000 kilómetros de diámetro tendrá un aumento de 10.000 millones y permitirá volar literalmente sobre el paisaje de los exoplanetas.

BIBLIOGRAFÍA

Kuter, M. *Astronomy, a physical perspective*. Cambridge University Press.

Science et Vie, 1019, agosto 2002

