

REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA

Año 18 N° 69

Enero - Marzo de 2008

ISSN 0121-5132

Caracterización de agregados pétreos con el ensayo Micro Deval

Estimación del daño sísmico de pórticos de concreto reforzado en Bogotá mediante análisis no lineales en función del tiempo

Análisis acoplado de esfuerzo-deformación-flujo para excavaciones en suelos blandos

Portales grid basados en estándares

Sistemas de telemedición por SMS

Perspectivas sociológica y económica en la teoría organizacional (2da. parte)

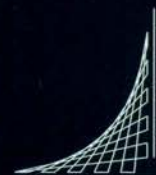
Independencia académica: un propósito de la educación superior

¿Qué es realmente un algoritmo?



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

TARIFA POSTAL REDUCIDA
SERVICIOS POSTALES NACIONALES S.A.
VENCE 31 DE DICIEMBRE DE 2008



ESCUELA
COLOMBIANA
DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO

Notas editoriales

LUIS EDUARDO ILLERA DULCE

Director de Ediciones, Comunicación y Mercadeo de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito y director editorial de la Revista.

Hoy en el mundo, 850 millones de seres humanos padecen hambre; de estos, 150 viven en América Latina.

La problemática de la alimentación en su concepción integral (económica, política, biológica, cultural y social) demanda soluciones integrales. Es necesario entender que no es un problema coyuntural ni temporal. El hambre y la desnutrición son origen y consecuencia de problemas estructurales serios que afectan la economía y la sociedad. Colombia y América Latina se han vuelto dependientes de fuentes externas para el abastecimiento de alimentos básicos, sobre todo cereales, productos lácteos, aceites y hortalizas.

La inseguridad que genera esta dependencia del abastecimiento externo para cubrir cada vez más una proporción mayor del consumo interno implica:

- a. Un riesgo para el suministro confiable.
- b. La oportunidad de conseguir los alimentos en todo el tiempo.
- c. La dependencia, cada vez más marcada, del suministro de cereales de Estados Unidos.
- d. La inestabilidad de los mercados mundiales (en especial a corto plazo) en cantidades y en precios aceptables.

La inseguridad alimentaria de América Latina se deriva en esencia de fluctuaciones imprevistas del ingreso. El consumo de alimentos se debe ligar cada vez más con las oportunidades de empleo y la obtención de ingresos de la población, porque la determinante directa del hambre son los ingresos insuficientes y la pobreza, la cual se debe a la distribución desigual de los

ingresos. Una política para erradicar la malnutrición y el hambre debe considerar prioritariamente una política de ingresos.

El desarrollo agropecuario de América Latina se debe reorientar hacia la búsqueda de la seguridad alimentaria, disminuyendo la vulnerabilidad externa. Muchos de los países ofrecen condiciones favorables para la ampliación de sus mercados derivados de un esfuerzo para satisfacer las necesidades alimentarias y nutricionales básicas de la población, y aún pueden sustituir la importación de alimentos.

América Latina posee un potencial de tecnología y recursos naturales que le permitirán aumentar sustancialmente su producción alimentaria y garantizar una distribución que permita reducir la subalimentación en las primeras décadas del siglo XXI. En conjunto, la región es una de las mejores del mundo en cuanto a recursos. Si estos se aplican y administran eficientemente no solo cubrirá sus necesidades, sino que se convertirá en un proveedor de alimentos para otras regiones.

El problema no radica en la existencia de oligopolios en la comercialización agropecuaria, ni en el proteccionismo de los países desarrollados y las subvenciones a la agricultura, ni en los efectos de distorsión en los intercambios que han conferido ventajas competitivas a los países desarrollados. El problema radica en que no se ha buscado la solución y, en muchos casos, cuando se encuentra no se toman las medidas adecuadas para aplicar la solución. "El hambre y la malnutrición son inaceptables en un mundo con los recursos y conocimientos suficientes para terminar estos dramas" (papa Benedicto XVI).

Caracterización de agregados pétreos con el ensayo Micro Deval

SANDRA X. CAMPAGNOLI MARTÍNEZ

Ingeniera civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Especialista en Mecánica de suelos y cimentaciones de la Universidad Politécnica de Madrid, España. Especialista en Geotecnia de la Universidad Nacional de Colombia. Directora del Centro de Estudios Geotécnicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería. scampa@escuelaing.edu.co

CLAUDIA PATRICIA LÓPEZ P.

Estudiante de último semestre de ingeniería civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Proyecto dirigido sobre el Ensayo Micro Deval. claudi_lo@hotmail.com

Artículo recibido: 15/08/2007
Evaluación par interno: 26/02/2008
Aprobado: 13/03/2008

Resumen

En este documento se presentan los aspectos más relevantes del proceso de implementación del ensayo Micro Deval, contemplado por la Norma ASTM D 6928, “Standard test method for resistance of coarse aggregate to degradation by abrasion in the Micro-Deval apparatus”, en los laboratorios de Suelos y Pavimentos del Centro de Estudios Geotécnicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

En esta segunda parte se incluyen los resultados obtenidos de los ensayos Micro Deval y de Desgaste Los Ángeles y sus variantes (100 rev. y en húmedo 500 rev.) realizados sobre 15 muestras de agregados, utilizados en la ciudad de Bogotá principalmente para la elaboración de mezclas asfálticas. Igualmente, se incluye el análisis de estos resultados junto con unas conclusiones preliminares, así como algunas recomendaciones derivadas de este proceso. Como se ha mostrado en otros estudios, sobre los materiales analizados en el presente no se evidenció una adecuada correlación con el ensayo de Desgaste Los Ángeles, ni con la absorción de los agregados. Sin embargo, las líneas de tendencia muestran un incremento en las pérdidas medidas con el ensayo de Desgaste Los Ángeles y en la absorción con el aumento en las pérdidas en el Micro Deval.

Del análisis de los resultados encontrados también se concluye que si se tienen en cuenta los requisitos del agregado grueso para mezclas asfálticas en caliente, fijados por el IDU en las Especificaciones ET-2005, para tránsitos pesados (tipo T4 –T5) y capas de rodadura, el ensayo de Desgaste Los Ángeles resulta ser más conservador que el Ensayo Micro Deval. Se recomienda continuar

evaluando fuentes de materiales para seguir ajustando las respectivas especificaciones a las condiciones imperantes en nuestro medio.

Palabras clave: agregados, pavimentos, resistencia al desgaste, dureza, durabilidad.

Abstract

This report shows the most relevant aspects of the implementation of the Micro Deval test, according to ASTM D 6928, “Standard test method for resistance of coarse aggregate to degradation by abrasion in the Micro-Deval apparatus”, at the Escuela Colombiana de Ingeniería Soils and Pavements Laboratory.

Micro-Deval and Los Angeles tests results in 15 samples of aggregates used in Bogotá, principally for asphalt mixes, are shown as well as the analyses of these results along with preliminary conclusions and recommendations.

As other studies have shown, the Micro-Deval results had no correlation with the Los Angeles and aggregates absorption results. The trend lines do, however, show increasing Los Angeles Abrasion and absorption results with the increasing Micro Deval results. From the analysis of the materials results used in this investigation, it can be concluded that the Los Angeles test is more conservative than Micro-Deval test, for coarse aggregate used in hot asphalt mixes under IDU high volume of traffic (types T4 – T5) and surface courses, according the Specifications IDU ET-2005. It is recommended to evaluate more aggregate sources to continue adjusting specifications to our particular conditions.

ANTECEDENTES

El 18 de mayo de 2006, mediante la resolución 1959, el Instituto de Desarrollo Urbano, IDU, ente rector de la infraestructura vial de la ciudad de Bogotá, adoptó las “Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción para proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público en Bogotá D.C. –IDU ET 2005”. En estas especificaciones se introducen, entre otros aspectos, nuevos ensayos con los que se persigue evaluar la dureza y la durabilidad de los agregados pétreos y se establece una gradualidad relacionada con la aplicación de diferentes niveles de exigencia, de acuerdo con la importancia del proyecto y con la secuencia de obligatoriedad en la ejecución de algunos ensayos.

Entre los ensayos cuyos resultados son de reporte obligatorio (RO) se encuentran las variantes del Desgaste Los Ángeles con los agregados secos aplicando 100 revoluciones y con los agregados en condición saturada y seca, superficialmente, después de 48 horas de inmersión en agua y aplicando 500 revoluciones. Igualmente, se especifican las relaciones entre las pérdidas en húmedo y en seco a 500 revoluciones y entre las pérdidas a 100 y 500 revoluciones.

Relacionado con la dureza de los agregados y con la denominación FT, se introduce en las especificaciones IDU ET – 2005 el ensayo Micro Deval, de acuerdo con la norma ASTM D-6928 “*Standard test method for resistance of coarse aggregate to degradation by abrasion in the Micro-Deval apparatus*”.

Teniendo en cuenta que por muchas décadas el ensayo de Desgaste Los Ángeles ha sido empleado alrededor del mundo como estándar para evaluar la degradación y la dureza de los agregados en condición seca, pero que sus variantes junto con el ensayo Micro Deval resultan ser novedosos en nuestro medio, donde no se conoce el comportamiento que puede esperarse de las fuentes propias de materiales, lo que exige el desarrollo de estudios que sean encaminados con este propósito, en los laboratorios de suelos y pavimentos del Centro de Estudios Geotécnicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería, se llevó a cabo la implementación del ensayo Micro Deval y el análisis comparativo de sus resultados con los encontrados en el ensayo de Desgaste Los Ángeles y sus variantes, realizados principalmente sobre fuentes de agregados utilizados en la Ciudad de Bogotá para la conformación de capas de base, subbase o en la elaboración de mezclas asfálticas o de concretos hidráu-

licos de estructuras de pavimento. En este documento se presentan los resultados y las conclusiones preliminares obtenidas, así como algunas recomendaciones derivadas de este proceso.

Materiales y ensayos realizados en el estudio

Nueve proveedores de agregados, principalmente destinados para la elaboración de mezclas asfálticas en la Ciudad de Bogotá, colaboraron con el estudio suministrando un total de 15 muestras de materiales, sobre las cuales se realizaron los ensayos de Micro Deval (ASTM D 6928), Desgaste Los Ángeles, en seco 500 revoluciones (INV E 218), y Absorción, después de 24 horas de sumergidos en agua (INV E- 223).

Sobre algunas de estas muestras, cuando se disponía de suficiente material, se realizaron las variantes del ensayo de Desgaste Los Ángeles en seco a 100 revoluciones, y en húmedo, después de 48 horas de inmersión de los agregados en agua, a 500 revoluciones.

Es necesario aclarar que en el presente estudio, con el propósito de evaluar la uniformidad de los materiales, los ensayos en seco a 500 revoluciones y a 100 revoluciones se realizaron sobre la misma muestra de manera independiente, y no como lo recomienda la Norma INV E 218.

Con el propósito de tratar de hacer semejante el tamaño de las partículas de agregado entre los ensayos de Desgaste Los Ángeles y el Micro Deval, las gradaciones de los agregados usadas en el ensayo Los Ángeles corresponden a la B (19,0 mm - 9,5 mm) o a la C (9,5 mm - 4,8 mm), indicadas en la respectiva norma.

En general, los agregados evaluados proceden de trituración y corresponden en su gran mayoría a areniscas cuarzosas de grano medio a grueso, mezcladas en algunos casos con elementos arcillosos, calizas o fragmentos volcánicos.

Resultados y análisis de resultados

En la tabla 1 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de Micro Deval, Desgaste Los Ángeles con los agregados secos y aplicando 500 rev. y 100 rev., Desgaste Los Ángeles con los agregados en condición saturada y seca superficialmente o condición húmeda después de aplicar 500 rev., y del ensayo de Absorción. En esta misma tabla se incluye el cálculo de las relaciones entre

Tabla 1
Resultados de los ensayos realizados: Micro Deval, Desgaste Los Ángeles y Absorción

Muestra No.	Material*	% pérdidas Micro Deval	% pérdidas Los Ángeles 500 rev.	% pérdidas Los Ángeles 100 rev.	% pérdidas Los Ángeles 500 rev. húm.	Absorción (%)	Relación húmedo/seco (%)	Relación 100 rev./500 rev.
1	Tamaño 1/2"	7,7	20,6	4,2	19,2	1,1	93,3	0,21
2	Tamaño 3/4"	7,1	21,2	3,9	20,4	0,8	96,3	0,18
3	Triturado 1/2"	19,4	25,5	5,6	25,0	3,3	98,0	0,22
4	1/2" BG y SGB	36,0	35,3	7,8	32,2	2,9	91,2	0,22
5	Triturado 1/2"	12,1	24,8	5,1	23,9	0,9	96,2	0,21
6	Triturado 3/4"	17,0	24,6	5,5	26,5	1,1	107,8	0,22
7	Grava 3/4"	14,4	37,7	9,7	---	4,0	---	0,26
8	Grava 1/2"	13,9	35,0	5,8	29,7	2,7	85,0	0,17
9	Triturado 3/4"	13,5	28,8	6,1	---	2,4	---	0,21
10	Muestra 1	22,0	25,9	8,1	19,7	5,2	76,1	0,31
11	Muestra 3	27,7	32,3	7,0	26,4	3,4	81,7	0,22
12	Muestra 1	23,8	30,6	6,9	32,3	3,7	105,5	0,23
13	Muestra 3	23,9	26,1	5,6	23,8	3,7	91,1	0,21
14	Muestra 3/4"	12,7	22,0	4,1	19,3	2,7	87,6	0,19
15	Agregado para MDC-2	26,7	---	---	---	---	---	---

--- Ensayo no realizado por escasez de material
* Identificación dada por el proveedor

las pérdidas en el ensayo Los Ángeles a 100 rev. y a 500 rev. y entre las pérdidas en condición húmeda y seca de los agregados a 500 rev.

Estos resultados también se muestran resumidos en la figura 1, en que es posible apreciar el comportamiento de los materiales, en especial en las variantes del ensayo de Desgaste Los Ángeles.

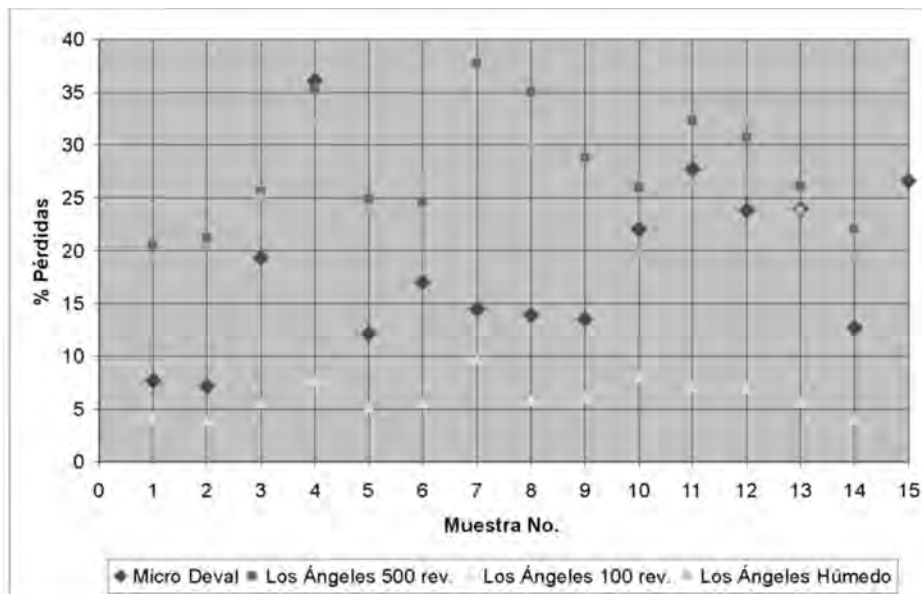


Figura 1. Resultados comparativos de los ensayos Micro Deval y Desgaste Los Ángeles y sus variantes.

Como se desprende de los datos consignados en la tabla 1 y en la figura 1, a excepción de las muestras identificadas como 7 y 10, en general los materiales evaluados en el estudio son relativamente homogéneos en su dureza, ya que la relación entre las pérdidas en el ensayo de Desgaste Los Ángeles después de 100 revoluciones y después de 500 revoluciones se encuentran alrededor del 20%.

Igualmente, no se aprecia variación significativa entre las pérdidas obtenidas en los ensayos de Desgaste Los Ángeles realizados a 500 revoluciones sobre las muestras de agregados en condición seca y en condición húmeda con el agregado saturado y seco superficialmente, después de 48 horas de inmersión en agua. Sin tener en cuenta la muestra 10, en general los desgastes presentados por los materiales en estado húmedo son ligeramente inferiores a los encontrados en los materiales ensayados en condición seca. En algunos casos, en esta última condición las pérdidas son inferiores a las obtenidas en el ensayo sobre el agregado húmedo.

Entre los materiales evaluados en el estudio, las muestras 1 y 2 corresponden a las que menores pérdidas

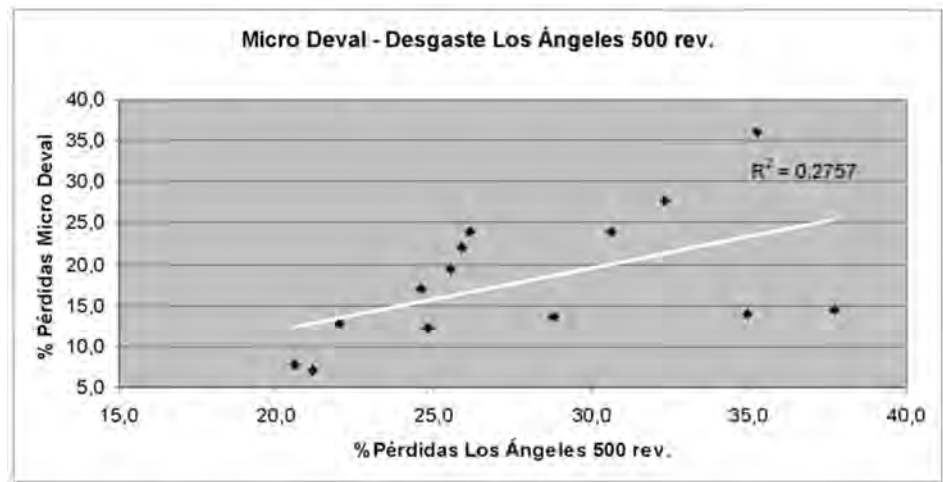


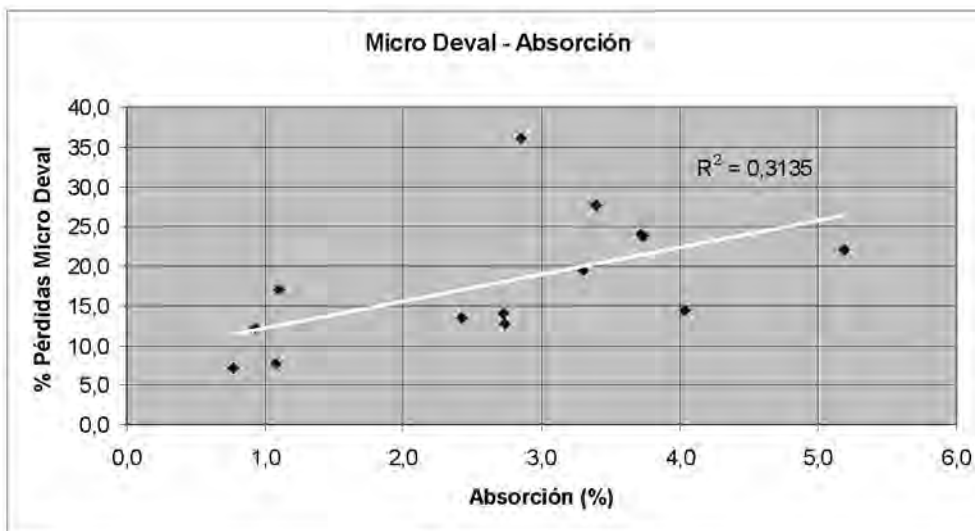
Figura 2. Comparación entre las pérdidas obtenidas en los ensayos Micro Deval y Desgaste Los Ángeles.

presentaron en los ensayos Micro Deval (7,7 y 7,1%) y Desgaste Los Ángeles (20,6 y 21,2%). Este comportamiento es atribuible a su composición mineralógica, ya que en estos materiales se detectó la presencia en un alto porcentaje de fragmentos volcánicos de tipo basáltico y pórfidos de tipo andesítico, aun cuando en general corresponden a areniscas cuarzosas de grano grueso.

La muestra 4 presentó la mayor pérdida en el ensayo Micro Deval (36,0%) y una de las mayores pérdidas en el ensayo de Desgaste Los Ángeles (35,3%). Aun cuando no se identifico diferencia significativa en su composición mineralógica con respecto a las demás muestras ensayadas, correspondiendo también a una arenisca de grano medio a grueso, los proveedores de esta la utilizan para la construcción de capas granulares tipo Base o Subbase y no para la elaboración de mezclas asfálticas.

Al igual que se ha reportado en otros estudios, en el presente no se obtuvo una correlación definida entre los ensayos Micro Deval y de Desgaste Los Ángeles. Este comportamiento se puede apreciar en las figuras 1 y 2.

Tampoco se encontró una adecuada correlación entre las pérdidas del



ensayo Micro Deval y la Absorción de los agregados, aun cuando la tendencia general es el aumento en las pérdidas con el aumento en la absorción de agua por el agregado, como se puede ver en la figura 3. Debe resaltarse que las muestras con mayores absorciones (7 y 10) presentaron las menores homogeneidades en su dureza y, en el caso de la muestra 10, la menor relación entre las pérdidas en húmedo y seco en el ensayo de Desgaste Los Ángeles.

Siguiendo la metodología propuesta por Cuelho y otros en un estudio desarrollado para el Departamento de transportes del estado de Montana, se normalizaron los resultados de los ensayos Micro Deval y de Desgaste Los Ángeles, teniendo en cuenta los valores de pérdida máximos permitidos por las Especificaciones Técnicas Generales de Materiales y Construcción para proyectos de Infraestructura Vial y de Espacio Público en Bogotá D.C. – IDU ET 2005, para un agregado grueso usado en mezclas asfálticas en caliente.

A excepción de la muestra 4, para todas las demás muestras se contempló su uso en dos aplicaciones y condiciones de tránsito, a saber: 1) mezclas asfálticas para capas de base e intermedias y tránsitos bajos (T0-T1) en que se especifican las pérdidas en el Micro Deval $\leq 30\%$ y en el Desgaste Los Ángeles $\leq 35\%$, y 2) mezclas asfálticas de capas de rodadura y tránsitos altos

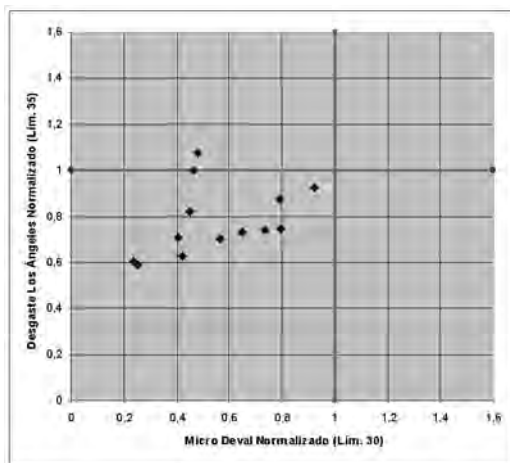


Figura 4. Resultados normalizados con las especificaciones IDU ET-2005. Agregado grueso para mezclas asfálticas en caliente, capas de base e intermedias y tránsitos bajos (T0, T1).

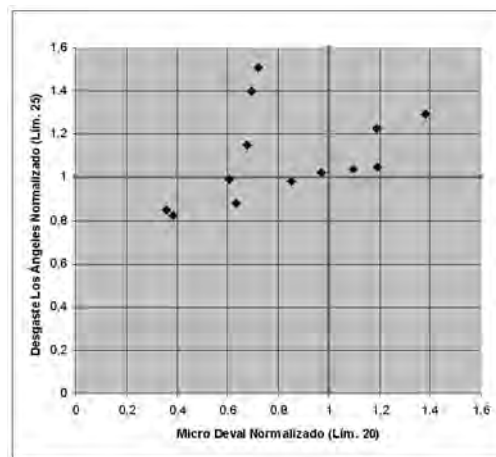


Figura 5. Resultados normalizados con las especificaciones IDU ET-2005. Agregado grueso para mezclas asfálticas en caliente, capas de rodadura y tránsitos altos (T4, T5).

(T4 – T5) en que las especificaciones son más exigentes, definiéndose las pérdidas en el ensayo Micro Deval $\leq 20\%$ y en el de Desgaste Los Angeles $\leq 25\%$. Estos resultados se presentan en las figuras 4 y 5.

Como se desprende del análisis de la figura 4, prácticamente todos los agregados evaluados en el estudio satisfacen los requisitos establecidos en cuanto a la dureza, medida en los ensayos Micro Deval y de Desgaste Los Ángeles, para usarse como constitutivos de mezclas asfálticas en caliente en capas de base e intermedias y tránsitos bajos.

Sin embargo, si se considerara el empleo de estos agregados en mezclas asfálticas para capas de rodadura y tránsitos altos, observando la figura 5 es posible concluir que solamente 5 materiales, de los 13 evaluados paralelamente en los dos ensayos, cumplen simultáneamente los requisitos de dureza exigidos para tal fin. Dos de estos están prácticamente en el límite de la especificación para el Desgaste Los Ángeles.

De la figura 5 también se concluye que para las condiciones analizadas, las especificaciones dadas por el IDU para el ensayo de Desgaste Los Ángeles son más restrictivas o, en otras palabras, más conservadoras que para el ensayo Micro Deval, contrario a lo que se ha reportado en otros estudios. Solamente 4 de las 13 muestras no cumplen los requisitos del Micro Deval, es decir el 30% de los materiales analizados, mientras que más del 60% no satisfacen las especificaciones de Desgaste Los Ángeles.

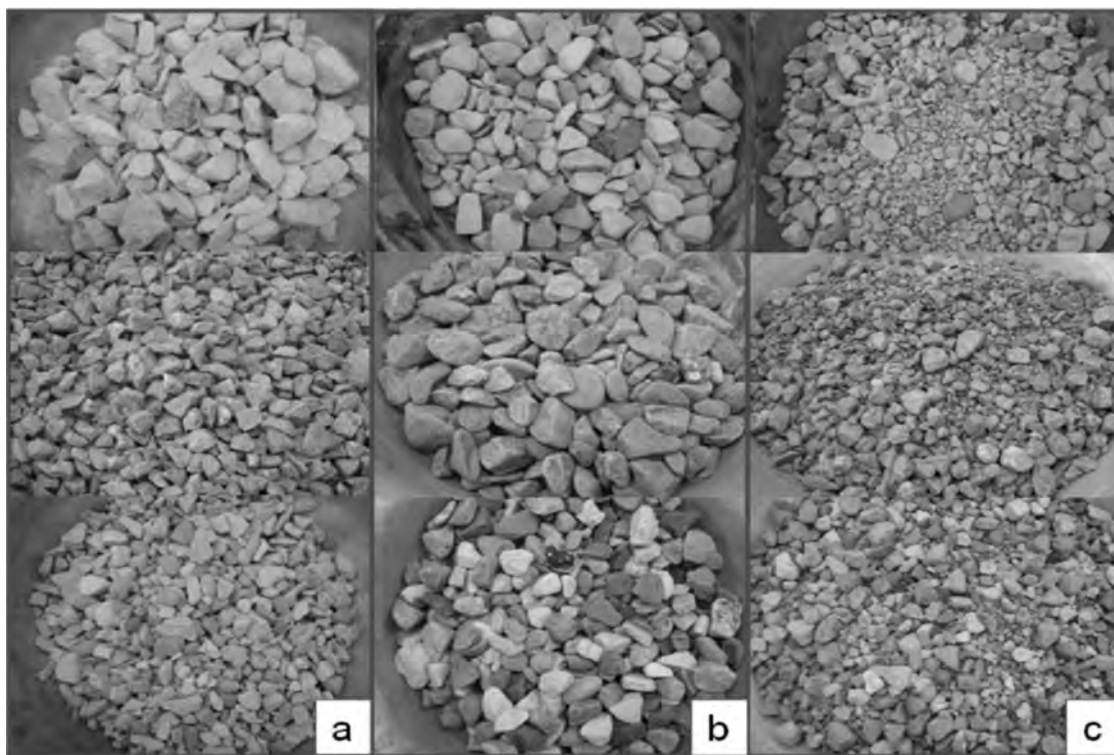


Foto 1. a) Agregados antes de los ensayos b) Agregados después del Micro Deval c) Agregados después del Desgaste Los Ángeles.

Finalmente, se observó que en general los agregados presentaron principalmente abrasión en el ensayo Micro Deval, mientras que en el ensayo de Desgaste Los Ángeles las partículas sufrieron un mayor grado de fracturamiento. Lo anterior se evidencia en el recuento fotográfico 1 donde, para tres muestras de las evaluadas, se observa la apariencia de los agregados antes de ser ensayados y después de la aplicación de cada uno de los procesos. En estas fotografías es posible ver partículas pulidas, tendiendo a menor angularidad y con textura más lisa después de someterse al ensayo Micro Deval, mientras que después del Desgaste Los Ángeles las partículas exhiben aún formas angulares a subangulares, texturas rugosas y mayor proporción de partículas más finas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Igual a lo encontrado en otros estudios, en el presente no se obtuvieron correlaciones adecuadas entre los resultados del ensayo Micro Deval y los del ensayo de Desgaste Los Ángeles y la absorción de los agregados. La tendencia generalizada es de aumento en las pérdidas en el Micro Deval con el incremento en la absorción del agregado y en las pérdidas en el ensayo de Desgaste Los Ángeles.
- Como no se realizaron ensayos de Micro Deval sobre un abanico amplio de agregados con diferentes composiciones mineralógicas, en este estudio no fue posible establecer órdenes de magnitud de las pérdidas en función de esta propiedad. Investigaciones realizadas en otros ambientes han mostrado que existe una relación entre la composición mineralógica de los agregados y las pérdidas que se presentan en el ensayo.
- Estudios realizados en Estados Unidos han encontrado que el ensayo Micro Deval tiende a arrojar resultados más conservadores que los encontrados en otras pruebas para medir la dureza y la durabilidad de los agregados. Lo anterior quiere decir que los agregados que cumplen los límites especificados de pérdidas en el ensayo Micro Deval, también cumplirán los respectivos límites fijados para otras pruebas como son el Desgaste Los Ángeles y la Solidez en Sulfatos. Sin embargo, en este estudio se evidenció la condición contraria; el ensayo Micro Deval aparece

menos conservador que el ensayo de Desgaste Los Ángeles, por lo que se recomienda revisar y, de ser necesario, ajustar las respectivas especificaciones.

- Es importante que las agencias viales de Colombia, entre ellas el IDU y el INV, promuevan estudios para el inventario de las características y propiedades de las fuentes de agregados, estableciendo niveles de calidad, asociados a su comportamiento en servicio. Se recomienda que dichos estudios tengan en cuenta diferentes zonas climáticas del país, así como diferentes condiciones de aplicación y solicitaciones de tránsito.
- Finalmente, sólo realizando un gran número de ensayos sobre diferentes fuentes de agregados, será posible crear una base de datos que permita una evaluación más profunda de los métodos de ensayo y la selección de criterios límite o especificaciones más adecuadas, basadas en las condiciones ambientales y de tránsito propias de la ciudad de Bogotá y de otras regiones del país.

Agradecimientos

El Centro de Estudios Geotécnicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería agradece a Murcia-Murcia, Icein S.A., Aguilar Construcciones, Gravillera Albania,

Concay, Compañía de Trabajos Urbanos S.A., Asfaltos La Herrera, M. H. C. y Patria S.A., empresas que colaboraron con el estudio suministrando las muestras de agregado cuyos resultados se presentan en este documento.

REFERENCIAS

1. López, C.P., Campagnoli, S.X. (2007). *Caracterización de agregados. Comparación de los ensayos Micro Deval y Desgaste en la Máquina de los Ángeles*. Trabajo Dirigido. Escuela Colombiana de Ingeniería.
2. Campagnoli, S.X., López, C.P. (2007). *Micro Deval – una prueba que complementa la evaluación de la calidad de los agregados usados en pavimentos*. XI Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos, Manizales.
3. Cuelho, P. E., Mokwa, R. L. (2006). *Comparative analysis of coarse surfacing aggregates using the Micro- Deval, L.A. Abrasion and Sulfate Soundness Tests*. Montana Department of Transportation.
4. Instituto de Desarrollo Urbano – IDU (2005). *Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción para proyectos de infraestructura vial y de espacio público en Bogotá D.C. – IDU ET 2005*.
5. ASTM Standards. ASTM D 6928, *Standard test method for resistance of coarse aggregate to degradation by abrasion in the Micro-Deval apparatus*.
6. Instituto Nacional de Vías (1996). *Normas de ensayos para carreteras*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Estimación del daño sísmico de pórticos de concreto reforzado en Bogotá mediante análisis no lineales en función del tiempo

DANIEL RUIZ

Ingeniero civil, M.Sc., jefe del Laboratorio de Pruebas y Ensayos, profesor asistente e investigador del grupo Estructuras, Departamento de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Javeriana, Calle 40 No. 5-50, Bogotá, Colombia. daniel.ruiz@javeriana.edu.co.

ALEJANDRA ROMERO

Ingeniera civil, Pontificia Universidad Javeriana. alerolala@hotmail.com.

ÓSCAR BECERRA

Ingeniero civil, Pontificia Universidad Javeriana. deskcoar@hotmail.com.

Artículo recibido: 14/01/2008
Evaluación: 28/03/2008
Aprobado: 18/04/2008

Resumen

Se presenta un análisis no lineal contra el tiempo de 14 pórticos planos de 7 edificaciones con alturas entre 4 y 26 pisos de la ciudad de Bogotá sometidos a 33 señales sísmicas. Estas señales sísmicas de entrada incluían efectos de sitio y se obtuvieron de trabajos previos del grupo ESTRUCTURAS de la Pontificia Universidad Javeriana. Las señales fueron obtenidas de modelos numéricos bidimensionales desarrollados en el programa PLAXIS para varias zonas de Bogotá. Para los 14 pórticos planos se determinaron las rótulas plásticas y los diagramas de interacción de las columnas. Con las propiedades no lineales así establecidas y a partir de la respuesta dinámica de las edificaciones para cada una de las señales de análisis, se determinaron los estados de daño (como se definen en ATC, 1996) en los elementos estructurales en diferentes zonas de Bogotá.

Palabras clave: análisis no lineal, edificios de concreto, análisis contra el tiempo, efectos locales.

Abstract

A nonlinear time history analysis of 14 frames of 7 buildings with heights between 4 and 26 floors placed in Bogotá subjected to 33 seismic signals is presented. The input signals included local site effect and were obtained from previous works of the ESTRUCTURAS group of the Pontificia Universidad Javeriana. The signals are the outputs of 2D numerical models developed in the software PLAXIS for Bogotá city. For the fourteen frames the plastic hinges and the interaction diagrams of the columns were determined. With the nonlinear properties established and with the dynamic response of the buildings for each one of the signals, the damage state in structural elements was determined for different zones of Bogotá (as defined in ATC, 1996).

Key words: Nonlinear analysis, concrete buildings, time history analysis, local site effect.

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Una de las inquietudes planteadas por los habitantes de Bogotá a los ingenieros civiles especialistas en terremotos está relacionada con los mejores o los peores lugares para construir edificaciones de acuerdo con el número de pisos. La respuesta no es única y siempre depende de las características geométricas y mecánicas de la edificación, del suelo de soporte y del registro sísmico de entrada. Para responder esta y otras preguntas, en 1997 se realizó el estudio de Microzonificación sísmica de Bogotá mostrado en Ingeominas (1997). Según Rodríguez (2005), desde la realización del estudio de Microzonificación en 1997 se ha podido avanzar en el estudio sismológico de la amenaza sísmica de la ciudad, así como en el conocimiento de los perfiles y las propiedades dinámicas de los suelos. Estos avances han permitido identificar limitaciones en la selección de los sismos y en los parámetros utilizados para los análisis realizados en el estudio de Microzonificación. Así mismo, ha habido diversos debates sobre la validez de dicho estudio, como el reportado en Escuela Colombiana de Ingeniería (2006).

El suelo de Bogotá ha sido estudiado detalladamente en los últimos años debido a que la microzonificación permite establecer un espectro de diseño particular para una edificación, como se muestra en Geoingeniería (2001), o como los recopilados en Binaria (2006). Según Rodríguez (2005), se han realizado aproximadamente 50 estudios de amenaza local. A pesar del mejor conocimiento del suelo bogotano, no es común encontrar en la literatura técnica estudios sobre la *respuesta no lineal dinámica* y la respectiva estimación del daño de las edificaciones bogotanas (con sistemas de múltiples grados de libertad) ante señales sísmicas filtradas por los efectos de sitio de los suelos blandos de la Capital. Aún más difícil es encontrar estos análisis de daño que consideren señales derivadas de modelos bidimensionales del suelo. Se encuentran en documentos técnicos estudios globales de daños y pérdidas presentados en las referencias Ingeominas et al. (1997), Cardona y Yamín (1997), Cardona et al. (2006), Jica y Fopae (2002), realizados con análisis aproximados, aunque abarcando la mayoría de las edificaciones de la capital. Varios de estos estudios consideran para la evaluación del daño funciones de vulnerabilidad en conjunto con espectros derivados de análisis unidimensionales.

Por las razones expuestas anteriormente y usando las señales sísmicas establecidas por Zárate, Gómez y Rodríguez (2005), y las observaciones de Rodríguez (2005), se realizó el análisis no lineal contra el tiempo para la estimación del daño sísmico de pórticos planos de concreto reforzado construidos en Bogotá. Se determinaron los lugares donde los pórticos presentan más daño en función de su altura, de acuerdo con los estados de daño definidos en ATC (1996).

Estudios similares al propuesto en este artículo, aunque con otros objetivos, se presentan en la referencia Akkar y Metin (2007), que sometieron 24 pórticos planos (ficticios) con periodos entre 0,3 s y 1,3 s a 78 señales (que incluyeron efectos locales en suelos con velocidades de onda de corte entre 400 m/s y 800 m/s, muy superiores a la de los suelos bogotanos).

EDIFICACIONES ANALIZADAS

La tipología estructural se enfocó en edificaciones con sistema en pórticos de concreto recientemente construidos en Bogotá. Así mismo, los edificios escogidos no tuvieron irregularidades muy marcadas en planta y se procuró que la rigidez de los pórticos planos fuese comparable (al menos en el mismo orden de magnitud) a la rigidez de los muros estructurales en caso de que estos existieran. Se escogieron edificios en que se contara con todos los planos estructurales y los despieces. Con base en lo anterior, se seleccionaron 7 edificaciones entre 4 y 28 pisos, de las cuales 6 fueron diseñadas y construidas siguiendo las especificaciones de AIS (1998) e Ingeominas et al. (1997). Para cada edificación se estudiaron 2 pórticos, uno carguero y otro no carguero. Uno de los edificios fue construido antes de la vigencia de la norma sismorresistente de 1984 y fue rehabilitado en 2005. En las figuras 1 a 6 se presentan las plantas de las edificaciones bajo análisis y, en la tabla 1, se resumen sus características principales.

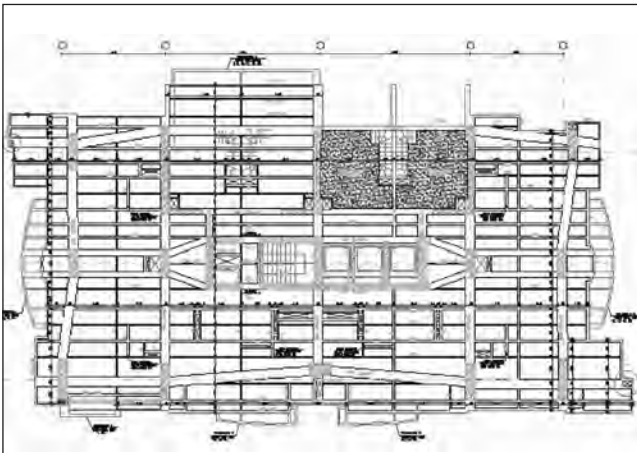


Figura 1 Edificio tipo 1 (28 pisos).

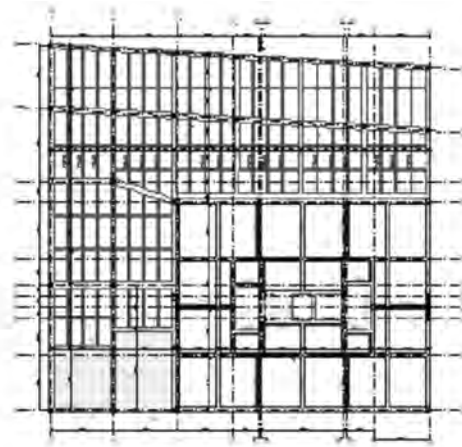


Figura 2 Edificio tipo 2 (20 pisos).

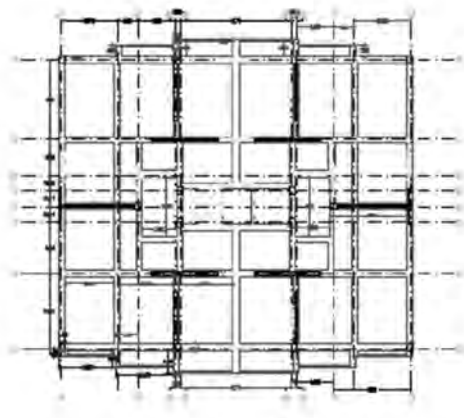


Figura 3 Edificio tipo 3 (13 pisos).

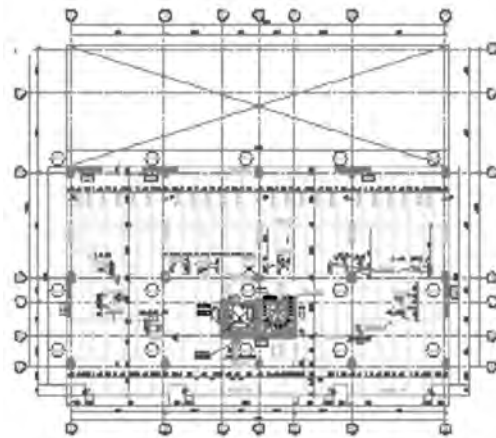


Figura 4 Edificio tipo 4 (12 pisos).



Figura 5 Edificio tipo 5 (9 pisos).



Figura 6 Edificio tipo 6 y 7 (4 pisos).

Tabla 1
Características de las edificaciones analizadas

EDIFICIO	ALTURA (m)	No. DE PISOS	ÁREA CONSTR. (m ²)	ALTURA DE ENTREPISO (m)	SECCIONES TÍPICAS	PERIODO (s)	No. DE PÓRTICOS
1	85	28 (26 pisos más dos sótanos)	490	Sótano 2: 3,1 m, Sótano 1: 3,3 m	Columnas: variable desde 0,7 m x 1,4 m hasta 0,6 mx2,5 m	2.23	Cargueros: 5
				Primer piso: 3,3 m; segundo piso: 5.1 m; tercer piso: 3,4 m; cuarto piso al 26: 2,9 m	Vigas: 0,6 m x 0,6 m		No cargueros: 2
2	60	20 (19 pisos más sótano)	412	Sótano: 3,5 m	Columnas: variable desde 0,6 mx1,2 m hasta 0,6 mx0,6 m	1.93	Cargueros: 4
				Primer piso: 3,8 m; segundo piso: 3,1 m; tercer piso al 19: 2,9 m	Vigas: 0,5 m x 0,7 m		No cargueros: 4
3	35	13 (12 pisos más un sótano)	269	Sótano: 2,95 m	Columnas: 0,3 m x 0,4 m	1.68	Cargueros: 4
				Piso primero al duodécimo: 2,7 m	Vigas: 0,3 m x 0,4 m		No cargueros: 4
4 primer	33	12 (10 pisos más un altillo y un sótano)	279	Sótano: 3,2 m	Columnas: 0,6 m x 0,4 m	1.20	Cargueros: 4 del sótano al
				Primer piso: 2,95 m; segundo piso al altillo: 2,7 m	Vigas: 0,4 m x 0,45 m		piso, 3 del segundo al altillo
5	23	9 (8 pisos más un sótano)	252	piso al altillo: 2,7 m	Columnas: variable de 0,3 m x 0,3 m hasta 0,3 m x 0,6 m	1.30	Cargueros: 6 del sótano al primer piso, 4 del segundo al octavo
				Sótano: 2,4 m	Vigas: variable de 0,2 mx0,35 m hasta 0,6 mx0,6 m		No cargueros: 3
6*	13	4	178	Primer piso: 3,9 m; segundo piso al octavo: 2,4 m	Columnas: variable de 0,25 m x 0,25 m hasta 0,3 m x 0,4 m	0.92	Cargueros: 8
				3,2	Vigas: variable de 0,4 mx0,25 m hasta 0,5 m x 0,65 m		No cargueros: 3
7	13	4	178	3,2	Columnas: variable de 0,5 m x 0,5 m hasta 0,7 m x 0,7 m	0.35	Cargueros: 8
					Vigas: 0,5 m x 0,7 m		No cargueros: 3

*Edificio construido antes de 1984 y sin consideraciones sísmicas.

SEÑALES SÍSMICAS UTILIZADAS

En algunas zonas de Bogotá, los modelos unidimensionales deben ser complementados mediante modelos bidimensionales, ya que es de esperarse que la forma de cuenca que tienen los estratos de suelo tenga influencia en los movimientos de la superficie. En Bielak et al. (1999) se establece que los modelos bidimensionales exhiben una serie de formas y frecuencias particulares de movimiento a lo largo del valle, relacionadas con su longitud finita (no infinita como suponen los modelos unidimensionales) y con las ondas superficiales. Esto ha sido verificado para el caso bogotano en Rodríguez (2005). De acuerdo con Bielak et al. (1999), aunque las frecuencias de resonancia del suelo establecidas en un modelo unidimensional pueden aparecer al realizarse un modelo bidimensional, la respuesta del suelo y de los sistemas estructurales puede tener variaciones importantes. Como consecuencia, la forma en que se modelen los estratos de suelo tendrá un impacto en el daño sísmico de las edificaciones.

Teniendo en cuenta lo expuesto, para el presente estudio se usaron las señales sísmicas de las referencias Zárate, Gómez y Rodríguez (2005), Rodríguez (2005) e Ingeominas et al. (1997).

En Zárate, Gómez y Rodríguez (2005) se analiza un tramo de 6 km ubicado entre los cerros de Suba y los cerros orientales, mientras que en Rodríguez (2005) se analiza un tramo de 4,5 km de la carrera 30 entre las calles 1ª y 45. Dichos estudios se llevaron a cabo mediante modelos bidimensionales en el programa PAXIS® (incluido el efecto de las ondas superficiales), determinando de esta manera la respuesta de varias

zonas de la capital ante diferentes señales de entrada (cercanas, regionales y lejanas). Los modelos numéricos en PLAXIS® se alimentaron con propiedades dinámicas del suelo obtenidas en ensayos de laboratorio y de campo, como se indica en Rodríguez (2005a).

Los modelos desarrollados tienen una longitud finita y una serie de condiciones de frontera que se pueden apreciar en la figura 7. En estas imágenes se presentan perfiles de las zonas en estudio, las cuales se ubican en el plano de Bogotá de la figura 8. Observe que el punto A está ubicado en los cerros orientales, mientras que el punto E está ubicado en la zona donde el estrato de suelo es más profundo. Así mismo, en esta parte de la ciudad se pueden encontrar las zonas 1, 2 y 3 establecidas en el estudio de Microzonificación sísmica. En Zárate, Gómez y Rodríguez (2005), y en Rodríguez (2005), se propagó el movimiento del terreno para diferentes señales sísmicas de origen cercano, regional y lejano hasta la superficie. En el presente estudio se usaron los registros en superficie para movimientos horizontales y movimientos verticales en los puntos A, E, G y M de la figura 7. Dichas señales de salida del modelo numérico del suelo se convirtieron en las señales de entrada para las edificaciones estudiadas. Con el fin de considerar condiciones extremas, se usaron también los registros de un estudio de respuesta sísmica local del suelo en la zona de Corferias de Bogotá, tomado de Geoingeniería (2001) (figura 8). En la tabla 1 se presentan las características de algunas de las señales horizontales de entrada con las cuales se modelaron los edificios analizados.

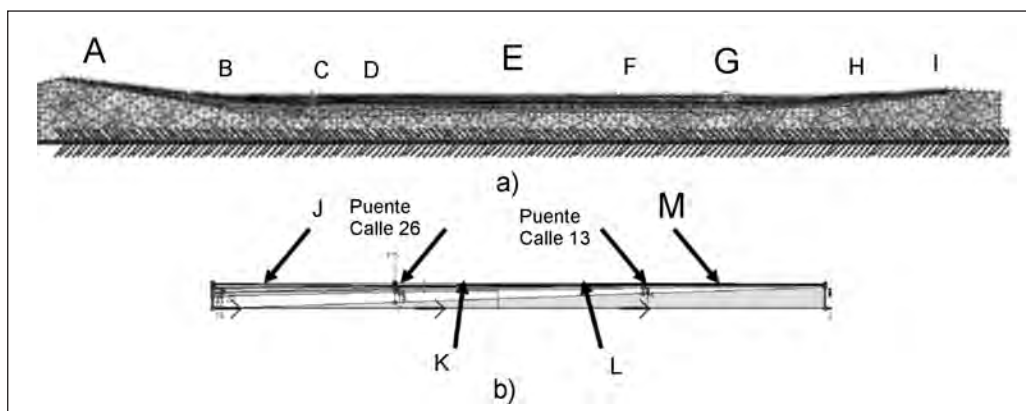
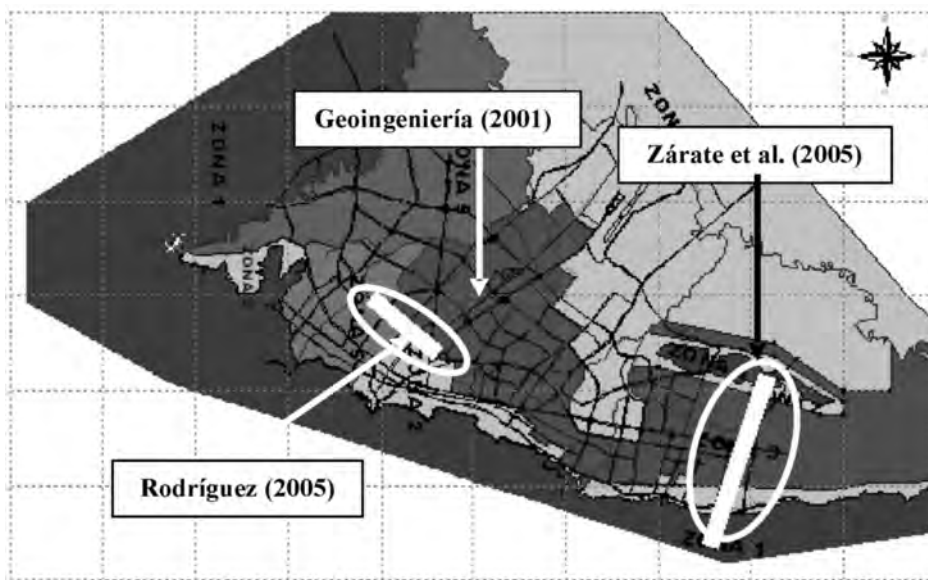


Figura 7 a) Vista en perfil de la zona de la ciudad analizada por Zárate, Gómez y Rodríguez (2005). b) Vista en perfil de la zona de la ciudad analizada por Rodríguez (2005). Imágenes adaptadas de las referencias originales.



En la figura 9 se presentan los espectros de respuesta en aceleración absoluta de las señales mencionadas, confrontadas con los espectros de diseño de la actual microzonificación de Bogotá. Las aceleraciones máximas de los registros usados varían entre 0,02 y 0,25 g.

Se usaron 33 señales (entre horizontales y verticales), 39 casos de análisis sísmico por pórtico, 7 edificaciones, dos pórticos planos por edificación, para un total de 546 casos analizados entre lineales y no lineales. Para efectuar estos análisis se consumieron los siguientes recursos: 180 horas construyendo los modelos numéricos de los pórticos y las rótulas plásticas, 580 horas corriendo los modelos (dos computadores con 1 Gbyte en RAM y procesador de 2.0 GHz), 320 horas obteniendo y analizando los resultados. En total fueron 1.080 horas (7 meses). Para almacenar la información se consumieron aproximadamente 44 Gigabytes de disco duro. Es importante anotar que

en caso de que se hubiesen realizado modelos estructurales tridimensionales, los dos computadores habrían tardado 48 meses en correr los casos de análisis.

ANÁLISIS NO LINEAL DINÁMICO Y RESULTADOS

El análisis no lineal dinámico se realizó mediante el programa SAP 2000 Nonlinear (CSI, 2003). En primer lugar, se elaboró un modelo tridimensional elástico de cada edificación con el fin de establecer los periodos y los modos de vibración y la rigidez relativa de los

pórticos y los muros estructurales. Posteriormente, se seleccionaron dos pórticos planos por edificio (un pórtico carguero y otro no carguero). Usando los planos de construcción de los edificios (geometría, refuerzo principal y de confinamiento, propiedades mecánicas de los materiales), se establecieron los diagramas momento-curvatura y momento-rotación de los pórticos planos (figura 10) a través del programa XTRACT (Imbsen y Chadwell, 2005). Para las columnas se establecieron los diagramas de interacción usando el mismo programa.

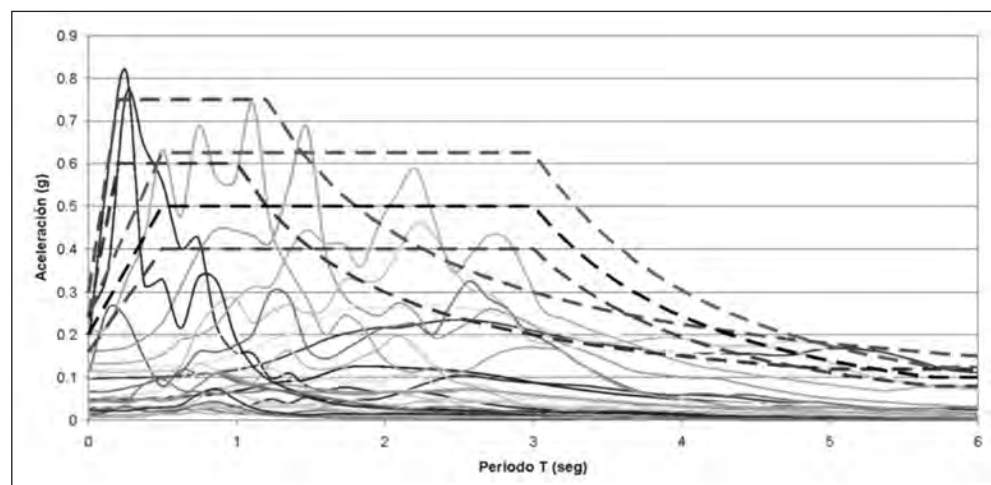


Tabla 2
Características de las señales de análisis en dirección horizontal

Señal	Acel. máxima (g)	Duración (s)	Período dominante (s)	Tipo	Referencia
Loma Prieta en Roca	0,25	40	0,3	Cercano	Ingeominas et al. (1997)
Loma Prieta en Corferias	0,16	82	1,5	Cercano con efectos de sitio	Geoingeniería (2001)
Tauramena en Roca	0,20	57	0,5 a 1,2	Regional	Ingenominas et al. (1997)
Tauramena en Corferias	0,13	62	2,2	Regional con efectos de sitio	Geoingeniería (2001)
Valparaíso en Roca	0,19	35	0,3	Regional	Rodríguez (2005)
Valparaíso en Corferias	0,15	35	0,8	Regional con efectos de sitio	Geoingeniería (2001)
Valparaíso en el punto A	0,02	30	0,8	Regional con efectos de sitio	Zárate, Gómez y Rodríguez (2005)
Valparaíso en el punto G	0,05	30	0,8	Regional con efectos de sitio	Zárate, Gómez y Rodríguez (2005)
Coyote en la Roca	0,11	27	0,3	Cercano	Rodríguez (2005)
Coyote en el punto A	0,05	24	1,0	Cercano con efectos de sitio	Zárate, Gómez y Rodríguez (2005)
Coyote en el punto G	0,10	24	0,3	Cercano con efectos en el sitio	Zárate, Gómez y Rodríguez (2005)
México en Corferias	0,07	123	1 a 3	Lejano (subducción) con efectos de sitio	Geoingeniería (2001)
México en Roca	0,04	123	0,6 a 2,7	Lejano (subducción)	Ingenominas et al. (1997)
México en el punto A	0,04	90	1,0 a 1,7	Lejano (subducción) con efectos de sitio	Zárate, Gómez y Rodríguez (2005)
México en el punto G	0,11	90	4,4	Lejano (subducción) con efectos de sitio	Zárate, Gómez y Rodríguez (2005)

Con las propiedades lineales y no lineales de los elementos estructurales, se determinaron las rótulas plásticas (a cortante, a flexión y a flexocompresión) de los 14 modelos numéricos por elementos finitos (2 pórticos por cada uno de los 7 edificios). La construcción de las

rótulas se basó en la referencia ATC (1996), asignando los respectivos límites de daño mostrados en la figura 11. Para los pórticos planos fue necesario construir y asignar 1998 rótulas plásticas.

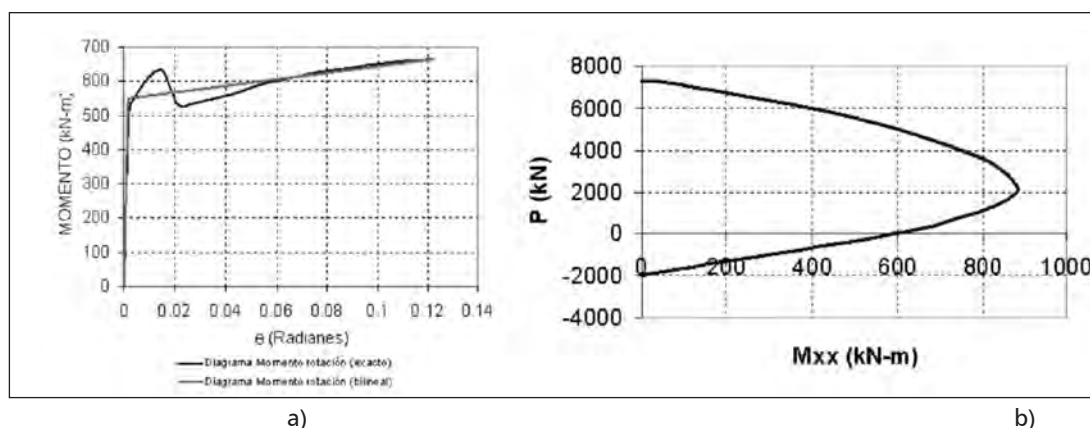


Figura 10 a) Ejemplo de diagrama momento-rotación b) Ejemplo de diagrama de interacción.

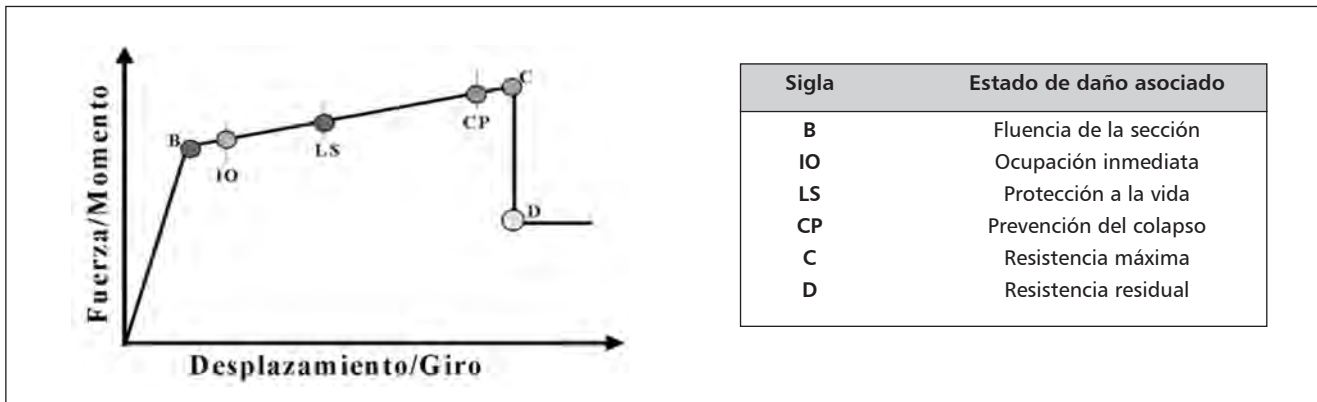


Figura 11 Niveles de daño de las rótulas plásticas.

Posteriormente se aplicaron las cargas gravitacionales (la totalidad de la muerta y el 20% de la carga viva que era 1,8 kN/m²) y las masas aferentes. En relación con lo anterior y con el fin de considerar las características tridimensionales de la edificación, se ajustaron las propiedades dinámicas de los pórticos planos para que coincidieran con las de la edificación tridimensional. Finalmente se crearon los casos de análisis para obtener los resultados del nivel de daño ante cada señal sísmica.

Teniendo en cuenta que al realizar análisis no lineales contra el tiempo se obtiene gran cantidad de datos de salida, se resumirán los resultados únicamente para tres pórticos, uno para cada una de las siguientes edificaciones: edificación alta (tipo 1, de 28 pisos), edificación de altura intermedia (tipo 4 de 12 pisos) y edificación

baja (tipo 7 de 4 pisos). Para cada una de las señales de análisis se mostrarán los niveles de rotulación (estados de daño sísmico) y las derivas máximas.

Edificio tipo 1 (28 pisos)

En la figura 12 se muestra la manera en que varía la rotulación y los estados de daño del pórtico de 28 niveles para el sismo de México a medida que este se ubica en estratos de suelo menos rígidos y más profundos. El nivel de rotulación de la edificación pasa de un nivel de fluencia (B) en el Punto A hasta un estado de daño que puede catalogarse como de seguridad a la vida (LS) en el Punto G. Lo anterior es consistente ya que, para suelos blandos y para señales lejanas, el periodo dominante

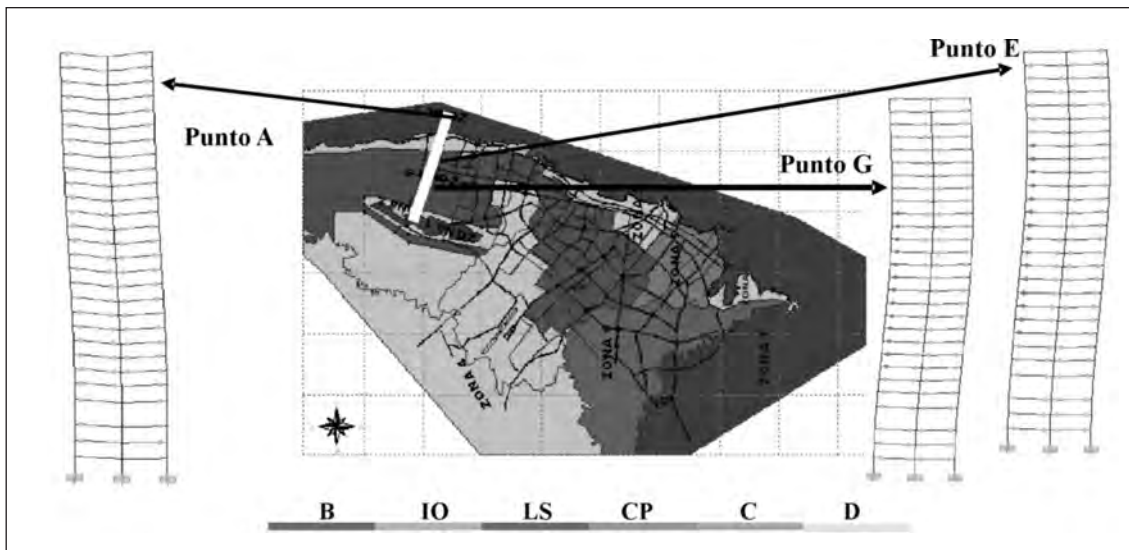
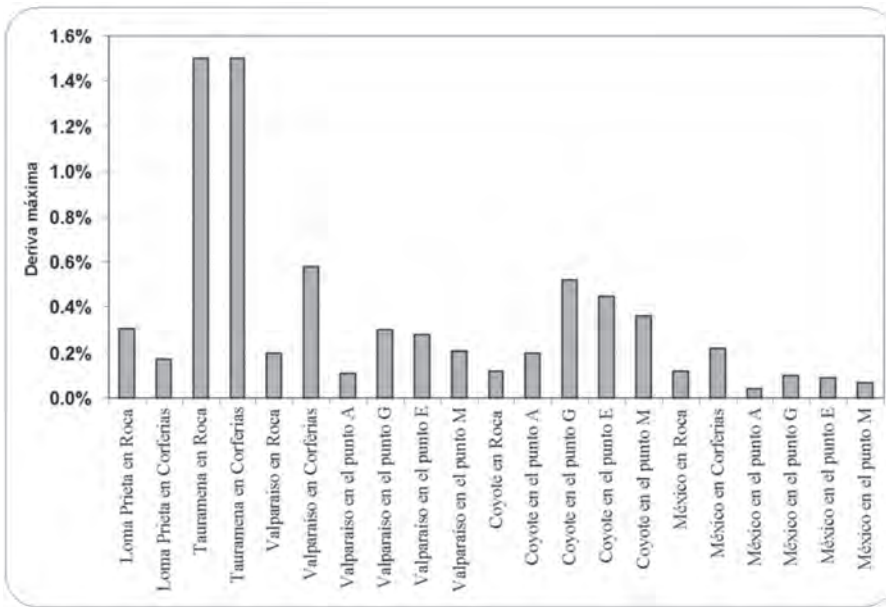


Figura 12 Comportamiento del pórtico de 28 pisos para el sismo de México en los puntos A, E y G.



En cuanto a las demás señales se observa que no generan derivas superiores al 0,6%, aunque claramente estas son más grandes para los registros afectados por efectos de sitio.

También se analizaron la rotulación y los diferentes estados de daño para cada señal sísmica, lo cual se resume en la figura 14 para el edificio de 28 pisos.

En esta gráfica se muestra la cantidad de rótulas generadas, así como la cantidad de rótulas posibles. Para las rótulas generadas, se indica el porcentaje de estas en los diferentes estados de daño (B, IO, LS, CP, C, y D). En general y corroborando

de la señal se acerca al periodo de fundamental de esta edificación alta.

Al analizar la deriva de entrepiso, en la figura 13 se observa que esta supera el 1% para las señales de Tauramena, tanto en Corferias como en Roca. Esto es de esperarse ya que se han presentado diversos debates sobre la validez de esta señal sintética (Martínez et al., 2002), la cual fue derivada del sismo de Tauramena del 19 de enero de 1995 registrado en la estación el Rosal.

las observaciones de las derivas, el daño en las rótulas es mayor en los estratos de suelos blandos afectados por sismos lejanos llegando al estado de seguridad a la vida (LS), aunque se debe aclarar que la mayoría de las rótulas generadas por los sismos están en el estado de fluencia. La afectación de la edificación por los efectos de sitio es más marcada en el caso de los sismos de origen lejano en Corferias y los puntos E y G, donde se

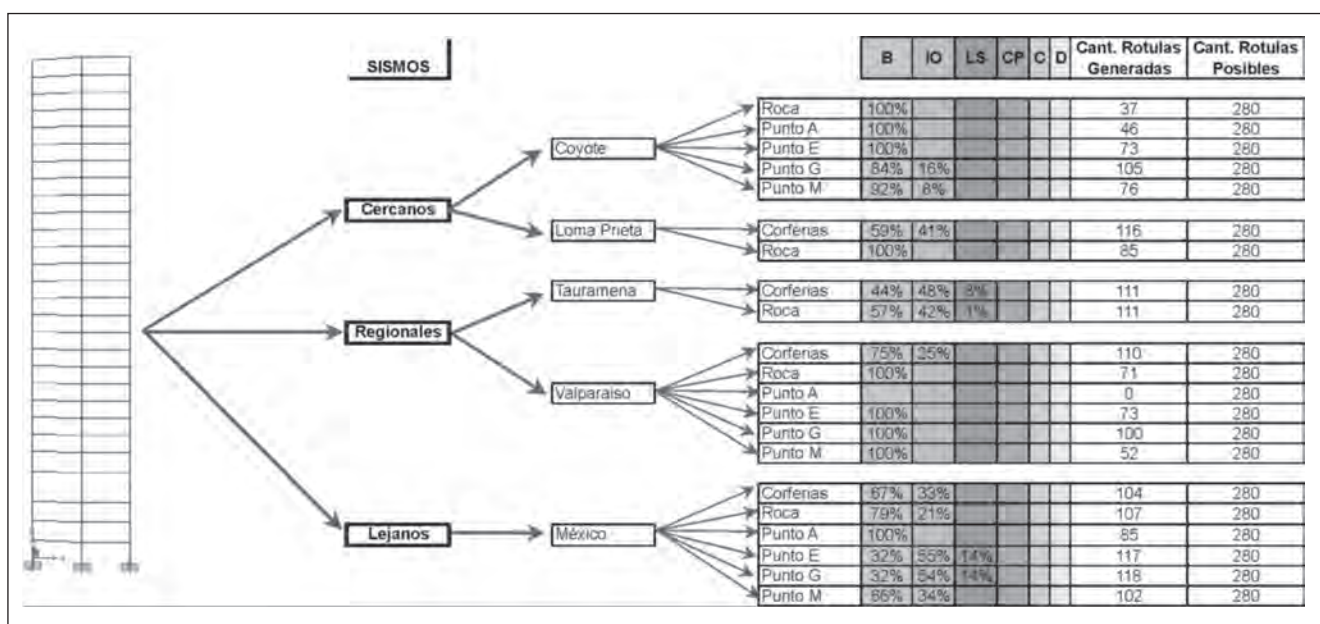
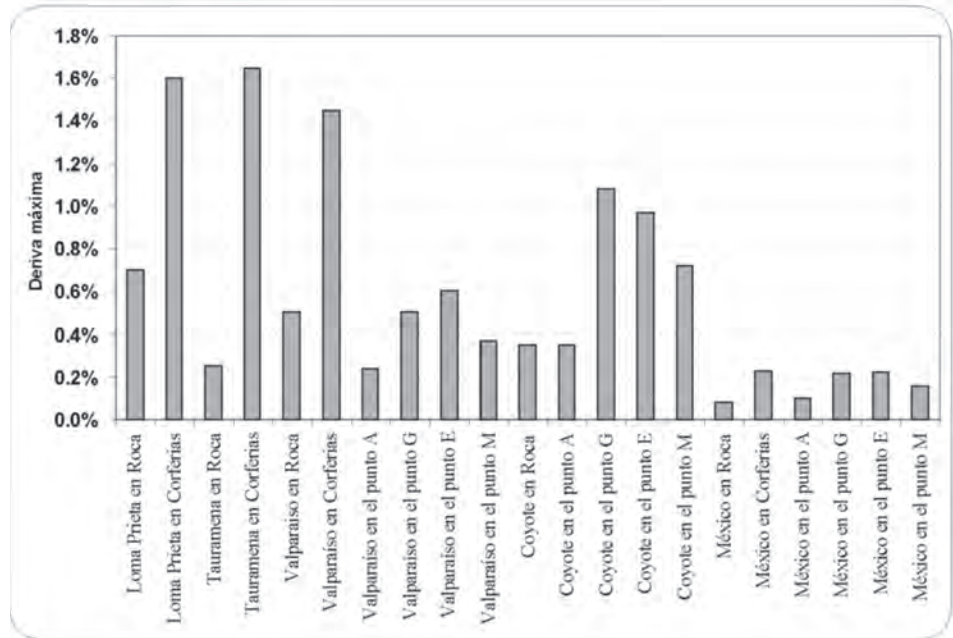


Figura 14 Niveles de rotulación del edificio tipo 1 (28 pisos) para las diferentes señales de análisis.

generan alrededor del 40% de las 280 posibles. También, se observa como caso crítico el comportamiento del pórtico ante el sismo de Tauramena ya discutido anteriormente, el cual no es concluyente con respecto al comportamiento del edificio por los problemas ya mencionados de dicha señal.

Edificio tipo 4 (12 pisos)

Este tipo de edificación de altura intermedia es la que se ve más afectada por los efectos de sitio al compararla con el edificio alto de 28 pisos y el edificio de 4 pisos. En la figura 15 se observa que en los niveles de deriva son superiores a los del edificio de 28 pisos. Así mismo, se observa que en los lugares donde se tienen estratos de suelos blandos de un espesor importante (puntos E, G y en Corferías), las derivas son mayores que en los lugares donde se tienen suelos competentes de poco espesor (punto A) o en la roca.



Desde el punto de vista del daño sísmico, en este edificio se generan rótulas en todos los estados de daño considerados. A diferencia del edificio de 28 pisos, donde la mayoría de las rótulas estaban en el estado de fluencia, en este edificio de 12 pisos la mayor cantidad de rótulas se ubica en un estado de daño superior al de ocupación inmediata. La respuesta de la edificación es

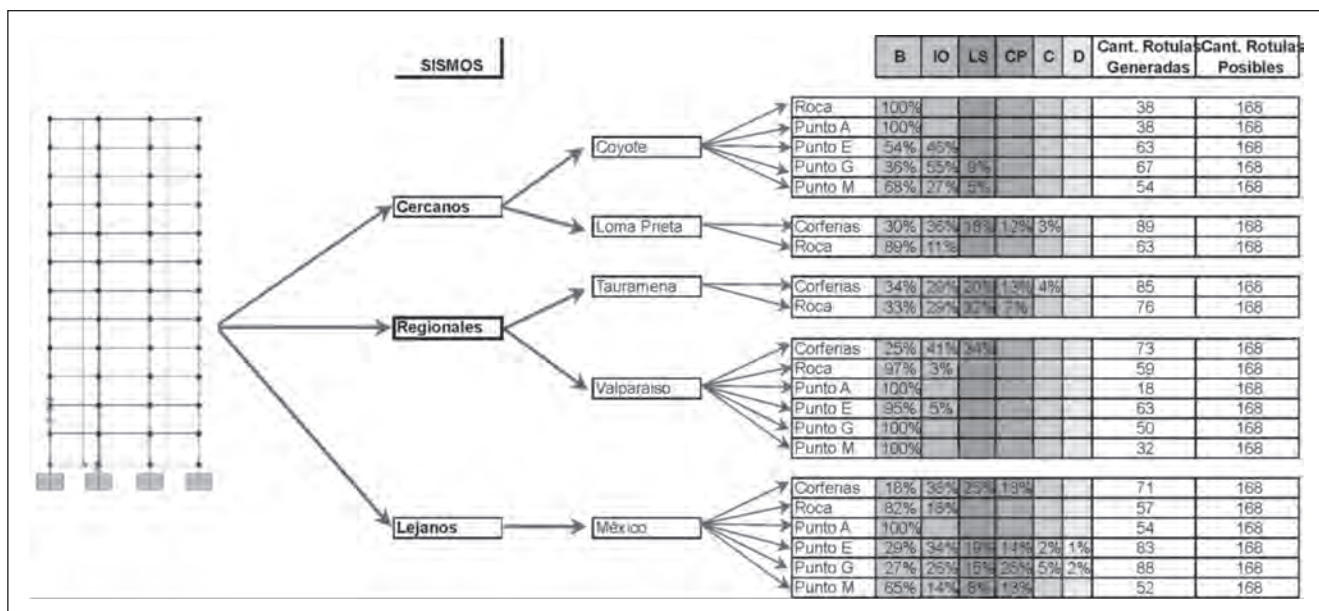
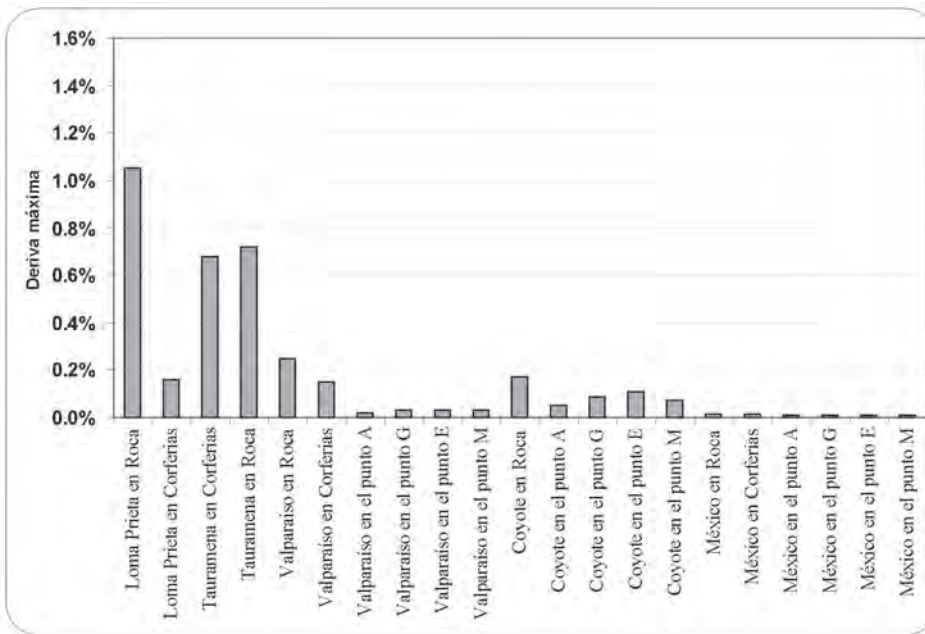


Figura 16 Niveles de rotulación del edificio tipo 4 (12 pisos) para las diferentes señales de análisis.



al daño presentado en las condiciones de roca.

Edificio tipo 7 (4 pisos, reforzado sísmicamente)

Esta edificación fue construida antes de 1984, razón por la cual no contaba con la rigidez ni la capacidad de deformación en el rango inelástico adecuada para soportar sismos de alguna importancia. En 2005 fue rehabilitada y reforzada aumentando las dimensiones de columnas y vigas, entre otros aspectos.

La deriva de la edificación no supera el 1% en la mayoría de los casos, a excepción del registro de Loma Prieta en

crítica para el caso de los sismos con estratos de suelos blandos y profundos, como en la zona de Corferías y en los puntos E y G, donde se llega a niveles de daño avanzado (hasta un 30% de rótulas generadas en los niveles CP, C y D), siendo estos resultados mucho más críticos para el pórtico carguero en estudio.

A la luz de los resultados, los efectos de sitio generan en promedio un daño entre un 50 y un 70% superior

Roca, como se aprecia en la figura 17. Este sismo es bastante crítico para este pórtico, debido fundamentalmente a que el periodo de la estructura rehabilitada es 0,3 segundos (originalmente era 0,9 s), que coincide con el periodo dominante de la señal. Este efecto hace que el caso crítico en esta edificación no sea para sismos afectados por efectos de sitio, sino para señales

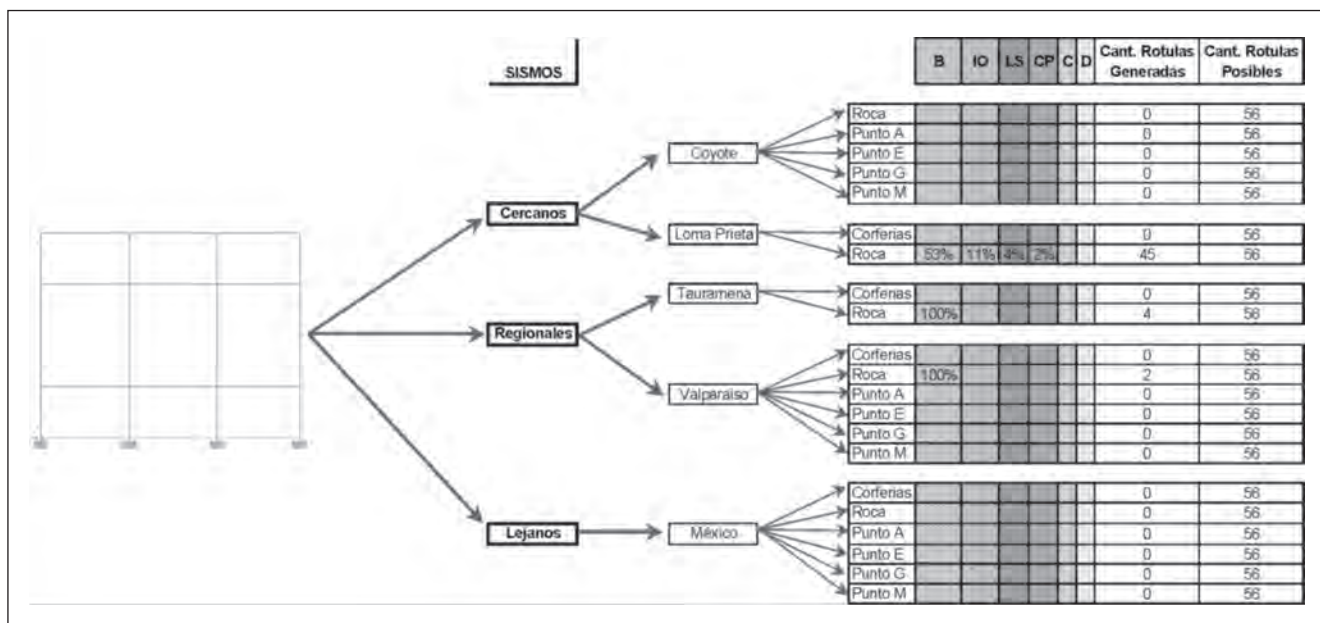


Figura 18 Niveles de rotulación del edificio tipo 7 (4 pisos) para las diferentes señales de análisis.

con periodos bajos, como el caso de los registros de origen cercano en estratos rocosos.

Desde el punto de vista del daño sísmico, solamente los registros de Loma Prieta y Tauramena rotulan la estructura. No obstante, no se analiza el caso del registro de Tauramena. Para el caso del registro de Loma Prieta, en roca, se genera un mecanismo de colapso que no permite que la estructura llegue al final del análisis, puesto que de un total de 45 rótulas generadas (de 56 rótulas posibles), 24 (53%) son de fluencia, 7 (16%) son de daños controlados, 14 (31%) son de colapso (figura 18). Debido a que el porcentaje de rótulas de colapso es bastante alto, se corrobora que este sismo es crítico para la edificación y que los efectos locales no son de importancia.

CONCLUSIONES

Con base en el estudio realizado, se plantean las siguientes conclusiones generales para edificaciones con sistema estructural en pórticos de concreto reforzado construidos con las especificaciones de AIS (1998) e Ingeominas et al. (1997), ubicadas en Bogotá:

- Según los resultados obtenidos, es probable que para una edificación alta (con periodo en el orden de 2.0 s o más) se presente el caso más crítico cuando esta se somete a un sismo de origen lejano que atraviese un estrato de suelo blando y de profundidades considerables (como los de la Sabana de Bogotá). Esta edificación se daña en promedio un 40% más en sitios con efectos locales que cuando se ubica en un estrato de suelo rígido.
- Para edificaciones con alturas intermedias (periodos entre 0,5 y 1,8 s) no es posible determinar claramente los lugares de Bogotá donde se presenten las peores condiciones, puesto que existe un amplio rango de periodos tanto de los sismos como de los estratos de suelo que pueden afectar la edificación. No obstante, a la luz de los resultados, los efectos de sitio generan en promedio un daño entre un 50 y un 70% superior al daño presentado en las condiciones de roca.
- Para el caso de edificaciones rígidas con periodos bajos (inferiores a 0,3 s), no se presentan daños considerables, excepto en el caso en que este tipo de edificación se ubique en la roca y se someta a un sismo cercano. A la luz de los resultados, los efectos

de sitio por suelos blandos para este tipo de edificios en la ciudad de Bogotá no generan un daño de preocupación.

TRABAJOS ACTUALES Y FUTUROS

- Extender el análisis realizado a otras zonas de la capital colombiana.
- Evaluar del daño sísmico de edificaciones de concreto reforzado (pórticos) mediante análisis no lineales estáticos de Pushover.
- Determinar la influencia de la interacción suelo-estructura en la estimación del daño sísmico de pórticos de concreto reforzado, ubicados en Bogotá.
- Evaluación del daño sísmico mediante análisis no lineales dinámicos de pórticos tridimensionales sometidos a señales con efectos de sitio.
- Estimación del daño sísmico en edificaciones de sistemas industrializados de concreto (muros estructurales) sometidas a efectos de sitio en Bogotá.

REFERENCIAS

1. Akkar, S. y Metin, A. Assessment of Improved Nonlinear Static Procedures in FEMA 440. *Journal of Structural Engineering*, Vol. 133, No 9, pp. 1237-1246.
2. AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica) (1998). Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-98). Bogotá, Colombia.
3. ATC (Applied Technology Council)(1996). *ATC 40 seismic evaluation and retrofit of concrete buildings*. Vol. 1, Seismic Safety Commission, State of California.
4. Bielak, J., Xu, J. y Gatas, O. (1999). Earthquake ground motion and structural response in alluvial valleys. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 125, 5.
5. Binaria (2006). Mapa de amenaza sísmica y variables asociadas de Bogotá D.C. Documento en borrador.
6. Cardona, O.D., Yamín, L.E. (1997). Seismic Microzonation and Estimation of Earthquake Loss. Scenarios: Integrated Risk Mitigation Project of Bogotá, Colombia. *Earthquake Spectra*, 13 (4).
7. Cardona, O.D., Ordaz, M., Arámbula, S., Yamín, L.E., Mahul, O., Ghesquiere, F., Marulanda, M. (2006). Modelación de pérdidas por terremoto con fines de protección financiera. La Red: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. www.desenredando.org/public/articulos/2007/articulos_omar/Modelacion_perdidas_ODC_LaRED.pdf. Documento consultado en la página web: <http://www.desenredando.org/index.html>. Fecha de consulta, diciembre de 2007.
8. CSI (Computers and Structures Inc). (2003). SAP 2000, v 8.2.3. Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures, Nonlinear.
9. ECI (Escuela Colombiana de Ingeniería) (2006). Mesa redonda: Foro internacional sobre la Microzonificación Sísmica de Bogotá. Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería, No. 62, abril-junio de 2006.

10. GeolIngeniería (2001). *Asesoría Técnica y Sismológica Para la Evaluación y Reforzamiento Sísmico del Edificio de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá*. Bogotá.
11. Imbsen and Associates Inc. and Chadwell C. (2005). XTRACT v. 3.0.4. Cross Section analysis program for structural engineers. Educational Version.
12. INGEOMINAS (Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química), UPES (Unidad de Prevención y Atención de Emergencias de Santafé de Bogotá), DNPA (Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres) y Universidad de los Andes. Microzonificación Sísmica de Santa Fe de Bogotá. Agosto de 1997.
13. JICA y FOPAE (2002). Estudio para la prevención de desastres para Bogotá y ocho municipios aledaños. Estudio realizado por Pacific Consultants International y OYO Corporation.
14. Martínez, A., Alvarado, C., Rubiano, D., Ojeda, A. (2002). Posibles implicaciones de las condiciones locales en estaciones de referencia para la evaluación de la respuesta dinámica. Primer Simposio Colombiano de Sismología. Bogotá.
15. Rodríguez, J.A. (2005). Respuesta dinámica de suelos blandos de Bogotá. Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica IX Jornadas. Concepción, Chile.
16. Rodríguez, J.A. (2005a). Comportamiento dinámico de suelos blandos de Bogotá. Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica IX Jornadas. Concepción, Chile.
17. Zárate, A., Gómez, M., Rodríguez, J.A. (2005). *Efecto de las ondas superficiales ante un evento sísmico en la zona plana del norte de Bogotá*. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

Análisis acoplado de esfuerzo-deformación-flujo para excavaciones en suelos blandos

JORGE ALBERTO RODRÍGUEZ

IC, MSCE, PhD. Profesor asociado de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. _rodriguezja@javeriana.edu.co

JUAN DANIEL MOYA

Ingeniero civil, Jeoprobe Ltda., profesor de cátedra de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. lomica01@gmail.com.

Artículo recibido: 16/02/2007
Evaluación: 16/04/2008
Aprobado: 18/04/2008

Resumen

La estabilidad de las excavaciones en suelos blandos depende directamente de las condiciones del agua, puesto que la distribución de las presiones de poros determina los esfuerzos efectivos, y estos a su vez las deformaciones que se inducen en el suelo y su resistencia. El presente artículo ilustra, con diferentes distribuciones de presiones generadas por las condiciones del agua, las deformaciones inducidas en excavaciones típicas que se realizan en Bogotá, calculadas a partir de modelos numéricos en elementos finitos, considerando condiciones de flujo transitorio y flujo establecido acoplados con análisis no lineales de deformación.

Palabras clave: modelos numéricos, análisis acoplados, suelos blandos, excavaciones.

Abstract

The behavior of excavations in soft soils depends on the conditions of ground water because of its effect on effective stresses that determine the strength and deformations in soils. This paper studies the effect of considering different conditions of ground water pressures in typical cases of excavations on soft soils in Bogotá. Steady state and transient ground water flow conditions associated with the constructions procedures are considered. These water flow analyses are coupled with non-linear stress-strain-strength computations using finite element analysis.

Key words: Numerical models, coupled analysis, soft soils, excavations.

INTRODUCCIÓN

El agua representa un papel importante en la estabilidad de las excavaciones; sin embargo, la distribución de las presiones del agua no se conoce de manera precisa, pues el proceso involucra variaciones espaciotemporales que dificultan o imposibilitan el cálculo analítico del problema.

La importancia de establecer las distribuciones de presiones del agua en el fondo y los alrededores de la excavación radica en conocer el proceso de deformación que experimenta el suelo debido al cambio de esfuerzos efectivos. En algunas ocasiones, el efecto de las subpresiones originadas en el fondo de las excavaciones genera expansiones del suelo que pueden afectar la superestructura de las edificaciones, como se ha observado en algunos edificios construidos en la ciudad de Bogotá.

Los resultados de las modelaciones mostradas en el presente artículo tienen como objeto ilustrar las deformaciones generadas en el suelo a partir de diferentes distribuciones de presiones de poros, con el fin de adoptar criterios adecuados al estimar el comportamiento de las excavaciones. Los escenarios analizados corresponden a condiciones de carga drenada y no drenada, y para cada una de estas se establecen dos condiciones de flujo del agua. En una se suponen niveles freáticos constantes y en la otra se supone que el nivel alcanza la condición de flujo establecido. En cada uno de los anteriores escenarios se calcularán las deformaciones asociadas, con el fin de apreciar la sensibilidad de la respuesta del suelo ante el cambio de las presiones del agua.

Además, se reportan los resultados obtenidos a través de modelos de flujo transitorio y de consolidación, con el objeto de apreciar el cambio de las presiones del agua y las cabezas hidráulicas en el tiempo.

Las modelaciones se realizaron con los programas Plaxis 7.2 Profesional (Plaxis, 1998), para el análisis de esfuerzos deformaciones y flujo establecido, y Plaxflow 1.2 (Plaxis, 2004), para los análisis de flujo transitorio. Los análisis de flujo con Plaxflow se pueden integrar con los análisis mecánicos de Plaxis para llevar a cabo análisis completos acoplados.

MODELOS Y PARÁMETROS DE SUELOS USADOS

Para los análisis de estabilidad y deformación, se utilizó el modelo Hardening Soil (HS) (Schanz et al., 1999), cuya formulación está basada en la teoría de la plasticidad, considerando un tipo de endurecimiento isotrópico. El modelo simula la no linealidad del comportamiento esfuerzo-deformación de los suelos, adoptando una relación hiperbólica entre las deformaciones axiales y el esfuerzo desviador, descritos por la siguiente ecuación entre el esfuerzo desviador q y la deformación axial e_v para la condición de carga axial:

$$-\varepsilon_1 = \frac{1}{2E_{50}} \frac{q}{1 - q/q_a} \quad \text{para } q < q_a$$

donde q_a es el valor de resistencia asintótica. El parámetro E_{50} , que depende de la presión de confinamiento, determina la relación esfuerzo deformación y se calcula como

$$E_{50} = E_{50}^{ref} \left(\frac{c \cot \varphi - \sigma_3}{c \cot \varphi + p^{ref}} \right)^m$$

donde E_{50}^{ref} es el módulo de rigidez calculado para la presión de referencia (P_{ref}), y depende de la presión de confinamiento a través del parámetro m . El HS considera el criterio de falla de Mohr Coulomb; por tanto, usa los parámetros de resistencia efectivos c' , φ' , correspondientes a la cohesión y ángulo de fricción interna del suelo.

El modelo también considera plasticidad volumétrica con una ley de compresión logarítmica y coeficientes de compresión diferenciados en carga y descarga, así como memoria de la máxima presión previa de sobrecarga (Brinkgrvee & Vermeer, 1998).

Los parámetros usados en los modelos presentados en este artículo fueron tomados con base en estudios previos de excavaciones en la ciudad de Bogotá (Rodríguez et al., 2004), y se presentan en la tabla 1.

Los análisis hechos en el modelo de flujo fueron utilizados por el modelo bidimensional de deformación para generar el estado de esfuerzos a partir de los cálculos de presiones y gradientes hechos con el programa Plaxflow. Este modelo de flujo permite efectuar análisis de flujo establecido y transitorio a partir de las ecuaciones constitutivas de flujo en medios porosos:

$$q_x = -k_x \text{grad} \phi \quad \text{Ley de Darcy}$$

$$\frac{\partial(n\rho)}{\partial t} = -\text{div} \partial q \quad \text{Ecuación de continuidad}$$

Las modelaciones realizadas utilizan modelos para materiales saturados; por tanto, los parámetros de entrada son únicamente los valores de permeabilidad (k_x y k_y) de los materiales que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1
Parámetros utilizados en los modelos

	Unidad	Arcilla 1	Arcilla 2	Arcilla 3	Arcilla 4
Y_w	[kN/m ³]	13,5	14	13,5	19
k_x	[m/day]	0,0006	0,0002	0,0006	0,00015
k_y	[m/day]	0,0006	0,0002	0,0006	0,00015
E_{50}^{ref}	[kN/m ²]	4250	5000	4000	15000
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	[kN/m ²]	1768,27	2375,64	2120,80	9057,17
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	[kN/m ²]	8500	10000	8000	70000
c	[kN/m ²]	12	18	7	22
Φ	[°]	27	30	26	30
v_{ur}	[-]	0,2	0,2	0,2	0,3
p_{ref}	[kN/m ²]	100	100	100	100
m	[-]	1	1	1	1
K_0^{nc}	[-]	0,44	0,50	0,56	0,50
R_f	[-]	0,8	0,9	0,9	0,8

MODELO

El modelo utilizado en las simulaciones corresponde a una excavación de 6,5 m con taludes 1:1, cuyo nivel freático se encuentra inicialmente a 2 m bajo la superficie del terreno. El perfil estratigráfico usado para las modelaciones corresponde a un corte típico de la sabana de Bogotá, cuyos parámetros aparecen en la tabla 1. A continuación se muestra la malla de elementos finitos utilizada, está conformada por elementos triangulares de quince nodos, los cuales tienen un alto grado de continuidad y producen resultados de alta precisión en los análisis.

Análisis

Los procesos de deformación de los suelos arcillosos blandos son altamente dependientes del tiempo, pues las relaciones esfuerzo, deformación resistencia, están gobernadas por los esfuerzos efectivos y estos a su

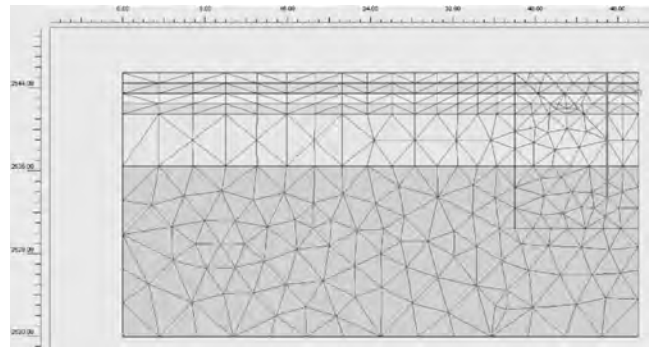


Figura 1. Geometría del modelo y malla de elementos finitos usada.

vez por las presiones del agua en los poros del suelo. Las presiones de poros cambian por varios efectos. Por ejemplo, cuando ocurren cambios de esfuerzos, el suelo trata de deformarse, lo cual produce una tendencia de cambio de volumen. Al estar saturado el suelo y con una permeabilidad muy baja, característica de suelos arcillosos blandos, el agua no puede fluir y se producen cambios en la presión del agua que se disipa con el tiempo dando lugar a lo que se conoce como consolidación. Esto corresponde a un problema de flujo transiente acoplado con deformaciones. Así mismo, cambios en las condiciones de frontera de flujo, debidas por ejemplo al cambio de geometría al hacer la excavación, producen cambios en la cabeza hidráulica. Si las condiciones permanecen constantes, la situación se equilibra a largo plazo, pero mediante un proceso de flujo transiente desde el momento del cambio en la geometría. Este proceso depende de la permeabilidad del suelo, y también afecta el estado de esfuerzos y deformaciones.

Por tanto, debido a que la permeabilidad de los suelos arcillosos es muy baja, con el tiempo se desarrollan los procesos de deformación. La presencia del agua y la manera en que se generan o cambian las presiones del agua, debido a cambios de esfuerzos o de condiciones de flujo, determinan el comportamiento mecánico del conjunto.

Cuando se analiza el comportamiento de las excavaciones usualmente se consideran dos condiciones a partir de análisis a corto y largo plazos, en los cuales se suponen condiciones no drenadas (condición inicial sin flujo de agua) y drenadas (condición final en la que se han disipado los excesos de presiones producidas

por los cambios de esfuerzos y se tiene una condición de flujo establecido). A partir de estas suposiciones se hacen análisis orientados hacia el diseño. La complejidad del proceso físico genera la necesidad de simplificar el problema de manera que pueda ser solucionado de alguna forma práctica para los diseños de ingeniería. Sin embargo, se debe tener pleno conocimiento del fenómeno físico para tomar decisiones acertadas.

Cuando es removido el material para conformar una excavación, el suelo sufre un proceso de descarga, lo cual genera una reacción inmediata en el material, liberando la energía que tenía almacenada por el peso de suelo que soportaba inicialmente. La energía liberada se traduce de inmediato en una expansión volumétrica del suelo en los alrededores de la excavación y es limitada por la condición del agua que se establezca después de hacer la excavación.

Debido a la expansión volumétrica inducida en el suelo y a las características hidráulicas del geomaterial, se generan gradientes hidráulicos que inician procesos acoplados de flujo y deformación (consolidación) dependientes del tiempo, que determinan de manera importante las deformaciones inducidas en el suelo.

Con el objeto de ilustrar las deformaciones generadas en las excavaciones bajo diferentes suposiciones en las condiciones del agua, a continuación se presentan algunas simulaciones, utilizando parámetros reales de los suelos característicos de la ciudad de Bogotá, en las cuales se aplica el método de elementos finitos para hacer análisis acoplados de flujo-esfuerzo-deformación-resistencia considerando condiciones establecidas y transitorias de flujo.

Escenario 1

En este escenario, se supone una condición no drenada en la cual la tabla de agua permanece constante antes de la excavación y después de esta. Las distribuciones de presiones de poros y la tabla de agua después de la excavación se muestran en la figura 2.

En esta figura se puede apreciar que la distribución de presiones de poros no corresponde exactamente con una distribución hidrostática, debido a la generación de excesos de presiones de poros a causa de la condición no drenada en la excavación (figura 3). Este escenario representa una condición inmediata después

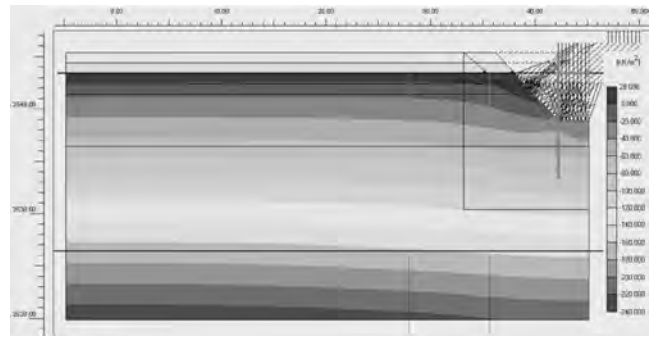


Figura 2. Presiones de poros. Escenario 1.

de la excavación, a partir de la cual empieza el proceso de consolidación.

Los excesos de presiones de poros que se inducen en los alrededores de la excavación son negativos, es decir, de succión, que favorecen la estabilidad de la misma, pues el cambio en las presiones de poros incrementa el esfuerzo efectivo y genera factores de seguridad más altos. Sin embargo el factor de seguridad es función de las presiones originadas en el agua y estas, a su vez, son dependientes del tiempo. Con esta premisa es evidente que, sin considerar otros cambios en la presión de poros, a medida que pasa el tiempo y se desarrolla el proceso de consolidación, el factor de seguridad decrece.

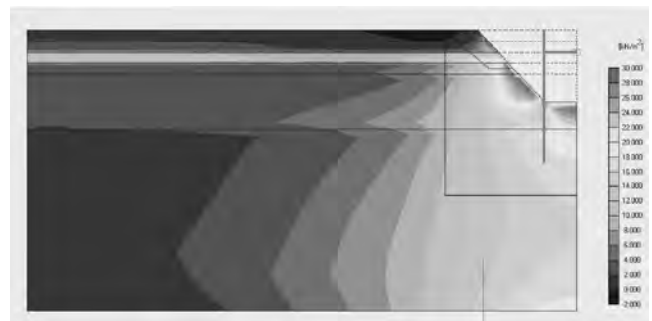


Figura 3. Exceso de presiones de poros. Escenario 1.

Es de esperar que en este escenario se generen los menores desplazamientos en el suelo, puesto que la condición no drenada impide que el suelo se deforme libremente por la presencia del agua en los intersticios. En la figura 4 se muestran las deformaciones calculadas en este caso.

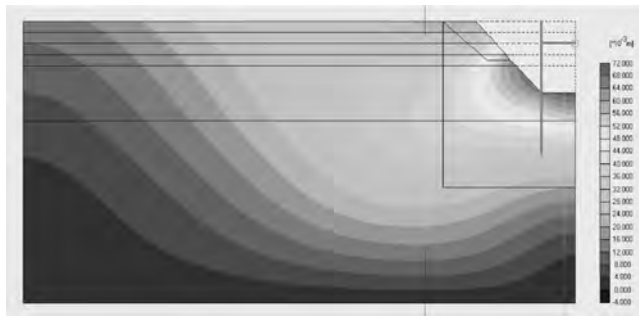


Figura 4. Desplazamientos totales. Escenario 1. El valor máximo corresponde a 7,2 cm.

Escenario 2

Este escenario corresponde a la condición no drenada, considerando un abatimiento del nivel freático de manera tal que se genera una condición de flujo establecido. Debido a que el proceso de consolidación y el abatimiento del nivel freático ocurren de manera simultánea, es muy poco probable que este escenario se presente en la realidad. Este caso supone una condición a corto plazo debido al desarrollo inmediato de excesos de presiones de poros a causa de la excavación, y una condición de flujo a largo plazo en la cual el agua alcanza una condición estable.

Los análisis de consolidación y de flujo transitorio modelados dan como resultado los tiempos necesarios para desarrollar el proceso de consolidación y la condición estable de flujo en el talud de excavación de 1000 días y 650 días respectivamente, lo cual indica que cuando el agua alcanza la condición estable de flujo, el proceso de consolidación se encuentra a más del 99%, como lo muestra la figura 5. Sin embargo, niveles de más del 90% se obtienen en un tiempo del orden de 50 días.

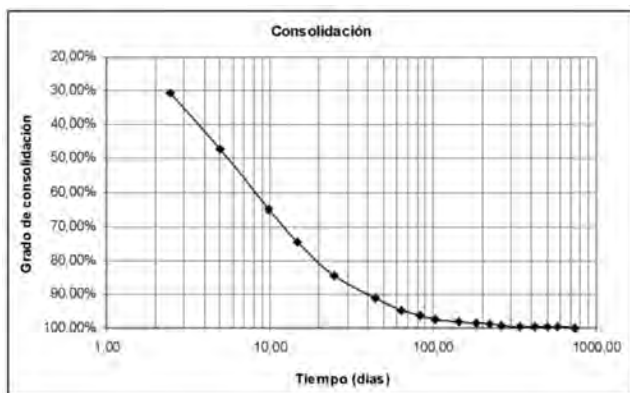


Figura 5. Curva de consolidación.

Las distribuciones de presiones de poros en este escenario también se ven afectadas por las condiciones no drenadas. Las presiones del agua se muestran en la figura 6; se pueden apreciar las diferencias con respecto a las distribuciones supuestas en el escenario anterior.

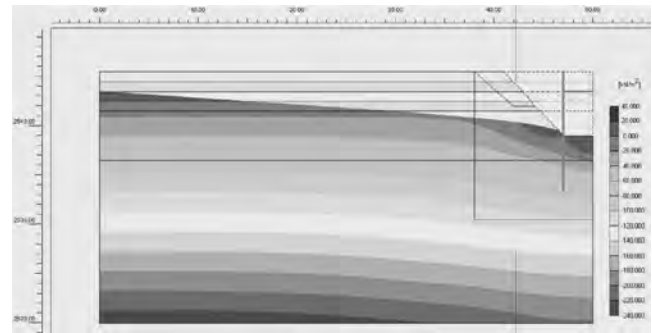


Figura 6. Presiones de poros. Escenario 2.

Con las suposiciones hechas previamente, los desplazamientos totales calculados en el escenario 2 reportan los valores mostrados en la figura 7.

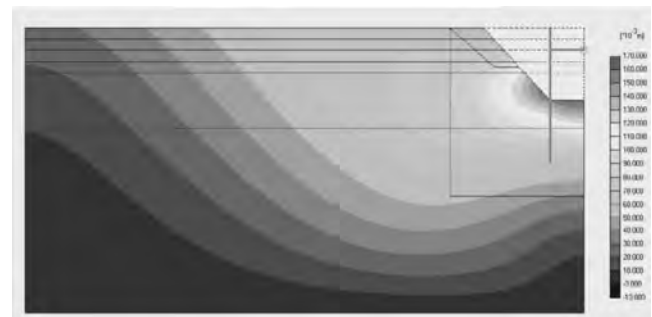


Figura 7. Desplazamientos totales. Escenario 2. El valor máximo corresponde a 17 cm.

Comparando los valores máximos obtenidos en el escenario 1 con los resultados del escenario 2 se observan desplazamientos de 7 y 17cm. Es evidente la diferencia del comportamiento para la misma condición no drenada en diferentes casos de las condiciones de flujo del agua.

Escenario 3

El escenario 3 simula las mismas condiciones del agua que se consideraron en el escenario 1, con la diferencia que en este caso se supone un comportamiento drenado con el fin de analizar las deformaciones totales al final del proceso de consolidación, es decir, excesos de presiones de poros iguales a cero.

La distribución de las presiones de poros en este caso corresponde a distribuciones hidrostáticas, como se muestra en la figura 8.

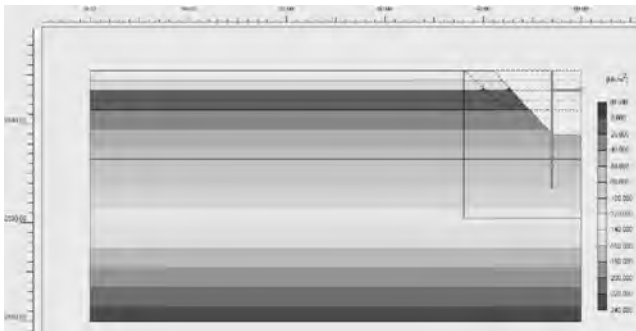


Figura 8. Presiones de poros. Escenario 3.

En este caso los desplazamientos obtenidos son más grandes que los obtenidos en el escenario 1, como era de esperarse, puesto que se disipan los excesos de presiones de poros que soportaba el agua y las partículas del suelo se acomodan completamente. En la figura 9 se muestran los desplazamientos totales obtenidos en este caso.

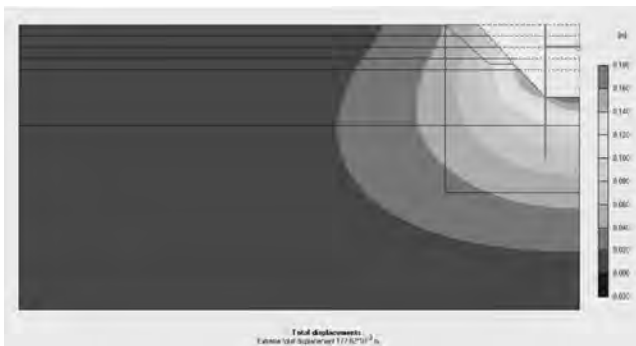


Figura 9. Desplazamientos totales. Escenario 3. El valor máximo corresponde a 18 cm.

Escenario 4

El escenario 4 corresponde a la condición drenada en la cual se ha alcanzado una condición estable de flujo. Este caso ilustra la condición más representativa a largo plazo, en el caso que la excavación se deje libre (sin recubrimiento) y las condiciones regionales de agua no varíen. Las distribuciones de presiones de poros para esta condición se presentan en la figura 10.

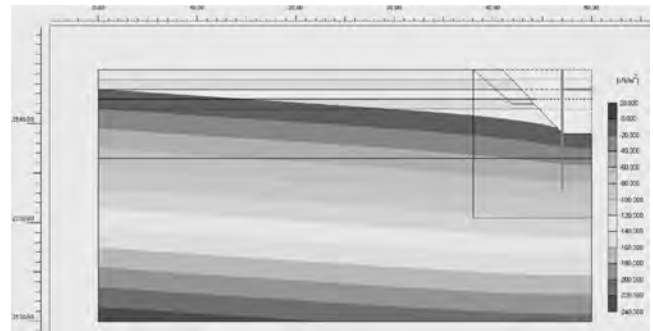


Figura 10. Presiones de poros. Escenario 4.

Este escenario representa el caso más desfavorable de la excavación en cuanto a deformaciones, aunque el factor de seguridad alcanzado en esta etapa es mayor que a corto plazo por el abatimiento de las presiones de aguas debido al flujo. Los excesos de presiones de poros se han disipado, las deformaciones en el suelo han alcanzado niveles considerablemente grandes y los desplazamientos en la base de la excavación alcanzan valores cercanos a 30 cm, como se muestra en la figura 11.

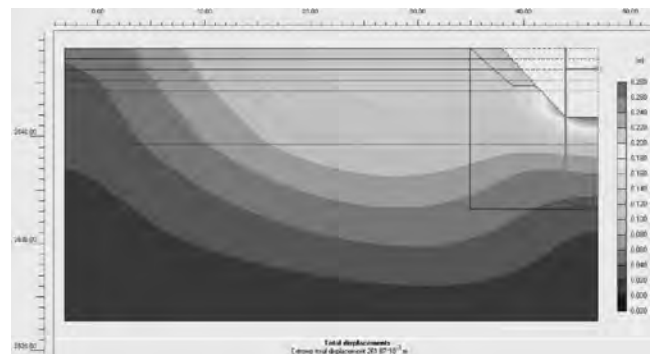


Figura 11. Desplazamientos totales. Escenario 4. El valor máximo corresponde a 28 cm.

Al comparar los resultados obtenidos en los cuatro escenarios mencionados, se puede apreciar claramente la gran influencia de las consideraciones que se hagan en cuanto a las condiciones del agua en el proceso de deformaciones del suelo con el tiempo. En estos análisis debe tenerse en cuenta que los procesos de flujo que se desarrollan en los suelos (consolidación y distribuciones de presiones de agua por la presencia del nivel freático) ocurren siempre de manera simultánea, aunque se calculen de manera separada. En la tabla 2 se muestra el resumen de los desplazamientos máximos obtenidos en los 4 escenarios.

Tabla 2

Resumen de desplazamientos totales máximos obtenidos

DESPLAZAMIENTOS TOTALES (cm)			
Condición no drenada		Condición drenada	
Sin cambio en la tabla del agua	Condición de flujo estable	Sin cambio en la tabla del agua	Condición de flujo estable
7,2	16,28	17,78	26,18

Resultados de flujo transitorio

Con el fin de analizar el desarrollo de las presiones y cabezas hidráulicas en el tiempo, se hicieron modelaciones de flujo transitorio en las cuales se establecían las condiciones de frontera antes de la excavación y después de esta, y a partir de ese momento se observaba como se abatía el nivel freático en el modelo.

Se tomaron como puntos de observación 7 profundidades bajo la base de la excavación, las cuales corresponden a $1/4$, $1/2$, $3/4$, 1, $3/2$, 2 y 3 veces la profundidad de excavación. A partir de estos puntos se construyeron las gráficas mostradas en la figura 12, en las cuales se puede observar la gran variación de la cabeza hidráulica en tiempos cortos.

La gráfica muestra claramente la gran influencia de las nuevas condiciones del agua en cercanías de la excavación; sin embargo, en profundidades mayores a la altura de la excavación (H), el efecto de las condiciones del agua no se ve tan marcado. Se puede apreciar que el tiempo necesario para que el cambio en los valores cabeza disminuya sensiblemente es aproximadamente 50 días; a partir de este momento, el cambio es muy

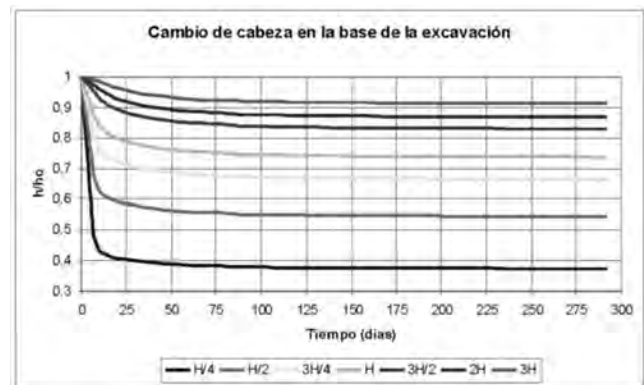


Figura 12. Gráficas de variación de la cabeza en el tiempo a diferentes profundidades en la base de la excavación.

bajo. Estos resultados son importantes para tener en cuenta en los análisis de excavaciones, pues muestran que, al hacer la excavación, se necesitan dos meses para tener una condición de equilibrio bajo la parte central de la excavación. Este resultado es similar al tiempo requerido para la consolidación.

CONCLUSIONES

El análisis del comportamiento mecánico de suelos blandos saturados es complejo por el comportamiento no lineal de las relaciones esfuerzo-deformación del suelo, que dependen de los esfuerzos efectivos y de la interacción concurrente del efecto de los cambios de presiones en el agua tanto por cambios volumétricos debidos a los cambios de esfuerzos como por los debidos a la variación de las condiciones de flujo. El análisis de estos problemas requiere el análisis acoplado de los problemas de flujo, consolidación, equilibrio y las relaciones esfuerzo-deformación-resistencia de los suelos. El artículo presenta resultados de este tipo de análisis utilizando formulaciones de elementos finitos para un caso hipotético y utilizando parámetros típicos representativos de los parámetros de suelos blandos de Bogotá. Se aprecia que las diferentes consideraciones que se planteen en cuanto a condiciones de flujo, drenaje y consolidación pueden llevar a cálculos de deformaciones que varían entre 7 cm, para una condición no drenada a corto plazo sin cambio en las condiciones de flujo, y 26 cm para condición de flujo establecido al final de la consolidación inducida por la excavación.

Las deformaciones varían en función del tiempo. Los análisis de flujo transiente muestran que para alcanzar en un porcentaje mayor al 90% una condición de consolidación y flujo establecido se requieren 50 días; sin embargo, estos procesos se completan en unos mil días.

Los resultados del presente estudio muestran que, dependiendo de la secuencia de construcción en función del tiempo y el tipo de obra (excavaciones temporales o permanentes), aun para el mismo sitio con la misma geometría, el comportamiento de la excavación será diferente.

REFERENCIAS

- Brinkgreve & Vermeer (1998). PLAXIS, Finite element code for soil and rock mechanics. Scientific Manual: A.A. Balkema.
- PLAXIS Profesional V 7.2 (1998). Finite element code for soil and rock analysis.
- PLAXFLOW V 1.2 (2004). Finite element code for soil and rock analysis ground water module.
- Rodríguez, J., Velandia, E., Reyes, F. (2004). Caracterización de suelos blandos para modelos de plasticidad. X Congreso Colombiano de Geotecnia.
- Schanz, T., Vermeer, P.A. & Bonnier, P.G. (1999). Formulation and verification of the hardening soil model. *Int Journal Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*.

Portales grid basados en estándares

SANDRA NEYID MONTAÑEZ

Candidato a magíster en Ciencias de la Información y Comunicaciones de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. sandra@neyid.com.

JOSÉ NELSON PÉREZ

Doctor en Informática. Profesor titular de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. nelsonp@udistrital.edu.co

Artículo recibido: 11/12/2007
Evaluación: 16/04/2008
Aprobado: 18/04/2008

Resumen

Los portales grid actúan como el punto de entrada a la grid, al facilitar su uso, y se constituyen en la capa de aplicación de la grid. Para el desarrollo de estos portales se han construido estándares que permiten la interoperabilidad entre diferentes portales de sistemas grid compartiendo e integrando los recursos de la organización. El presente artículo es una revisión bibliográfica general de portales grid basados en estándares. En la primera parte se definen los conceptos básicos de computación grid y de Globus Toolkit y Glite como plataformas; posteriormente se describen los estándares más relevantes de las generaciones de los portales grid y se hace énfasis en la especificación Java portlets JSR 168 y WSRP usada hoy en día para la construcción e interoperabilidad de *portlets*. Luego se hace una revisión de *frameworks* para portales grid, terminando con la adopción de la arquitectura SOA en estos portales.

Palabras clave: grid, computación grid, portlets, portal grid, framework, servicios web, servicios grid.

Abstract

Grid portals act as the entry point to the grid, facilitating their use and becoming an application layer of the grid. Standards have been developed in order to allow these portals to operate with other grid systems, sharing and integrating an organization's resources. This article is a bibliographical review of standard-based grid portals. It begins by defining the basic concepts of grid computing, and presenting the platforms Globus Toolkit and GLite, and then it describes the most relevant standards throughout the evolution of grid portals, explaining the most commonly used specification in Java portlets JSR 168 and WSRP, commonly used for *portlets* deployment. Finally, a review of *frameworks* for grid portals is presented, followed by the adoption of SOA in grid portals.

INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios, alrededor de 1990, el concepto de *grid* ha contado con múltiples definiciones: el *Grid Computing Information Centre* lo define como “un tipo de sistema paralelo y distribuido que permite compartir, seleccionar y reunir recursos autónomos geográficamente distribuidos en forma dinámica y en tiempo de ejecución, dependiendo de su disponibilidad, capacidad, desempeño, costo y calidad de servicio requerida por los usuarios” [1]. Otra definición planteada por Foster, Kesselman y Tuecke está relacionada con la Organización Virtual: “un conjunto de individuos y/o instituciones definidas por reglas que controlan la manera en que comparten sus recursos” [2]. Existen sistemas grid pequeños; por ejemplo, entre grupos de investigación y enormes redes que integran recursos de un país o alrededor del mundo, como el proyecto EGEE¹ [3]. Así mismo existen definiciones para la Computación Grid, como la de Joseph y Fellenstein, para quienes es “una disciplina que envuelve los servicios de una red y las conexiones de un número ilimitado de dispositivos que computan dentro de una grid” [4]. Alrededor de la computación grid se han constituido varias organizaciones dedicadas a desarrollar estándares, *frameworks* y soluciones *middleware* para la grid², como Portales; también existen organizaciones que construyen y usan soluciones basadas en la grid para resolver sus requerimientos de computación de datos y de red.

Globus Toolkit (GT) y GLite: middleware en la grid

Globus Toolkit es una herramienta de la tecnología grid que permite construir sistemas y aplicaciones de la grid [5]. Actualmente en su cuarta versión, ha evolucionado bastante desde la versión 2.x. GT2 incluye un conjunto de *scripts* para ejecutar tareas como GridFTP, basada en la transferencia de archivos. En 2002 el OGF³ [6] propuso una nueva arquitectura a los servicios de la grid OGSA⁴, que definía una arquitectura estándar y

abierta común para las aplicaciones basadas en la grid [7]. GT3 es una puesta en práctica de OGSA desarrollada por Globus Alliance⁵. Esta organización respondió pronto a las objeciones planteadas a GT3 y lanzó GT4, basada en WSRF⁶. El WSRF, según lo propuesto originalmente por Globus Alliance y por IBM^{®7}, ahora es una organización para el desarrollo de estándares de la información OASIS [8].

Alrededor del mundo, se han construido muchos sistemas grid basados en GT2. Por ejemplo, UK e-Science Grid tiene el proyecto NGS⁸, que utiliza GT2 para proporcionar servicios a los investigadores británicos en múltiples disciplinas [9]. Otros sistemas, como el proyecto de ShanghaiGrid basado en GT3, intentan conectar algunos computadores para compartir el almacenamiento y algunas tareas de computación entre ellos [10].

GT es de código abierto y es la implementación más utilizada al construir servicios grid, ya que proporciona seguridad, gestión de recursos y de datos. Aunque GT3 trae una nueva arquitectura e intenta utilizar las ventajas de los estándares de los servicios web ampliando el concepto de los *servicios web* para definir los *servicios grid* [11], no ha tenido mucho éxito debido a su complejidad.

Glite es otra herramienta que permite construir sistemas y aplicaciones grid [12]. Se encuentra actualmente en la versión 3.x y forma parte del proyecto EGEE; la primera fase del proyecto denominada JRA1 produjo las primeras versiones de Glite, que incluían servicios de seguridad, información, control, gestión del trabajo y servicios de ayuda utilizando SOA⁹, basada en su mayoría en servicios web que pretenden seguir las recomendaciones de WS-I¹⁰ [13]. La segunda fase del proyecto JRA2 se centró en una Grid Middleware genérica que incluye todos los servicios que se deben implantar en una infraestructura grid de producción.

1. Enabling Grids for E-science.

2. Plataforma de conectividad que ofrece un conjunto de servicios que hacen posible el funcionamiento de aplicaciones distribuidas sobre plataformas heterogéneas.

3. Open Grid Forum.

4. Open Grid Services Architecture.

5. Comunidad de organizaciones e individuos que desarrollan las tecnologías fundamentales de la programación Grid.

6. Web Services Resource Framework.

7. International Business Machines.

8. U.K. National Grid Service.

9. Arquitectura orientada a servicios.

10. Interoperabilidad de los Servicios Web.

Existen sistemas grid basados en Glite, como el proyecto DILIGENT¹¹, usado para bibliotecas digitales en la grid [14].

Generaciones de los portales para la 'grid

Actualmente existen dos opciones para que el usuario final tenga acceso a los recursos de la grid: utilizar un equipo como cliente directo de la grid, o a través de un portal, una aplicación web que proporciona personalización y agregación de contenido [15]. En la primera opción se pueden desarrollar herramientas para el cliente, con funcionalidades para ejecutar tareas relacionadas con la grid invocando servicios y utilizando los protocolos adecuados; es el acercamiento tradicional a cliente-servidor. Esto requiere normalmente que los puertos de los servidores estén abiertos para permitir tareas como la transferencia de archivos usando GridFTP [16]. La segunda opción, el uso de una aplicación web, es ideal para los servicios distribuidos, teniendo en cuenta que los protocolos y estándares que gobiernan la web son parte de los sistemas operativos actualmente en uso. Esto convierte un portal grid basado en la web en una opción simple para proporcionar los mismos servicios que un cliente, además de transformarse en un solo punto de acceso a los recursos de la grid, lo cual permite que el usuario final se centre más en las problemáticas de su área que en la infraestructura de la grid, accediendo a ella desde un *navegador* de manera transparente. Según Allan, Yang y Wang del centro de e-Science CCLRC [17], existen dos generaciones de portales grid [18]: la primera generación, portales grid construidos con Perl GridPort toolkit v2 [19] y con GSDK¹² [20], tenía una arquitectura de tres niveles: interfaz web, servidor web y recursos y servicios de la grid [21]. Estas herramientas fueron desarrolladas de acuerdo con los requerimientos de cada proyecto sin considerar la reutilización de código. La adopción de tecnologías de portales mostró que existen servicios web comunes y que estos podían ser desarrollados reutilizando su código en diferentes proyectos de por-

tales grid. Jetspeed-1¹³ muestra una aproximación para construir estos componentes web reutilizables, por ejemplo "Java Portlets" [22], los cuales pueden ser compartidos por desarrolladores. En la primera generación de portales grid se encuentran proyectos como Ninf Portal, un *front-end*¹⁴ para portales grid, desarrollado en conjunto por el Instituto de Tecnología de Tokio y la Sociedad para la Promoción de e-Science en Japón [23]. También desarrollaron el proyecto Gridspeed, un servidor de *hosting* que automáticamente genera y publica una interfaz web para aplicaciones específicas de la grid [24]. El XCAT también pertenece a la primera generación de portales grid; es un portal que permite programar aplicaciones grid y en el cual cada aplicación es empaquetada [25].

WSRP¹⁵ V1.0 [26] y la especificación de Java Portlets JSR 168 fueron reconocidas por OASIS en 2003 para formar la base de lo que se considera la segunda generación de portales grid [27]. WSRP es una especificación de portlets¹⁶ desarrollada por OASIS para estandarizar comunicaciones entre contenedores de portlets. JSR 168 es una especificación desarrollada en el JCP¹⁷ para estandarizar comunicaciones entre un portlet y un contenedor de portlets. El código desarrollado de portales grid comienza a reutilizarse en esta primera generación; los proyectos como Jetspeed-1 fueron los proveedores de los primeros portlets.

La segunda generación de portales grid consiste en los estándares JSR 168 y WSRP v1.0, que pretenden resolver problemas de interoperabilidad entre portales, facilitando su desarrollo. Además, los portales grid de la segunda generación actúan como clientes de servicios, como parte de la SOA [28]. En seguida se discutirán los dos estándares JSR 168 y WSRP, y la adopción de SOA en el mundo de los portales grid.

Según Dumk y Guericke, existe una tercera generación de portales grid, basada en la grid semántica conformada por un nivel computacional, un nivel de datos, un nivel de información y un nivel del conocimiento

11. Digital Library Infrastructure on Grid Enabled Technology.
12. Java Grid Portal Development Kit.

13. Framework para portales grid Version 1.
14. Parte del software que interactúa con el usuario.
15. Web Services para portlets remotos.
16. Fragmento o ventana en un portal que proporciona un servicio.
17. Java Community Process.

[29], SOA, y OGSA con la utilización de herramientas como PortalLab, una herramienta de servicios web para construir portales grid semánticos [30]; VPCE¹⁸, basado en los recursos de la grid colaborativa [31]; y GSA¹⁹, que permite a los usuarios el acceso a los servicios grid a través de múltiples agentes de software[32].

JSR 168 y WSRP

Aquí se definirá qué es para el estándar JSR 168 un portal, un portlet y un contenedor de portlets. Un *portal* es una aplicación basada en la web, que provee contenido de diversas fuentes y recibe la capa de presentación de sistemas de información. Un *portlet* es un componente Web basado en Java, manejado por un contenedor de portlet que procesa peticiones y genera el contenido dinámico. Un *contenedor de portlet* contiene portlets y provee de ellos el ambiente en tiempo real requerido [33]. Desde la perspectiva de un usuario, un portlet es un fragmento o ventana en un portal que proporciona un servicio específico. Richardson, Avondolio, Vitale, Len y Smith definen un portlet como “un componente web manejado por un contenedor de portlets, proporciona contenido dinámico en una interfaz de usuario”[34].

JSR 168 es una especificación para la estandarización de comunicaciones entre portlets y un contenedor de portlets definidos por un conjunto de API de Java. Además, esta especificación hace posible que desarrolladores de portlets intercambien componentes web. Estos portlets pueden ser mostrados por el contenedor de portlets, sin modificar el código fuente. Ahora los portales se construyen con contenedores de portlets, los cuales manejan el ciclo de vida del portlet. Mientras que JSR 168 define un sistema de Java API que permita a los portlets funcionar en cualquier portal grid, WSRP permite que los servicios web sean expuestos como portlets plug-and-play. Según Yang y Allan del centro de e-science CCLRC, WSRP[4] actúa como un puente entre JSR 168 y WSRP, siendo capaz de exportar un portlet como un servicio web y utilizar un servicio convirtiéndolo en un portlet [35]. Para reutilizar y pu-

blicar los portlets usando lenguajes diferentes de Java, se propuso la especificación del OASIS WSRP V1.0. Por desgracia, la actual puesta en práctica de WSRP para código abierto es inmadura. El grupo de EDINA es uno de los pocos productores de código abierto de WSRP escrito en otro lenguaje (Perl)[36]. JSR 286 y WSRP V2.0 [37], sucesores de JSR 168 y WSRP V1.0, se programaron para ser lanzados en 2007 y deben proporcionar las mejoras que solucionarán problemas como la comunicación entre portlets y la administración del ciclo de vida del portlet.

Frameworks para portales grid

Un típico framework de portales generalmente proporciona funcionalidades como administración de cuentas de usuario y despliegue de los portlets entre otras. Por tanto, disminuye la carga en los desarrolladores de portales, que pueden dedicarse al desarrollo del portlet, particularmente en la capa de la lógica del negocio. Hoy existen varios frameworks para portales grid: JetSpeed v2.0, que ofrece mejoras de arquitectura respecto a la v1.0, y ya es compatible con el estándar de Java Portlets JSR 168 y está basado en una arquitectura de componentes [38]. Jportlet es una implementación de código abierto diseñada para funcionar con WebSphere de IBM; está desarrollado en Java. Jportlet no es compatible con la especificación de Portlets JSR 168 [39]. uPortal v2.0, v3.0 es libre y es un estándar abierto, usa Java, XML, JSP y J2EE. Es un proyecto de desarrollo colaborativo compartido entre varias instituciones; por ejemplo, los miembros de JA-SIG²⁰. Se usa en proyectos institucionales (un campus) y permite que cada usuario defina una vista única y personal de la web [40]. LifeRay, de código abierto se basa en Java e implementa el estándar JSR 168. LifeRay permite incorporar portlets desarrollados para otros portales [41]. IBM WebSphere v5.0 se basa en Java, incluye tecnologías de servicios web, XML, SOAP, WSDL y UDDI [42]. Oracle Portal es una solución de Oracle, tiene una interfaz personalizada, cuenta con funciones de publicación y autoservicio, integra

18. Visual Portal Composition Environment.

19. GridSystem Agent.

20. Consorcio de Estados Unidos Java in Administration Special Interest Group.

recursos basados en web (por ejemplo, páginas web), aplicaciones e informes de inteligencia de negocio, entre otras [43]. Sun ONE Portal es una solución de Sun, ofrece servicios de personalización, agregación, seguridad e integración necesarios para implantar portales [44]. GridSphere es de código abierto y permite a los desarrolladores generar y empaquetar rápidamente aplicaciones basadas en web; es compatible con la especificación JSR 168 [45].

SOA en portales Grid

La segunda y tercera generación de portales grid funciona comúnmente con *frontends* para servicios. Los portales grid encajan bien en SOA, como se puede ver en la figura 1.

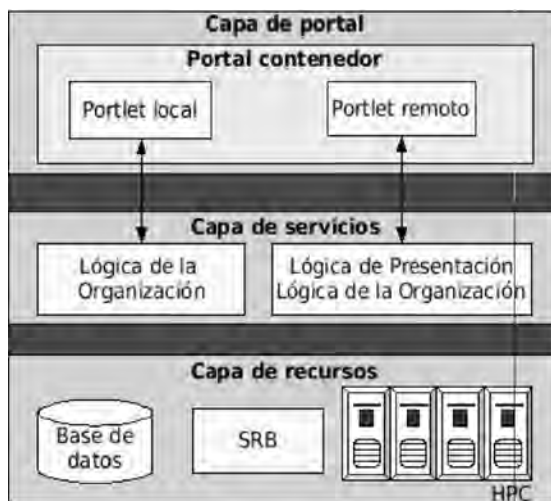


Figura 1. SOA para portales Grid [46].

Con esta arquitectura es posible integrar servicios de la grid en un portal [47]. Según la figura 1, SOA es una arquitectura de tres niveles en la cual las tres capas: portal, servicio y recursos, son iguales a la arquitectura de GridPort V4 [48]. Aquí la capa del servicio se ha ampliado de manera que puedan incluirse la lógica y la presentación. Además, la capa de portal no es más que un contenedor de clientes de servicios, pero podría ser la que suministre el servicio. Esto destaca a los servicios orientados a la presentación propuestos en WSRP y hace que la capa del portal sea capaz de proporcionar componentes web como servicios.

Los siguientes portales grid constituyen unos de los proyectos más importantes: OGCE Release 2 [49], GridPort V4, NGS Portal release 2 [50].

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este artículo se describió brevemente una historia de los portales grid y de los estándares, viendo que los portales de segunda y tercera generación se basan en estándares que encajan bien con SOA. JSR 268 y WSRP v2.0 apuntan a resolver problemas de versiones anteriores, como comunicación entre portlets, problemas de reutilización y publicación de contenido web (portlets) usando lenguajes diferentes. Con esta revisión se pretende desarrollar un modelo de portal para el acceso a una grid en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, capaz de administrar recursos y servicios de una grid de geosensores, como el servicio de notificación, planificación y registro de geosensores para la medición de variables ambientales. El modelo también debe permitir la administración de servicios grid para la clasificación de imágenes que usan algoritmos genéticos, algoritmos de autómatas celulares y de redes neuronales, además de integrar y compartir recursos de varios grupos de investigación que usen la grid para almacenamiento y procesamiento de grandes volúmenes de información.

REFERENCIAS

- [1] Buyya, R. (2004). Grid Computing Information Centre (GRID Infoware) FAQ [en línea]. San José, California. Disponible en <http://www.gridcomputing.com/gridfaq.html>
- [2] Foster, I.; Kesselman, C. y Tuecke, S. (2001). The Anatomy of the Grid. Enabling Scalable Virtual Organizations. International J. Supercomputer Applications. [en línea]. University of Chicago. Disponible en <http://www.globus.org/research/papers/anatomy.pdf>
- [3] Fernández, A. (2004). Integración de Vos y middleware para EGEE. Casaní Instituto de Física Corpuscular Instituto de Física Corpuscular (CSIC/UV). Disponible en http://asds.dacya.ucm.es/GridMiddleware/slides/VO_CSIC.pdf
- [4] Joshy, J. & Craig, F. (2004). Grid Computing. IBM Press. ISBN 0-13-145660-1.
- [5] The Globus Alliance [en línea]. University of Chicago. Disponible en <http://www.globus.org/toolkit/>
- [6] García Monroy, J.A. Globus Toolkit. E.T.S.I. Telecomunicación- Departamento Ingeniería Sistemas Telemático. Ciudad Universitaria s/n 28040 Madrid. Disponible en <http://internetng.dit.upm.es/joe/Art/Globus.pdf>
- [7] University of Westminster (2006). Service Level Description for the UK National Grid Service Resource. Disponible en <http://www.ngs.ac.uk/sites/westminster/NGS-SLD-UoW-0-3.pdf>
- [8] Marcie Hatch Zeno (2006). Group for Open Grid Forum. Enterprise Grid Alliance and Global Grid Forum Complete Merger

- To Form Open Grid Forum. 415-369-8120. Disponible en http://www.ogf.org/merger_docs/PressRelease.pdf
- [9] OASIS Members Organize to Define Stateful Resources Using Web Services [en línea]. Disponible en http://www.oasis-open.org/news/oasis_news_03_17_04a.php
- [10] Guangwen Yang, Hai Jin, Minglu Li, Nong Xiao, Wei Li, Zhaohui Wu, Yongwei Wu and Feilong Tang. *Journal of Grid Computing*, 2004. Grid Computing in China. Disponible en <http://www.semgrid.net/Citation-Before-2006.1/+Project-citation.pdf>
- [11] Foster, Argonne & U.Chicago, Kishimoto, Savva, D. Berry, NeSC, Djaoui, Grimshaw, Horn, Maciel Hitachi, Siebenlist, R. Subramaniam, J. Treadwell, J. von Reich (2005). The Open Grid Services Architecture, Version 1.0. Disponible en <http://www.ogf.org/documents/GFD.30.pdf>
- [12] EU EGEE Project. Enabling Grids for E-science [en línea]. Disponible en <http://glite.web.cern.ch/glite/>
- [13] Grandi, Claudio & White, John (2006). JRA1 – Reingeniería del Middleware.
- [14] A Digital Library Infrastructure on Grid Enabled Technology [en línea]. Budapest :2007. Disponible en <http://diligentproject.org>
- [15] Bhatia, Karan; Stearn, Brent; Taufer, Michela; Zamudio, Richard & Catarino, Daniel. Extending Grid Protocols onto the Desktop using the Mozilla Framework. Disponible en http://www.cogkit.org/GCE06/papers/CameraReady_126.pdf
- [16] Allcock, W.; Bester, J.; Bresnahan, J.; Chervenak, A.; Liming, L. & Tuecke, S. (2001). GridFTP – Protocol Extensions to FTP for the Grid. Disponible en <http://www-fp.mcs.anl.gov/dsl/GridFTP-Protocol-RFC-Draft.pdf>
- [17] Science & Innovation Group. 2005-2006. Science & Innovation Annual Report. Disponible en <http://www.fco.gov.uk/Files/kfile/S&I%20master%20green%20Final.pdf>
- [18] Rob, Allan. e-Science Centre CCLRC, Daresbury qLaboratory. Introduction to Grid Portals.
- [19] Thomas, Mary; Mock, Steve; Dahan, Maytal; Mueller, Kurt & Sutton, Don. The GridPort Toolkit: a System for Building Grid Portals. Disponible en http://gridport.net/main/pubs/GridPort_HPDC-10.pdf
- [20] Yang, Xiaoyu; Dove, Martin T.; Hayes, Mark; Calleja, Mark; He, Ligang & Murray-Rust, Peter. Survey of Major Tools and Technologies for Grid-enabled Portal Development. Disponible en http://archive.niees.ac.uk/documents/AH06_Portal_2006.pdf
- [21] Thomas, M.; Boisseau, J.; Dahan, M.; Mills, C.; Mock, S. & Mueller, K. Development of NPACI Grid Application Portals and Portal Web Services. Disponible en http://gridport.net/main/pubs/JCC_GridPort.pdf
- [22] Sang, Shin. Java Portlets (JSR-168). Sun microsystems. Disponible en <http://web.princeton.edu/sites/isapps/jasig/2003winterMiami/presentations/SangShinportlet.pdf>
- [23] Tokyo Institute of Technology and Japan Society for the Promotion of Science. 2001. The Ninf Portal An Automatic Generation Tool for Grid Portals. Disponible en <http://ninf.apgrid.org/papers/javagrande02suzumura/javagrande02suzumura.pdf>
- [24] Tokyo Institute of Technology and Japan Society for the Promotion of Science. GridSpeed: A Web-based Grid Portal Generation Server. Disponible en <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=/iel5/9244/29307/01324013.pdf>
- [25] Krishnan, Sriram; Bramley, Randall; Gannon, Dennis; Govindaraju, Madhusudhan; Indurkar, Rahul; Slominski, Aleksander & Temko, Benjamin. 2001. The XCAT Science Portal. Disponible en <http://www.sc2001.org/papers/pap.pap287.pdf>
- [26] Kropp, Alan; Leue, Carsten & Thompson, Rich (2003). Web Services for Remote Portlets Specification. Disponible en <http://www.oasis-open.org/committees/download.php/3343/oasis-200304-wsrp-specification-1.0.pdf>
- [27] Community Development of Java Technology Specifications. <http://jcp.org/en/jsr/detail?id=168>
- [28] Chohan, Dharmesh; Akram, Asif; Allan, Rob & Kewley, John (2005). Grid Middleware Portal Infrastructure. Disponible en http://www.immagic.com/eLibrary/ARCHIVES/GENERAL/CCLRC_UK/C051202C.pdf
- [29] Dumk, Reiner R. (2006). Otto-von-Guericke. Universität Magdeburg. Software-Infrastrukturen. Grid Grundlagen. Disponible en <http://ivs.cs.uni-magdeburg.de/~dumke/SOFI/SOFI09-Grid1.pdf>
- [30] Gerndt, Michael (2007). Grid Computing Application-Level Tools. Disponible en <https://www.lrr.in.tum.de/~gerndt/home/Vita/Presentations/2007/GridApplicationTools.pdf>
- [31] Centre National d'Etudes Spatiales. 2006. E-collaboration Infrastructures and associated UpperWare challenge. Disponible en http://ec.europa.eu/information_society/activities/atwork/collaboration_at_work/events/2006_10_building_blocks/collaboration_infrastructures/reports/ecollaboration_infrastructures.pdf
- [32] Lil, M.; van Santen, P.; Walker, D.W.; Rana, O.F. & Baker, M.A. (2003). PortalLab: a web services toolkit for building semantic grid portals. Disponible en <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=/iel5/8544/27003/01199368.pdf>
- [33] Hepper, Stefan (2007). Java Portlet Specification. Disponible en http://hnsf.inf-bb.uni-jena.de/spec/JSR%202.0%20Spec/PortletSpec_20_draft17+18-tackChanges.pdf
- [34] Richardson, W. Clay; Avondolio, Donald; Vitale, Joe; Len, Peter & Smith, Kevin T., Portal Development With Open Source Tools. ISBN 0-471-46951-3
- [35] Yang, Xiaobo & Allan, Rob (2006). CCLRC e-Science Centre. WSRP Investigation – A Deep Look at WSRP/WSRP4J. Disponible en <http://epubs.cclrc.ac.uk/bitstream/1409/talk06B.pdf>
- [36] Hunter, Jonathan, EDINA, University of Edinburgh, and Chris Awre, University of Hull. Adapting existing search tools for use with the JSR 168 and WSRP portlet standards: the CREE Project. Disponible en http://www.hull.ac.uk/cree/publications/CREELibrary_HiTechReport.pdf
- [37] Hepper, Stefan (2006). What comes next in the Portlet Specification V 2.0 with JSR 286. Disponible en <http://www.agilejava.com/downloads/TS-3627.pdf>
- [38] Apache Software Foundation. Apache Portals [en línea]. 1999-2007. Disponible en <http://portals.apache.org/jetspeed-2/>
- [39] SourceForge.net. Jportlet [en línea]. 2002-2003. Disponible en <http://jportlet.sourceforge.net/>
- [40] JASIG.uPortal [en línea]. Disponible en <http://www.uportal.org/index.html>
- [41] Kim, Brian (2005). Liferay Portal. Disponible en <http://content.liferay.com/document/Liferay%20Portal%20Setup%20Guide.pdf>
- [42] Kovari, Peter; Carpenter, Derek; Creswick, Paul; Kisielewicz, Piotr; Langley, Floyd; Leigh, David; Maheshwar, Rao & Pipes, Stephen (2002). IBM WebSphere V5.0 Security WebSphere Handbook Series. Disponible en <http://www.cgisecurity.com/lib/sg246573.pdf>
- [43] Oracle Technology network [en línea]. Disponible en <http://www.oracle.com/technology/products/ias/portal/index.html>
- [44] Sun Microsystems. Sun Java System Portal Server [en línea]. Disponible en http://www.sun.com/software/products/portal_srvr/index.xml
- [45] Gridsphere portal framework [en línea]. Disponible en <http://www.gridsphere.org>
- [46] Xiaobo, Y.; Xiao D.W. & Robert, A. (2007). Development of Standards-based grid portals. Disponible en <http://epubs.cclrc.ac.uk/bitstream/1418/article07A.pdf>

- [47] Thomas, M.P.; Burruss, J.; Cinquini, L.; Fox, G.; Gannon, D.; Gilbert, L.; von Laszewski, G.; Jackson, K.; Middleton, D.; Moore, R.; Pierce, M.; Plale, B.; Rajasekar, A.; Regno, R.; Roberts, E.; Schissel, D.; Seth, A. & Schroeder, W. Grid Portal Architectures for Scientific Applications. Disponible en <http://grids.ucs.indiana.edu/ptliupages/publications/Portal%20Archs%20-%20DOE%20SciDAC05.pdf>
- [48] Faith Singer-Villalobos Texas Advanced Computing Center. TACC's GridPort software empowers users in the rapid development of highly functional grid portals. Disponible en http://www.tacc.utexas.edu/research/users/pdf/GridPort4_Finalb.pdf
- [49] Open Grid Computing Environments (OGCE) Annual Report: June 1, 2005-May 31. Disponible en <http://grids.ucs.indiana.edu/ptliupages/publications/NMI-OGCE-Annual-Report-4-Final.pdf>
- [50] Xiaobo Yang, Dharmesh Chohan, Xiao Dong Wang and Rob Allan. CCLRC e-Science Centre. A Web Portal for the National Grid Service. Disponible en <http://www.allhands.org.uk/2005/proceedings/papers/445.pdf>

Sistemas de telemedición por SMS

GERMÁN DARÍO CASTELLANOS TACHE

Ingeniero electrónico de la Escuela Colombiana de Ingeniería (2004). Especialista en Telemática y Negocios por Internet de la Escuela Colombiana de Ingeniería (2006) con amplios conocimientos en telefonía móvil y comunicaciones digitales. Actualmente se desempeña como docente e investigador del área de Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. gcastell@escuelaing.edu.co

CÉSAR ANDRÉS FORERO DÍAZ

Estudiante de ingeniería electrónica de la Escuela Colombiana de Ingeniería con énfasis en el área de Telecomunicaciones. okter@hotmail.com

ALEXIS GÓMEZ VELÁSQUEZ

Estudiante de ingeniería electrónica de la Escuela Colombiana de Ingeniería con énfasis en el área de Telecomunicaciones. alexisgomez60@hotmail.com

Artículo recibido: 14/03/2007
Evaluación: 19/06/2007
Aprobado: 18/04/2008

Resumen

Este proyecto busca crear un enlace entre el usuario y un medio por controlar, aprovechando los medios de comunicación de uso común, por ejemplo los sistemas celulares de última generación, y dedicando una aplicación capaz de leer y manipular cualquier medio que se desee en el campo industrial y del hogar, empleando la tecnología de los mensajes de texto con el fin de controlar una variable en tiempo real a un costo bajo en comparación con los sistemas implementados actualmente .

Palabras clave: SMS, telemedición, J2ME, telefonía móvil, mensajería de texto.

Abstract

This project searches a way to interconnect users and a measurement system via last generation mobile networks and it SMS service using a proprietary application in the mobile phone that it is able to measure and control a variable in a remote way, for home or industrial problems. It also proposes a control system for using a configuration in communication real time at lower cost of implementation.

Key words: SMS, mobile services, text messaging, J2ME.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la telefonía celular ha tenido una rápida evolución, debido a la conveniencia en sus servicios, diseño y funcionalidad, así como una amplia variedad de alternativas: el envío de mensajes SMS y MMS, el acceso a Internet WAP y cámaras fotográficas, entre otras. El teléfono móvil se convirtió en un elemento de vital importancia para la vida cotidiana, en especial para aplicaciones industriales. Ante esta nueva realidad, comenzaron a explorarse las bondades de las redes de telefonía móvil, desde las cuales se pueden implementar programas de control a variables industriales en diversos ambientes por medio de dispositivos programables.

Desde esta perspectiva, en el presente artículo se recogen las experiencias del trabajo de grado Desarrollo de sistemas de telemedición por SMS, ejecutado en la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, donde se desarrolló un sistema de comunicación entre una terminal fija celular y un teléfono móvil con el fin de monitorear y controlar variables específicas como temperatura y nivel. Se utilizó un software creado por los autores. Finalmente se presenta el prototipo que validó la posibilidad de

la implementación del sistema y la interoperabilidad del mismo.

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Existe una serie de aspectos teóricos que soportan la amplia gama de aplicaciones desarrolladas para sistemas de telemedición. No obstante, es importante aclarar conceptos básicos para el uso de mensajería de texto y prototipos de medición a distancia, así como programas que soportan el desarrollo e integración de los mismos. La utilización de estos sistemas está enfocada a que el usuario pueda interactuar a través de su celular en el manejo y control de diferentes entornos tanto para su lectura como para su manipulación, empleando medios inalámbricos e interfaces de última generación.

Redes móviles

Las redes móviles implementadas en Latinoamérica para mediados de 2006 se basan, en su gran mayoría, cerca del 90%, en sistemas *Global System for Mobile – GSM–* y sus evoluciones *General Packet Radio Service –GPRS–* y *Enhanced Data Rates for GSM Evolution –*

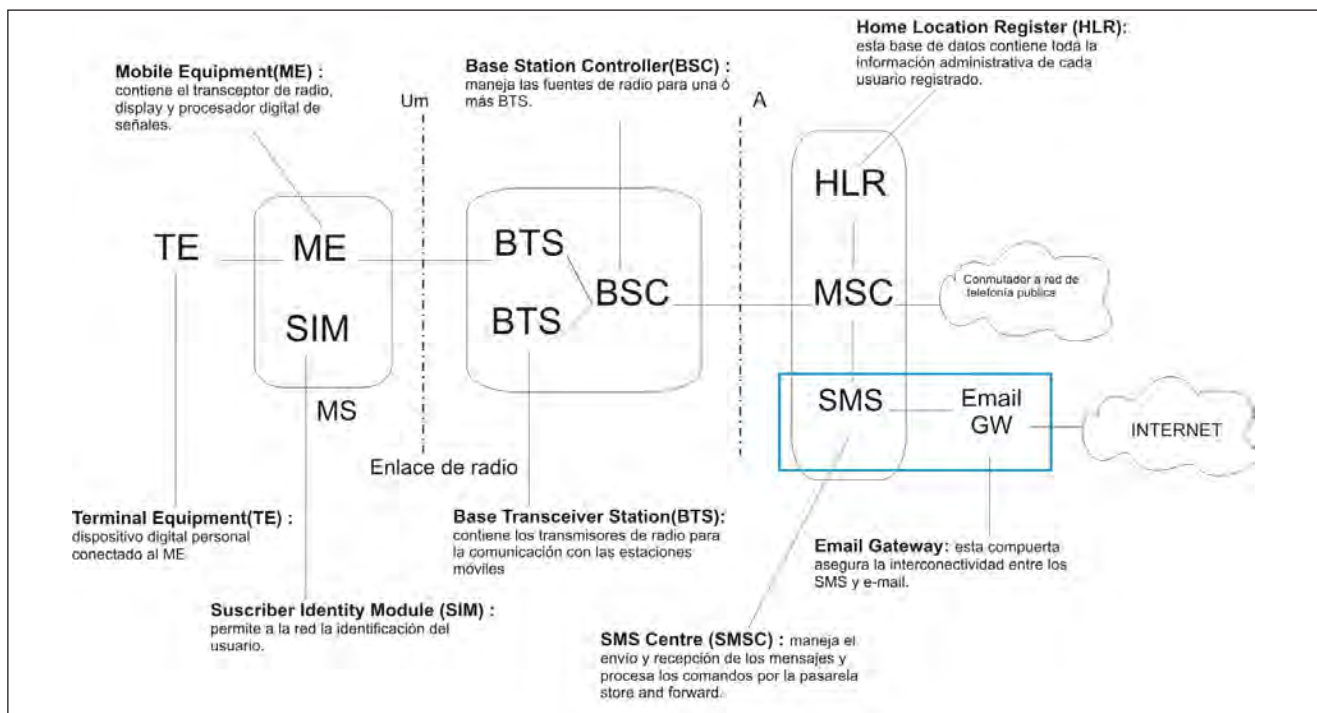


Figura 1. Arquitectura de una red móvil.

EDGE¹— de tal forma que la arquitectura típica de una red GSM es objeto de estudio y revisión para el servicio de mensajería de texto.

Esta, desde un punto de vista simplificado, se puede dividir en tres componentes o etapas (figura 1). La primera está compuesta por el dispositivo móvil que porta el usuario, integrado por un identificador de red que se encuentra en la tarjeta *Subscriber Identity Module* –SIM– y los sistemas de radiotransmisión y recepción.

En la segunda se encuentra la red de acceso. Está conformada por varias *Base Transceiver Station* –BTS–, que contienen los radiotransmisores y receptores para comunicarse con los equipos móviles. Cada BTS está controlada por un *Base Station Controller* –BSC– que se encarga de manejar los recursos entre estaciones.

En la tercera etapa se halla el *Short Message Service Center* –SMSC–, entidad lógica encargada del control y direccionamiento de los mensajes de texto. En su interior se encuentran las variables de control de tiempo y disponibilidad del usuario remitente. Toda esta información llega al *Mobile Switching Centre* –MSC–, que se encarga de registro, actualización y tarificación de los usuarios, así como de la comunicación con las redes externas. Estas redes pueden ser de dos tipos: la red de datos de otro operador o la red de datos de Internet.

SMS

El *Short Message Service* –SMS– es un servicio de las redes de telefonía móvil, mediante el cual se pueden enviar mensajes de texto utilizando el terminal móvil o teléfono. Existen dos posibles modos para este servicio: modo *Protocol Data Unit* –PDU– y modo texto; este último funciona a partir de los símbolos soportados en el código ASCII. La escritura en este es la usual: carácter por carácter en un idioma específico.

Estructura general PDU

Para el manejo de mensajería sobre modo PDU existen tres tipos de mensajes:

- SMS COMMAND: envía comandos desde el terminal móvil a la SMSC.
- SMS SUBMIT: es el PDU generado cuando un usuario envía un SMS.
- SMS DELIVER: es el PDU generado cuando llega un SMS al usuario.

La estructura de las tramas usadas en los SMS Delivery y SMS Submit se muestra en la figura 2. En cada una de estas tramas existe el Byte de tipo PDU (PDU Type) mostrado en la figura 3, donde se configura y se controla el mensaje, su tipo y algunas características de control.

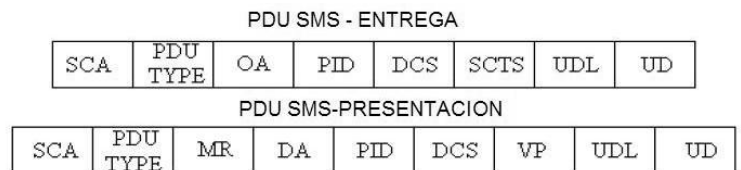


Figura 2. Tramas PDU Delivery (Entrega) y Submit (Presentación).

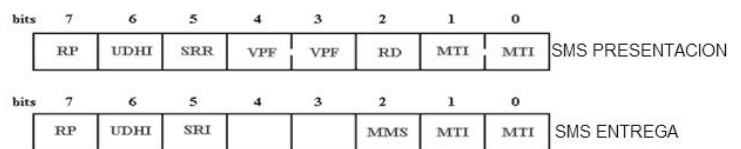
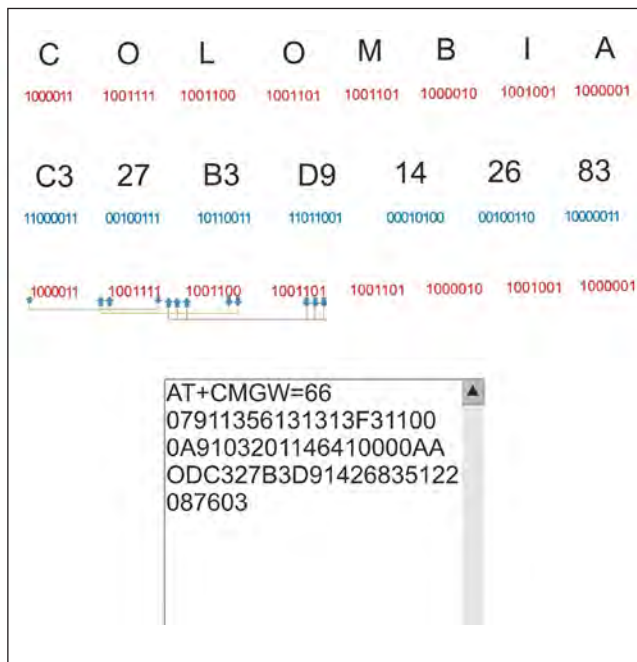


Figura 3. Byte PDU.

Conversión 7 a 8

En el modo PDU, la terminal móvil se encarga de la codificación, que además de llevar los caracteres del mensaje, lleva la información propia del mensaje y campos especiales para funciones de control por parte de la red. La codificación consta de una conversión del carácter de 7 a 8 bits, ampliando el tamaño del mensaje de 140 a 160 caracteres. Esto se logra tomando el código de cada carácter de la tabla ASCII en 7 bits y concatenándolo con el bit más significativo del siguiente hasta obtener 8 bits; luego, se convierte en un número hexadecimal. De esta manera, el mensaje está listo para enviarlo.

1. Informe sectorial de Telecomunicaciones. Julio 2006. No 7. CRT.



Fuente: curso SMS y MMS 2006.

Figura 4. Codificación de un mensaje en modo PDU con codificación de 7 a 8.

Java y J2ME

Java es un lenguaje de programación orientado a objetos, cuya virtud es ser compilado e interpretado de forma simultánea. También ofrece diseño multiplataforma que permite emplear este programa en diversos sistemas operativos. Además, la plataforma *Java 2 Micro Edition* -J2ME- es una familia de especificaciones que definen una versión minimizada de la plataforma Java 2. Esta puede utilizarse para programar dispositivos electrónicos móviles; por ejemplo, teléfonos celulares, *Personal Digital Assistant* -PDA-, entre otros. Estos dispositivos tienen en común que no disponen de abundante memoria ni mucha potencia en el procesamiento, ni necesitan todo el soporte que brinda el *Java 2 Standard Edition* -J2SE².

Las tecnologías J2ME contienen un *Java Runtime Environment* -JRE³- altamente optimizado, por lo cual

2. J2SE es la plataforma estándar de Java usada en sistemas de escritorio y servidor.
3. JRE (Entorno de ejecución de Java) es ejecutado por las aplicaciones desarrolladas en Java, este ambiente es el que convierte a Java en un lenguaje multiplataforma.

abarcan una amplia gama de dispositivos de tamaño muy reducido que permiten ejecutar programas de seguridad, conectividad y utilidades en tarjetas inteligentes, buscapersonas, sintonizadores de TV y otros pequeños electrodomésticos. Este tipo de tecnologías representan únicamente una parte de la gama de productos de software de Java.

LA PROPUESTA

Se propone un proyecto que desarrolla una aplicación capaz de realizar mediciones de variables técnicas de forma remota y monitorearlas con el fin de efectuar cambios sobre ellas y desarrollar cálculos para analizarlas posteriormente. Por tanto, se busca dar solución a problemas de comunicación y control a través de mensajería de texto basada en sistemas celulares en regiones de pocos recursos técnicos; así aumenta la productividad y eficiencia de los usuarios del sector, mediante un sistema económico, versátil y adaptable. Este proyecto explora también un área poco trabajada en el país, la cual brinda amplias posibilidades en el desarrollo de aplicaciones a la medida de los clientes.

El diseño del proyecto cuenta con seis partes bien definidas, las cuales tienen una función particular para poner en marcha el sistema completo.

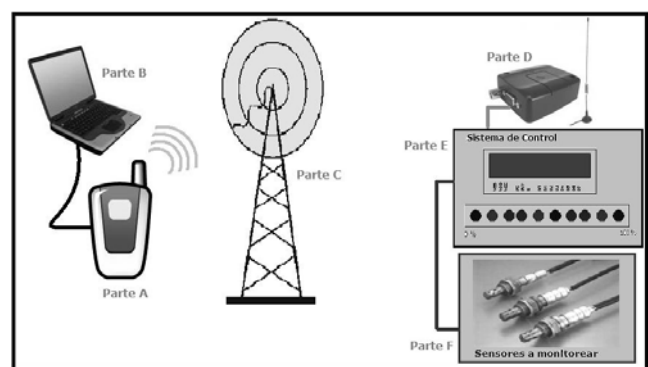


Figura 5. Sistema propuesto.

Parte A: aplicación en el móvil

En vista de la necesidad de desarrollar una aplicación liviana para celulares, se buscó una plataforma basada en JAVA para aplicaciones de alto nivel, como Netbeans⁴, la

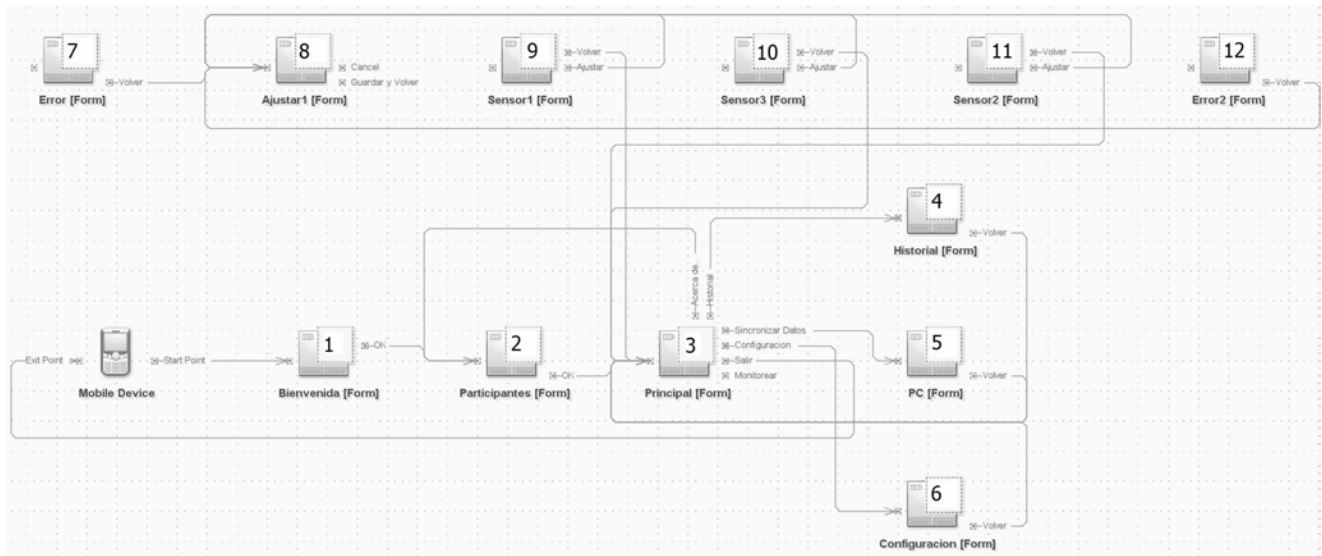


Figura 6. Diagrama de la aplicación.

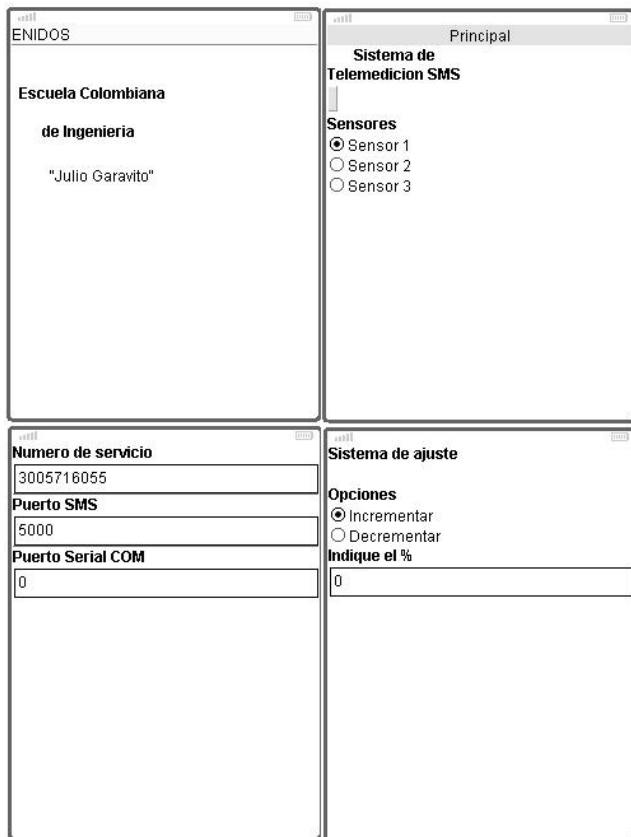


Figura 7. Presentación de la HMI en el móvil.

cual dispone de un programa amigable, de fácil manejo, versátil, seguro y que cumple los requerimientos de control, así como de intercambio de datos full duplex entre el Módem y el celular, para enviar y recibir datos por sistema SMS.

Parte B: interfaz computador-celular

El programa computacional permite al usuario transferir los datos desde el celular al computador, que los recibe a través de un programa desarrollado en Java que provee una *Human Machine Interface* –HMI– mucho más agradable y es capaz de guardar los datos en un archivo separado por comas, dando la posibilidad de tener el historial de control por medio de una base de datos con los registros obtenidos en la terminal portátil.

El programa consta de funciones básicas para interactuar con el usuario (figura 8) usando el protocolo de transmisión de datos RS232.

- *Guardar*: esta función es la encargada de guardar los datos en un archivo separado por comas, para ser analizados con más detenimiento.

4. Netbeans: se refiere a una plataforma para el desarrollo de aplicaciones de escritorio usando Java y a un Entorno integrado de desarrollo (IDE).

- *Sincronización*: envía una petición al celular para la recepción de datos del mismo y poder actualizarlos.

Parte C: la red celular

Una red de telefonía celular está formada por celdas de radio, cada una con su propio transmisor y receptor. Este componente provee el medio físico de transmisión para enviar los datos entre la terminal móvil y el módem de control. Este servicio es prestado por cualquiera de los tres operadores de telefonía móvil del país que proveen el servicio de mensajería de texto. Para este fin se debe contar con los contratos adecuados con el operador de telefonía, ya que cada envío de mensaje debe ser cobrado. El costo varía dependiendo del tipo de contrato.

Un aspecto importante que debe revisarse en el diseño es el uso de varias redes, ya que como se aclaró en la arquitectura, cada red móvil tiene un SMSC diferente, y en algunos casos estos no son compatibles del todo. Por tanto, como criterio de diseño es importante usar ter-

minales móviles de un mismo operador para aumentar las características de interoperabilidad y disminuir los problemas de falta de estandarización, así como conocer a fondo el tipo de SMSC que posee dicho operador.

Parte D: el módem celular

Se debe usar un módem con capacidad para el manejo de datos en una red GSM, preferiblemente con características GPRS y EDGE. Se escogió el Sony-Ericsson GT48, que contiene una serie de características descritas en la tabla 1.

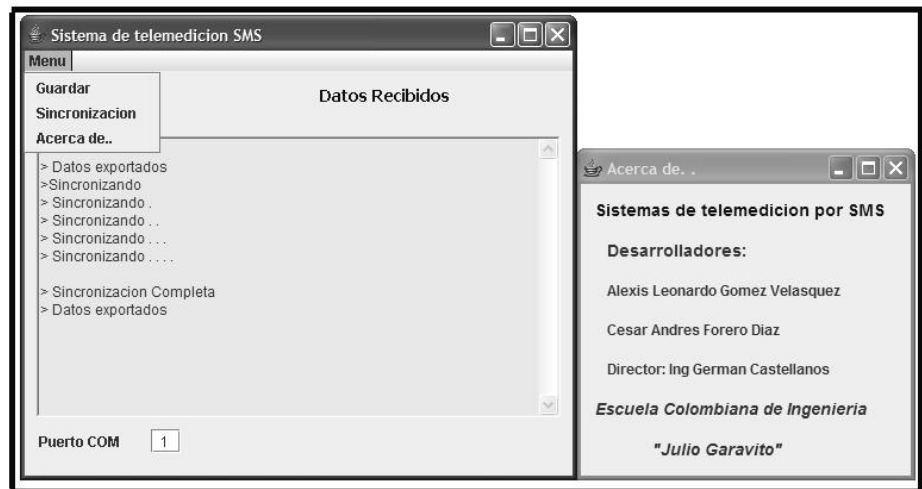


Figura 8. Interfaz HMI en el Desktop.

Tabla 1
Características del módem utilizado

Ítem	Característica
Sistema de radio	Doble banda EGSM 850/1900 MHZ GSM fase 2+ 2Watts sobre antena (850MHz)
Conectividad	Alimentación entre 5Vdc y 32Vdc Antena de 50 Ohm Internas de audio a auricular. RS232 completo (9 signal) 1 Puerto análogo (ADC a 8 bits) 2 Entradas digitales 2 Salidas digitales
Características GPRS	GSM / GPRS Glase 8 (hasta 85.6kbps) Codificación de cadenas CS1 – CS4
Características SMS	Modo Texto Modo PDU Cell Broadcast Concatenación hasta de 6 mensajes
Protocolos	TCP/IP y UDP/IP integrado Acceso al protocolo vía comandos AT Modo dedicado.
Otros servicios	Voz, fax, identificador de llamadas, transferencia y manejo de llamada, Manejo automático de memoria interna y de SIM Aplicaciones SIM clase 2

El módem GSM recibe la información a través del servicio de SMS de igual forma que se recibe el mensaje de texto en cualquier móvil. En este punto, el módem se programa para la recepción de los mensajes en memoria, ya sea la memoria interna del módem o la memoria disponible en la tarjeta SIM⁵. Esta programación del dispositivo se logra por medio de comandos AT.

Dicho lenguaje permite la comunicación entre el sistema de control y el módem, controlando funciones como hacer llamadas, envío de mensajes SMS o MMS, servicio de Internet y manejo de contactos, entre otros. En un computador, estos comandos AT se usan desde una aplicación para controlar e implementar funciones con el módulo. Estos comandos pueden realizar las funciones siguientes:

- Control del DCE
- GPRS
- Control de llamadas
- Servicios suplementarios
- Aplicación de herramientas SIM

El estándar AT es una línea orientada a lenguaje de comando; cada comando está hecho para los siguientes tres elementos: prefijo, cuerpo y carácter de terminación. El prefijo consta de las letras AT, y el cuerpo está formado por el comando, el parámetro y, si aplica, valores asociados

La sintaxis básica de los comandos es:

- *AT<comando>[=][<parámetro>]<CR>*

La sintaxis del comando de lectura. Los comandos de lectura se usan para revisar el valor actual de los parámetros. Se debe ingresar '?' después de la línea de comando.

- *AT+<comando>?*
- *AT*<comando>?*
- *AT<comando>?*

5. El modem Sony-Ericsson GT48 tiene una memoria interna para un máximo de 40 mensajes de texto. La capacidad en las memorias SIM varía: 32KB almacenan aproximadamente 20 mensajes.

Para el desarrollo de la aplicación, se prefirió usar la memoria interna del dispositivo. A medida que se procesa la información, se borra el mensaje con el fin que el estado stand by del prototipo permanezca activo gracias a la memoria vacía. El módem cuenta con una conexión serial de tipo RS232 con capacidad para una doble conexión a través del mismo puerto serial. Para manejar el módem se realizó la comunicación con el PIC 16F877A por medio del módulo USART del microcontrolador.



Fuente: <http://www.sonyericsson.com/>.

Figura 9. Módem Sony-Ericsson GT48.

Parte E: sistema de control e interfaz con el módem

Con este sistema se busca una interfaz entre el microcontrolador y el módem, que sea capaz de enviar y recibir datos a través de comandos AT, así como de interpretar los mensajes recibidos por el módem y tener lectura de ciertos sensores externos, dependiendo de la aplicación que se desee implementar.

Para la implementación del sistema de control se usó un microcontrolador de microchip 16F877A que emplea una comunicación RS232, encargada de monitorear los sensores, mostrar mensajes en una pantalla LCD, enviar los comandos al módem tanto de inicialización como de envío de mensajes, leer los mensajes recibidos del mismo y finalmente poner en marcha las órdenes enviadas al sistema con el fin de controlar las variables observadas.

Parte F: los sensores

El sistema que se consideró monitorear es un conjunto de sensores del acueducto, debido a la inminente necesidad de control de los diferentes dispositivos, por ejemplo, sistemas de válvulas y bombas de presión, temperatura, flujo, sin olvidar las diferentes señales a supervisión, con sus respectivos comandos, que permiten el manejo y observación de componentes que requieren una atención inmediata en caso de una falla total.

EL PROTOTIPO Y SUS RESULTADOS

A partir del sistema diseñado se implementaron varias de las partes del sistema, como las aplicaciones en el móvil y el sistema de control. Otras, como la red móvil y el módem GSM, fueron usadas, y el resto, como la interfaz con el computador y la instrumentación de sensores, fueron simuladas.

Parte A. La aplicación en el móvil fue diseñada para una amplia serie de teléfonos. Los dispositivos Nokia de la serie 61XX fueron capaces de correr la aplicación mas no cumplieron los requerimientos del envío a los puertos seleccionados. Otros teléfonos probados fueron el Motorola ROKR E1 y el Sony Ericsson W600, en los que la interfaz gráfica y el manejo de puertos de acceso a la aplicación de mensajería escogida funcionaron de la manera diseñada, aunque surgieron algunas inconsistencias debido a la falta de estandarización de J2ME por los fabricantes de teléfonos móviles.

Parte B. La interfaz entre el computador y el teléfono móvil fue creada de acuerdo con el diseño propuesto; sin embargo, debido a la falta de estandarización de los teléfonos utilizados y de los protocolos propietarios de comunicaciones entre el terminal y el computador, fue imposible realizar dicha comunicación. Es importante reconocer que los puertos empleados para dicha comunicación serial son propietarios, y diferentes para cada teléfono, lo cual no permitió implementarlos en el prototipo.

Parte C. En el sistema se utilizaron dos redes móviles celulares: la red de Movistar y la red de Tigo. Sobre dichas redes se logró conectividad completa del sistema, así como buenos tiempos de respuesta. A través de la red de Comcel, no se pudo realizar toda la comunicación esperada, ya que no hubo una transmisión de mensajes óptima. Se asume que se debe a un problema

de configuración del SMSC de Comcel, pues no se tuvo una información puntual en las redes multienlace de este operador.

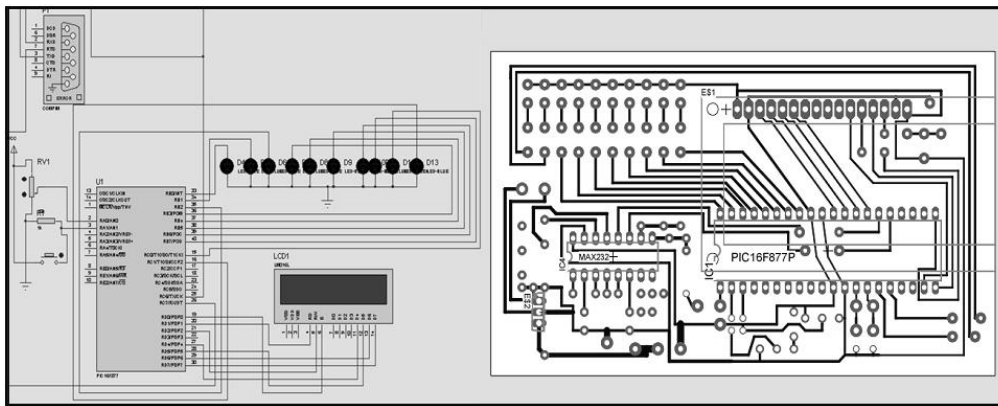
Además de las pruebas en una sola red, se realizaron pruebas entre las redes con el fin de validar la posibilidad de implantar dicho sistema independiente de un operador; sin embargo, los resultados no fueron los mejores debido a los problemas de Offnetting⁶.

Parte D. El módem Sony-Ericsson GT48 presentó algunos inconvenientes en la configuración debido a la dificultad para enviar mensajes en modo PDU; por tanto, en la codificación realizada, el máximo número de caracteres que se pueden enviar es 140, y no 160 como en la codificación 7 a 8. En consecuencia, no se tenía seguridad del mensaje codificado tanto en la parte de control como en la información del mismo. Debido a esto se consideró un poco lento usar el modo PDU y se decidió usar sólo el modo texto. Otro problema que surgió con este módem fue el no poder programar un puerto deseado para la recepción de los mensajes, ni para su envío en dicho puerto, ya que el manejo de puertos permite la versatilidad de manejar múltiples aplicaciones o múltiples usuarios y tener un control de los mismos.

Parte E. El sistema de control cuenta con una pantalla LCD para crear un ambiente amigable con el usuario y una barra de leds que muestra el porcentaje de crecimiento o decrecimiento de algunos de los elementos que se miden. También permite enviar de forma manual a un usuario remoto, previamente definido, la lectura de cualquiera de los sensores en caso de que se necesite.

Para la implementación del sistema de control, se usó un microcontrolador Microchip 16F877A, que se encarga de monitorear los sensores, mostrar mensajes por una pantalla LCD, enviar los comandos AT al módem tanto de inicialización como de envío de mensajes, y leer los mensajes recibidos del mismo.

6. Término que se da a los servicios realizados en diferentes redes de diferentes operadores, donde la estandarización es limitada y los convenios interempresariales forman parte del servicio.



Fuente: Alexis Gómez V. y César Forero.

Figura 10. Diagrama y baquela de control.

Parte F. Los sensores del prototipo fueron simulados en el sistema de control a través de divisores de voltaje, que simulaban los niveles de los sensores del acueducto, así como controles on/off.

RESULTADOS

Dentro del desempeño total del sistema diseñado, los resultados obtenidos fueron satisfactorios, aun con los inconvenientes presentados a lo largo del proyecto, los cuales se solucionaron en su gran mayoría; sin embargo, hubo otros que no pudieron solucionarse, entre ellos la creación de una aplicación Java enfocada al computador que generaría una interfaz, entre el celular y el computador, ya que no se pudo acceder a los puertos seriales del mismo con el programador Netbeans. Para resolver este problema, se recurrió a JCreator, de un nivel más bajo, que permite acceder al puerto serial de forma más sencilla. Al intentar establecer la conexión entre el celular y el computador se dedujo que, debido a las diferentes marcas de celulares y la falta de una estandarización, es prácticamente imposible lograr una comunicación exitosa por vía serial.

En cuanto al envío de mensajes de texto, se encontraron varias formas de hacerlo. Una de ellas fue el modo PDU, que permite una manipulación de los datos que se envían, controlando diferentes aspectos del mensaje, como tiempos, retardos, confirmaciones, entre otros. Sin embargo, presenta el inconveniente de la codificación de bits, bastante laboriosa y difícil de implementar en el microcontrolador. Después de un análisis exhaustivo, se determinó que para el proyecto era irrelevante

el manejo de todos estas herramientas; por consiguiente se usó el modo de texto, donde se implementó un protocolo de alto nivel para entender los tipos de mensajes de lectura de variable, así como de control de variable.

Cuando se empezó a desarrollar el programa para el microcontrolador que ejecutaría comandos AT con el

módem no se encontraron problemas con el envío, pero sí con la recepción de las respuestas generadas del módem hacia el microcontrolador, ya que se desconocía que el módem en su configuración RS232 usa el pin RTS (Request To Send, Petición de envío), la señal que indica que el DTE desea enviar datos al DCE (ninguna otra línea está disponible para la dirección opuesta, de aquí en adelante el DTE debe estar siempre listo para aceptar datos). En operación normal, la línea de RTS estará OFF (1 lógico o Marca). Una vez que el DTE tiene los datos para enviar, y han determinado que el canal no está ocupado, colocará RTS a ON (0 lógico o Espacio) y esperará un estado ON en el CTS desde el DCE, al tiempo que puede comenzar a enviar. Una vez que el DTE culminó el envío vuelve a fijar RTS a OFF



Figura 11. Sistema de Control realizado.

(1 lógico o MARCA). Para solucionar este inconveniente se puso un 1 lógico el pin 7 para que el módem pudiera transmitir.

Como el PIC tiene limitaciones al recibir un arreglo de caracteres, debido a su poca memoria, cuando se necesitaba leer un mensaje recibido, el PIC se quedaba corto. En consecuencia, se inicializa el arreglo de caracteres en una variable negativa, ya que no interesa todo el mensaje (datos como fecha, número y hora de envío). Así pueden aprovechar más los caracteres recibidos.

Teniendo en cuenta la gran variedad de módems encontrados en el mercado, se presentó un inconveniente: debido a la referencia, no se tenía la funcionabilidad esperada en todos los comandos AT incorporados para su utilización. Por tanto no hubo una comunicación *full duplex* completa.

El tiempo de trabajo de los sistemas de telefonía celular con respecto al envío y la entrega de mensajes SMS en redes ideales es casi tiempo real; sin embargo, varía dependiendo del uso de la red del mismo operador o de multirredes, pues puede presentar ciertas demoras y retardos en la entrega de mensajes. A continuación se presenta una tabla donde se aproximan los tiempos máximos de demora.

Tabla 2
Tiempos de respuesta del sistema entre operadores

Emisora / Receptora	Tigo	Comcel	Movistar
Tigo	0-2 s	0-15 s	0-10 s
Comcel	0-10 s	0-2 s	0-10 s
Movistar	0-5 s	0-10 s	0-2 s

Después de lograr el envío se presentó un problema, pues el módem no muestra una alerta visible de haber recibido un mensaje de texto, sino que acelera por unos segundos el parpadeo del LED y luego continúa su rutina normal. Por tanto, no se sabía dónde quedaba almacenado el mensaje recibido. Luego se aprendió a cambiar la memoria de almacenamiento para poder leer los mensajes en memoria del dispositivo o en la tarjeta SIM.

CONCLUSIONES

- La telefonía móvil tiene una amplia gama de aplicaciones por explorar, bien sea en el sector industrial o en el sector de hogares.
- Para desarrollar aplicaciones sobre la plataforma de SMS, es importante conocer cómo se encuentran organizados los datos. Se pueden llevar a cabo acciones de control y establecer políticas de seguridad. Otro aspecto no menos importante es el conocimiento del hardware de los terminales para lograr la integración total del sistema y su funcionamiento óptimo. Esto permite generar aplicaciones con excelente desempeño.
- La implementación de diferentes técnicas de transmisión de datos permite controlar diferentes entornos, aunque no siempre la técnica más rápida o más compleja es la más adecuada. Para juzgar esto, se debe tener en cuenta el tipo de aplicación que se va a desarrollar, ya que por costos y versatilidad es mejor escoger una con mejor rendimiento y que se adapte con más facilidad a las necesidades del usuario.
- Se debe utilizar un módem que tenga todas las funciones de los comandos AT. El crear una interfaz de fácil manejo para el usuario puede resultar bastante tedioso y prolongado, pero esta debe realizarse a satisfacción para que el usuario tenga fácil y rápido acceso a la información que se transmitirá.
- Se debe tener en cuenta que el sistema de control diseñado necesita un circuito adecuador que lo haga compatible; así sus mediciones serán enviadas en forma entendible para el usuario.
- Para una próxima implementación se debe escoger un microcontrolador de más capacidad.
- Teniendo en cuenta las complicaciones geográficas que se presentan en nuestro territorio y el difícil acceso de tecnologías de punta para todos los lugares, son imperativos el ingenio y la implementación de tecnologías baratas y versátiles.

REFERENCIAS

- Developer Forums: Java Technology Forums Disponible en: <http://forum.java.sun.com/> [Consultado en Agosto de 2006]
 Forum Nokia Disponible en: <http://forum.nokia.com/> [Consultado en Septiembre de 2006]
 Froufe Quintas, A.; Cárdenas, P.J. J2ME. *Manual de usuario y tutorial*. Java 2 MICRO EDITION.
 Informe Sectorial de Telecomunicaciones, Julio 2006, No 7.

Comisión de Regulación de Telecomunicaciones. Republica de Colombia.

JAVA 2. *Manual de usuario y tutorial*, 4ª Edición actualizada a la versión J2SE 5. FROUFE, A. (Ra-ma)

Java en castellano. Programación de juegos para móviles con J2ME Disponible en: http://www.programacion.com/java/tutorial/ags_j2me/. [Consultado en Octubre de 2006]

Mobile / J2ME Programming. Disponible en: http://java.about.com/od/mobilej2meprogramming/Mobile_J2ME_Programming.htm. [Consultado en Agosto de 2006]

Mobile P2P messaging Disponible en: <http://www-128.ibm.com/developerworks/wireless/library/wi-p2pmsg/>. [Consultado en Noviembre de 2006]

Sony Ericsson. Disponible en: www.sonyericsson.com [Consultado en Noviembre de 2006]

Tutorial de Java. Disponible en: http://www.itapizaco.edu.mx/paginas/Java_Tut/froufe/index.html. [Consultado en Noviembre de 2006]

ADMINISTRACIÓN

Perspectivas sociológica y económica en la teoría organizacional

(2da. parte)

ALEXÁNDER GUZMÁN VÁSQUEZ

Magíster en administración, administrador de empresas. Estudiante del Doctorado en Administración, Facultad de Administración, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Correo: ale-guzm@uniandes.edu.co

MARÍA ANDREA TRUJILLO DÁVILA

Magíster en administración, ingeniera sanitaria. Profesora e investigadora. Facultad de Administración, Universidad del Rosario. Estudiante del Doctorado en Administración, Facultad de Administración, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Correo: maria.trujilloda@urosario.edu.co

GISELE EUGENIA BECERRA PLAZA

Magíster en administración, administradora de empresas. Decana, Facultad de Administración, Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá, Colombia. Correo: gbecerra@escuelaing.edu.co

MANUELA TRUJILLO DÁVILA

Contadora pública. Sales Manager. Insurance Express. mtrujild@une.net.co

Artículo recibido: 5/12/2007
Evaluación par interno: 1/04/2008
Aprobado: 13/05/2008

Resumen

Al igual que el artículo titulado Perspectivas sociológica y económica en la teoría organizacional, publicado en la Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería, número 68, éste se enfoca en resaltar la importancia de las perspectivas sociológica y económica en la construcción del conocimiento en la teoría organizacional. En esta oportunidad se enfatiza en los conceptos de poder y cultura en las organizaciones, la importancia de la ecología poblacional y el evolucionismo en el estudio de las mismas, y el efecto de la racionalidad limitada y las asimetrías de información sobre la toma de decisiones. Al final de cada aparte, se plantean algunas preguntas de investigación que pueden ser desarrolladas dentro del estudio de la teoría organizacional.

Palabras clave: teoría organizacional, sociología, economía.

Abstract

Thus far to the article titled Sociological and Economical Perspective in the Organizational Theory, published in the Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería, número 68, this article focuses on the importance of sociological and economical perspectives in the organizational theory construction of knowledge. Moreover, in this article emphasizes on organizations power and culture concepts, the importance of studies of population ecology and the evolutionary theory, the bounded rationality effect and the asymmetric information for making decisions. At the end, some questions are considered about investigation that could be developed into organization theory study.

Key words: Organizational Theory, Sociology, Economy.

INTRODUCCIÓN

En el artículo titulado *Perspectivas sociológica y económica en la teoría organizacional*, publicado en la *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería*, número 68, se resaltó que el avance más significativo en la construcción del conocimiento de la administración se ha dado en la teoría organizacional gracias a los aportes de la sociología y la economía. Se enfatizó en que desde la sociología, Lammers (1981) argumenta que los aportes a la teoría organizacional pueden sintetizarse en tres puntos:

1. Las organizaciones son herramientas recalcitrantes, tienen vida propia y no son instrumentos simples ni medios neutrales que pueden ser direccionados de manera racional para alcanzar ciertos fines.
2. Las organizaciones son partes integrantes de la sociedad.
3. El interés en los aspectos culturales y los determinantes de las formas y los procesos organizacionales. El análisis de la naturaleza de la autoridad y su legitimación, reglas y roles, valores y normas, sistemas de creencias y símbolos usualmente caen dentro de la sociología.

Igualmente, en el mencionado artículo se resaltó que, para los economistas, la toma de decisiones y los problemas que deben solucionarse en las empresas requieren el uso de un conjunto de herramientas económicas. El desarrollo de sistemas de evaluación del desempeño y de sistemas de compensación puede ser realizado a través de herramientas proporcionadas por la microeconomía (Brickley, Smith y Zimmerman, 1999). El enfoque contractualista o teoría de contratos, dentro del cual se pueden resaltar la teoría de los costos de transacción y la teoría de la agencia, representa aportes propios o influenciados por la economía en la teoría organizacional. Además, se mencionó un aporte realizado por los economistas a la teoría organizacional: la corriente teórica inspirada por Edith Penrose (1959). Su teoría del crecimiento de la firma es considerada un trabajo seminal que provee fundamentos intelectuales para la moderna teoría de los recursos y las capacidades.

En este artículo se pretende resaltar los conceptos de poder y cultura en las organizaciones, la importancia de la ecología poblacional y el evolucionismo en el estudio

de las mismas, y el efecto de la racionalidad limitada y las asimetrías de información sobre la toma de decisiones. Se describirán brevemente estos conceptos, y se plantearán preguntas de investigación que nuevamente permitirán enfatizar en la incidencia de la sociología y la economía en la teoría organizacional, y generarán una provocación para los investigadores en el área.

PODER EN LAS ORGANIZACIONES. PERSPECTIVA SOCIOLOGICA

El concepto de poder en el nivel organizacional ha sido abordado desde diferentes enfoques que han trascendido la concepción tradicional de dominación de una parte sobre la otra. Dar al poder una caracterización relacional permite entenderlo como algo racional, situacional y recíproco que no es propio de un individuo, sino de una relación social. Desde esta concepción, se originan diferentes fuentes, formas y usos del poder en la organización y en la relación con su entorno. En estas configuraciones participan actores que pueden potencializar el uso del poder y pueden ser artífices de patologías organizacionales derivadas del abuso y mal uso del mismo.

La definición de poder de Max Weber, como “la probabilidad de imponer la propia voluntad, dentro de una relación social, aún contra toda resistencia y cualquiera que sea el fundamento de esa probabilidad” (1977:43), evidencia el carácter relacional y dinámico del poder, y lo caracteriza como algo que emana de quien lo ejerce. Autores como Salancik y Pfeffer (1977) presentan una definición de poder individual contextualizada posteriormente en el nivel organizacional. Conciben el poder como la habilidad para lograr que las cosas se hagan como uno quiere que se hagan; sin embargo, al considerar el poder como facilitador en el proceso de alineación de la organización con sus realidades, afirman que es compartido, porque ninguna persona controla todas las actividades deseadas en la organización. Es decir, el concepto de poder se amplía al considerar que facilita la adaptación de la organización a su entorno; por tanto, el poder de un individuo o grupo nunca es absoluto y se deriva del contexto de la situación.

Presentado lo anterior, cabe preguntarse quién ejerce el poder en la organización. Según Scott (2003), el poder es ejercido por una coalición dominante, definida según los intereses comunes de sus miembros, el rol desem-

peñado por cada uno de ellos, el tamaño de la misma y los entornos institucionales que la soportan. Salancik y Pfeffer (1977) conciben la coalición dominante como un ente que, en el ejercicio del poder, tiende a ser el grupo más apropiado por su capacidad de respuesta ante los cambios demandados por el entorno organizacional. El poder ejercido por una coalición dominante tiene la capacidad de instituir constituciones, reglas, procedimientos y sistemas de información que perpetúen su dominación.

Como fuentes de poder, Scott (2003) menciona diferentes actores que influyen en cierta medida: el tamaño y composición de la coalición dominante. Las fuentes de poder en la organización moderna provienen de los propietarios, gerentes, trabajadores como colectividad que ocupan roles periféricos críticos en la organización y los distintos modos de capital financiero, social y cultural. Salancik y Pfeffer (1977) sostienen que el poder se organiza alrededor de los recursos escasos y críticos, y que rara vez se organiza alrededor de recursos abundantes. El hecho de que el poder gire en torno de los recursos críticos y escasos hace que el control sobre los recursos triviales o abundantes se convierta en foco de poder para la asignación de estos en la organización.

Quienes ejercen el poder en la organización lo utilizan de diferentes maneras. Scott (2003) plantea que, en el ejercicio del poder, la coalición dominante, como grupo que busca alinear intereses, define las metas organizacionales. Salancik y Pfeffer (1977) argumentan que el poder puede ser usado para influenciar la toma de decisiones y las políticas de la organización.

La naturaleza relacional del poder también puede evidenciarse en el poder ejercido entre organizaciones. Los teóricos de la dependencia de recursos asumen que la vulnerabilidad de una organización a la influencia interorganizacional está, en parte, determinada por la dimensión en que la organización depende de ciertos tipos de intercambio para su operación. De acuerdo con Emerson (1962; citado por Scott, 2003: 309), el poder para controlar o influenciar a otros reside en el control sobre las cosas que ellos valoran. El poder reside implícitamente en la dependencia del otro. Powell y D'Amaggio (1991) argumentan que cuanto mayor es la dependencia de una organización respecto de otra, más se asemejará a esa organización en estructura, ambiente y foco de conducta; además, cuanto mayor

es la centralización de la oferta de recursos de la organización, mayor será el grado en que la organización cambiará isomórficamente a fin de parecerse a las organizaciones de las que dependen en cuanto a sus recursos.

El poder como proceso dinámico en la organización otorga a quien lo ejerce la capacidad de potencializarlo, y a la vez de hacer un uso inadecuado del mismo. Según Scott, el mal uso del poder puede ocurrir internamente o externamente cuando los participantes son explotados o cuando el público que confía en los bienes y servicios de la organización descubre que esta es irresponsable y le impone cargas y restricciones. Desde el punto de vista interno, el mal uso del poder para los individuos participantes se configura en situaciones de alineación, inequidad, inseguridad y sobreconformidad. Externamente, agentes a la organización sufren el abuso del poder emanado de la organización a través del crimen, la corrupción, la falta de receptividad y la inexorabilidad.

Finalmente, en la revisión al caso de Fisher Body-General Motors elaborada por Klein (1996), se evidencia el establecimiento de una relación contractual en que una de las partes tiene mayor control sobre la otra, lo que puede generar situaciones de abuso de poder. Las altas inversiones realizadas por Fisher Body desencadenan el problema del *hold up*¹, otorgando poder a General Motors para actuar de manera oportunista. Sin embargo, la búsqueda de soluciones a estos problemas, como contratos a largo plazo en un principio y la integración vertical finalmente, permitieron aliviar la rigidez de los términos contractuales, crear flexibilidad, reducir costos de transacción y eliminar el problema del *hold up*.

Dado que el abuso de poder genera patologías que afectan a los individuos dentro de la organización, surgen los siguientes interrogantes: ¿cuáles son las fuentes de asimetría de poder entre géneros derivadas del mal uso del mismo? ¿Qué acciones deben implementar las organizaciones para reducir dicha asimetría?

1. El problema del *hold up* puede presentarse por la especificidad de activos y la relación de dependencia de una parte respecto a la otra en una relación contractual.

CULTURA EN LAS ORGANIZACIONES. PERSPECTIVA SOCIOLOGICA

El estudio de la cultura organizacional se ha convertido en un tema central dentro de la teoría organizacional. Establecer una definición, entender la dinámica subyacente, comprender sus componentes y determinar si es posible intervenir la cultura de la organización ha llamado la atención de teóricos de diferentes disciplinas que han alimentado y propiciado el desarrollo y la comprensión del concepto. Este apartado presenta elementos básicos que permiten entender el proceso llevado a cabo para la construcción de la teoría relacionada con el tema.

Encontrar una definición generalmente aceptada para cultura organizacional ha sido una tarea abordada por diferentes teóricos, como lo resalta Martin (2002), quien recopila diferentes definiciones. Entre estas está la de Sergiovanni y Corbally (1984, citados por Martin, 2002), para quienes “una definición estándar de cultura podría incluir un sistema de valores, símbolos y significados compartidos por un grupo, incluyendo la personificación de esos valores, símbolos y significados en objetos materiales y prácticas ritualizadas... El contenido de una cultura incluye costumbres y tradiciones, relatos históricos siendo míticos o reales, entendimientos tácitos, hábitos, normas y expectativas, significados comunes asociados con objetos fijos y ritos establecidos, suposiciones compartidas, y significados inter subjetivos”. Esta definición representa los elementos que generalmente se aceptan como componentes de la cultura organizacional.

Alrededor de estos conceptos se han construido numerosos estudios y modelos. Uno de estos, el modelo de Schein (1985, citado por Hatch, 1993), explica la cultura organizacional basándose en relaciones entre las suposiciones o creencias, los valores organizacionales y los artefactos, los cuales son los resultados tangibles soportados en los valores y las suposiciones de la organización. Hatch (1993) propone modificar este modelo adoptando una visión dinámica en relación con la cultura organizacional. Para sustentar esta dinámica, establece relaciones continuas entre cuatro elementos que configuran la cultura organizacional. Inicialmente, menciona la relación existente entre las creencias y los valores a través de un proceso de manifestación de doble vía, por medio del cual las creencias se transforman en valores, o el surgimiento de nuevos valores modifican

creencias existentes en la organización. Posteriormente, resalta la relación entre los valores y los artefactos por medio de un proceso de realización de doble vía, que permite la representación tangible de los valores de la organización en artefactos, o la realineación de los valores por el surgimiento de nuevos artefactos. Además, los artefactos están relacionados con los símbolos organizacionales a través de un proceso de simbolización de doble vía, por medio del cual los artefactos y los significados asignados a los mismos generan símbolos para la organización, o los símbolos llevan a la creación de artefactos que los representen. Finalmente, la interpretación permite alimentar o modificar las creencias gracias a los símbolos, o generar símbolos partiendo de las creencias existentes. De esta manera, los procesos que relacionan los cuatro componentes de la cultura organizacional generan estabilidad, aunque también proporcionan cambio.

El anterior es tan solo un ejemplo de los diferentes trabajos relacionados con la cultura organizacional. Ouchi y Wilkins (1985) realizaron una reseña literaria y establecieron deudas intelectuales con diferentes disciplinas en el estudio de un asunto tan complejo como el de la cultura organizacional. Según estos autores, la antropología, la sociología y la psicología social han influenciado el estudio de la cultura en las organizaciones. La influencia de la antropología se concentra en dos escuelas: la primera afirma que los elementos culturales cumplen un papel predominante en el soporte de la estructura social; la segunda se ocupa de la semiótica, es decir, del estudio del lenguaje y el símbolo como instrumentos que permiten reconocer los puntos de vista pertenecientes al grupo estudiado. También la psicología social ha influenciado el estudio de la cultura organizacional propiciando el desarrollo de los estudios de clima organizacional y de las disonancias cognoscitivas de los actores organizacionales.

La sociología ha tenido influencia importante y extensa en el estudio de la cultura organizacional. Bajo su aporte se ha desatado una lucha entre las visiones explícitas y racionales de la organización y las visiones implícitas y no racionales. Las visiones implícitas resaltan la importancia de los mitos y rituales en el estudio de la cultura. Otra controversia planteada por la sociología ocurre entre las características racionales y no racionales de la organización. Los sociólogos organizacionales inicialmente concibieron la organización desde una

perspectiva racional; sin embargo, diversos teóricos reconocieron la existencia de la organización informal y defendieron su importancia. Finalmente, la sociología incorporó el análisis multivariado como herramienta para los científicos sociales.

Estos aportes constituyen la base para el trabajo desarrollado en el campo de la cultura organizacional. Ouchi y Wilkins (1985) mencionan que este trabajo puede ser clasificado en estudios teóricos y estudios empíricos. Los estudios teóricos se pueden agrupar en macroanalíticos y microanalíticos. “Las teorías macroanalíticas tienen en común un intento por entender la cultura de un grupo o subgrupo completo, las funciones que la cultura desempeña manteniendo el grupo, o las condiciones bajo las cuales el grupo y su cultura y subculturas se desarrollan. Las teorías microanalíticas presentan la cultura como algo que reside al interior de cada individuo y puede ser entendido a través del proceso cognitivo del hacer-sentir, aprender, y la atribución causal, o probando la mente inconsciente” (Ouchi y Wilkins, 1985: 471). Los estudios empíricos pueden agruparse en holísticos, semióticos y cuantitativos. Los estudios holísticos están basados en estudios etnográficos, la mayoría con observación participante, utilizando metodologías cualitativas y cuantitativas, y revisando documentos y archivos históricos para entender la cultura organizacional. Los estudios semióticos se han dedicado a entender el lenguaje y los símbolos organizacionales como explicativos de la cultura, siguiendo una metodología rigurosa de análisis. Los estudios cuantitativos han utilizado instrumentos de medición para evaluar, entender e interpretar la cultura organizacional.

Ouchi y Wilkins (1985) se ocupan igualmente de resaltar estudios relacionados con la posibilidad de modificar la cultura organizacional. Por medio de descripciones de casos empresariales se ha determinado que la cultura difícilmente puede ser alterada intencionalmente y que resulta una variable dependiente, en vez de una independiente. Sin embargo, las conclusiones de estudios realizados en empresas exitosas han revelado que, aunque con dificultad, la cultura organizacional puede ser recreada.

En conclusión, es pertinente hablar de la cultura de una organización como algo diferente a la cultura de su entorno, puesto que la organización cuenta con sus propias creencias, valores, artefactos y símbolos, que

constituyen su cultura de manera única, diferenciada y particular. Además, la cultura organizacional es intervenida todo el tiempo, debido a su carácter dinámico y cambiante, pero no es influenciada de manera determinante por un único actor: resulta de la construcción colectiva de los participantes de la organización. De lo anterior se puede llegar a los siguientes interrogantes: ¿qué consecuencias tiene para la alta dirección el ignorar o pretender manipular la cultura organizacional en los planes de acción para la consecución de objetivos estratégicos? ¿Qué relación existe entre poder y cultura?

ECOLOGÍA POBLACIONAL Y EVOLUCIONISMO. PERSPECTIVAS SOCIO-LÓGICA Y ECONÓMICA

Incorporar planteamientos teóricos de la biología y la ecología para el estudio del comportamiento y evolución de las organizaciones resulta interesante y útil, a pesar de las modificaciones que se deben realizar a dichos planteamientos para tener en cuenta el carácter humano de estas organizaciones sociales. El efecto del entorno en la capacidad de perdurar y en el fenómeno evolutivo de las poblaciones de organizaciones, cuyo análisis es complementado por la teoría evolucionista, permite explicar en cierta medida el por qué nacen, mueren y, en términos generales, por qué existen tantas formas organizacionales.

El artículo *The population ecology of organizations* (Hannan y Freeman, 1977) representa un aporte teórico bastante significativo para entender la relación de las empresas con su entorno. Los autores rescatan la importancia dada a los estudios del impacto del entorno en la configuración de las formas organizacionales y argumentan la necesidad de reformular el problema en términos de poblaciones ecológicas, por considerarlo fundamentalmente ecológico.

La teoría organizacional y la literatura sociológica han adoptado una perspectiva adaptativa. Para Hannan y Freeman, esta perspectiva debe complementarse, ya que existe una inercia estructural; es decir, limitaciones en la capacidad de adaptación de las organizaciones. Estas limitaciones pueden generarse por acuerdos estructurales internos –como las inversiones o costos hundidos, las restricciones de información interna, la política interna y la historia de la organización– o por presiones externas –como las barreras de entrada y

salida a los mercados, las restricciones de legitimidad, de información externa y el problema de racionalidad colectiva—. Respecto a la inercia estructural, Hannan y Carroll (1995) mencionan que un factor de restricción muy importante está constituido por las características *core* de las organizaciones (la misión, las formas de autoridad, la tecnología básica y las estrategias de mercado de la firma). Dado lo anterior, la perspectiva adaptativa debe ser complementada por una perspectiva de selección.

Sin embargo, enmarcar el estudio de las relaciones de las organizaciones con el entorno en términos ecológicos y adoptar después una perspectiva de la selección implica definir la unidad de análisis y contemplar los desafíos inherentes al uso de posturas ecológicas en el estudio de organizaciones humanas. Respecto a la unidad de análisis, mientras que el análisis ecológico se realiza en tres niveles (individuo, población y comunidad), los análisis organizacionales introducen cinco niveles (miembros, subunidades, organizaciones individuales, poblaciones de organizaciones, y comunidades de poblaciones de organizaciones²). La unidad de análisis escogida por Hannan y Freeman son las poblaciones de organizaciones, conformadas por todas las organizaciones situadas en el interior de una frontera particular (sistema), que tienen una forma común (forma organizacional inferida a partir de la estructura formal, los patrones internos de comportamiento o el orden normativo).

Después de este marco teórico, Hannan y Freeman resaltan el aporte teórico de Hawley (1968, citado por Hannan y Freeman, 1977) para responder la pregunta de por qué hay diferentes clases de organizaciones. Para Hawley, la diversidad de formas organizacionales es isomórfica a la diversidad de entornos. Frente a esta postura teórica, los autores proponen dos complementos; el primero de ellos relacionado con el criterio de selección y la teoría de la competencia. El proceso de selección es desarrollado por el entorno de acuerdo

con la ecología, al escoger combinaciones óptimas de organizaciones. En este proceso, la competencia por recursos limitados y comunes para las organizaciones puede afectar la capacidad de perdurar de una organización, debido a la acción realizada por otra.

El segundo complemento propone tener en cuenta que hay entornos más dinámicos que otros y, por tanto, el cambio en las configuraciones del entorno afecta la capacidad de las poblaciones de organizaciones para adaptarse. Este complemento, basado en la teoría del nicho, contempla entornos estables o inestables, con cambios predecibles o impredecibles; desde una perspectiva temporal, entornos con cambios en periodos relativamente cortos o relativamente espaciados. Ante diferentes configuraciones del entorno, las poblaciones de organizaciones pueden adoptar dos tipos de estrategias: especializarse, lo que lleva a las organizaciones a concentrar sus inversiones en una actividad; o generalizarse, manteniendo inversiones que pueden no utilizarse para determinada configuración del entorno, pero que permiten a la organización adaptarse ante nuevas configuraciones.

Los planteamientos teóricos realizados en el evolucionismo, en el cual el aprendizaje y la adaptación al cambio tecnológico son trascendentales para la evolución organizacional, complementan este diálogo propuesto entre la sociología, la ecología y la teoría organizacional. Desde esta corriente teórica, aportes realizados por Dosi, Marsili, Orsenigo, y Salvatore (1995) sostienen que las diferentes formas organizacionales están condicionadas por la naturaleza de las actividades de aprendizaje y los mecanismos de selección. El aprendizaje de las firmas conduce a una heterogeneidad tecnológica y organizacional que resulta en habilidades competitivas que afectan el tamaño y número de firmas en el mercado y la mortalidad de las mismas. Desde esta perspectiva, el aprendizaje genera mejor adaptabilidad para las firmas y una selección en el entorno por aquellas de mejor desempeño.

Existen elementos comunes en estudios de Nelson y Winter (1973) sobre el cambio tecnológico y los fenómenos asociados a los mismos, entre ellos el comportamiento de la firma. De acuerdo con sus hallazgos, con el paso del tiempo la firma modifica sus técnicas de producción cuando su retorno es inferior al deseado. Esta modificación se da a través de su aprendizaje interno, basado en análisis de sus actividades, investigación

2. Hannan y Carroll (1995) definen la comunidad como el conjunto poblaciones cuyas interacciones se realizan inmersas en un carácter sistémico. Desde su punto de vista, una comunidad de poblaciones involucrará las poblaciones de proveedores, de consumidores, de uniones laborales, de agencias regulatorias, entre otras.

y desarrollo, o a través de mecanismos de imitación. En consecuencia, las firmas innovadoras logran tener rentabilidad en poco tiempo, y las firmas rezagadas imitan a las líderes disolviendo las desventajas con el paso del tiempo. Así, las firmas buscan permanecer por su capacidad de adaptación.

Hodgson y Knudsen (2003) destacan una razón adicional, complementaria para la existencia de la firma, a la propuesta por la teoría de costos de transacción. Para ellos, los efectos de aprendizaje de la firma pueden dar razones y justificaciones para su existencia, aún si se presenta un escenario de ausencia de costos de transacción en el mercado. Muestran que el aprendizaje dinámico aumenta las capacidades de la firma, lo que las puede llevar a ser más rentables que el mercado, aun en ausencia de costos de transacción. De esta manera, los autores explican alternativamente la existencia de la firma basándose en sus capacidades, las cuales le permiten adaptarse, ser seleccionada y permanecer en el entorno.

A partir de los planteamientos teóricos expuestos, se puede concluir que las poblaciones de organizaciones, en su proceso evolutivo y teniendo en cuenta las dinámicas de cambio, buscan permanecer y ser seleccionadas por el entorno a través de mecanismos de adaptación al mismo (aprendizaje e imitación). Las organizaciones surgen ante configuraciones del entorno y este determina cuáles organizaciones deben desaparecer por su incapacidad adaptativa. Desafiando la profundidad de los planteamientos realizados por los autores, se puede dejar planteado el siguiente interrogante: ¿en realidad se puede negar la incidencia de las organizaciones en la configuración del entorno?

RACIONALIDAD LIMITADA E INFORMACIÓN ASIMÉTRICA. PERSPECTIVA ECONÓMICA

En este apartado se presentará la influencia de la racionalidad limitada del individuo en el proceso de toma de decisiones. Al concebir al individuo como sujeto con racionalidad limitada, se señalarán los límites de esta racionalidad y su influencia en la configuración de escenarios que conduzcan la organización a la consecución de los objetivos organizacionales. Al mismo tiempo, se resaltará el efecto de la racionalidad en el establecimiento de contratos, como mecanismo adoptado por las organizaciones para formalizar las relaciones en el desarrollo de su actividad.

El concepto de racionalidad expuesto por Simon (1972), como estilo de comportamiento orientado a la consecución de ciertos objetivos dentro de ciertas restricciones, se enmarca en la teoría del proceso de toma de decisiones del individuo, que se opone a la concepción del hombre económico completamente racional, capaz de reconocer ex ante todas las alternativas posibles con sus respectivas consecuencias. En este sentido, Simon reconoce un *individuo con racionalidad limitada* que trata de establecer un nivel de esfuerzo que le permita aproximarse a una decisión satisfactoria, más que a una decisión óptima, según sea su nivel de aspiración. La selección de alternativas satisfactorias se realiza a través de mecanismos dinámicos que ajustan los niveles de aspiración a la “realidad” sobre la base de la información del entorno (Simon, 1972:415).

Los límites de la racionalidad no son estáticos y dependen del contexto organizacional en el que se desarrolla la decisión individual. *La incertidumbre y el riesgo* sobre las consecuencias de alternativas, *la información incompleta* de las alternativas disponibles y el *nivel de complejidad* de los cálculos requeridos para identificar y evaluar las alternativas constituyen los límites que enfrenta el individuo en el proceso de toma de decisiones. Estos límites se derivan del establecimiento de *contratos incompletos*, es decir, ante escenarios impredecibles y complejos, el mecanismo del contrato es limitado al no poder incluir en el mismo todas las situaciones y contingencias que pueden suceder en una relación entre agentes.

Los contratos incompletos se establecen bajo *asimetría de información*, posibles renegociaciones, incremento de costos para las partes, fuertes inversiones específicas y el riesgo de *hold-up*. El establecimiento de contratos incompletos trae ciertas implicaciones en la concepción de propiedad y control. Ante la ausencia de información, se buscará adquirir derechos residuales que permitan tener capacidad de decisión ante situaciones no previstas en el contrato. Es la situación entre querer ser propietario y no arrendatario, ya que cuanto más específicas sean las inversiones en una situación determinada, mayor será la tendencia a que se concentre la propiedad.

Establecer un contrato en que se prevea la realización de inversiones específicas por una de las partes puede generar el problema del *hold up*, o engrampe, ya que una de las partes puede obtener poder “monopólico” sobre la otra. Ante esta situación, el contrato es incompleto, por la imposibilidad de las partes de acor-

dar el reparto de la utilidad adicional —resultado de la transacción— antes de tomar decisiones no observables sobre la inversión. Lo anterior conduce a posteriores renegociaciones que son costosas y que posiblemente limiten las iniciativas de inversión. Un caso ilustrativo de lo anterior se ve en la compra de Fisher Body por General Motors, motivada por el problema de *hold up*. La fusión permitió a General Motors tener más control y evitar realizar renegociaciones futuras debido a variaciones del mercado (Hart, 1995).

La asimetría de información, como una de las causas del establecimiento de contratos incompletos, ha sido abordada por la teoría económica de la información. Autores como Macho y Pérez (1994), en el libro *Introducción a la economía de la información*, abordan el estudio de información asimétrica en una relación contractual analizando las características de los contratos óptimos y las variables que repercuten sobre ellos según sea el comportamiento y la información de las partes firmantes³. Se presenta *información asimétrica* cuando una de las partes conoce más información con respecto a la otra o, dicho de otro modo, cuando un participante sabe algo que el otro desconoce. Cuando la información es asimétrica, los agentes eligen “decisiones” y la naturaleza (los estados de la naturaleza) decide las consecuencias.

La información asimétrica es caracterizada por Macho y Pérez (1994) en tres tipos: *riesgo moral*, *selección adversa* y *señalización*. En el primer tipo, *riesgo moral*, se contemplan dos posibles situaciones. En una, la acción del agente no es verificable, es decir, el principal no puede verificar el esfuerzo realizado por el agente, por tanto, el pago no puede depender del esfuerzo realizado por este último. En otra, el agente recibe información privilegiada una vez iniciada la situación. La asimetría de la información se origina en que, antes de realizar el esfuerzo para el que se le ha contratado, el agente observa una realización de la naturaleza que no observa el principal. Un ejemplo típico de riesgo moral se presenta entre el empleado y la empresa. Otro tipo de asimetría de información estudiada por estos autores es la *selección adversa*, en la cual el agente dispone de información

privada antes del inicio de la relación. En este caso, el principal puede verificar el comportamiento del agente dentro de la relación; sin embargo, la decisión óptima y su costo dependen de las características propias del agente. La asimetría de información se refiere a las características del agente, que pueden ser de varios tipos, pero no pueden ser distinguidas por el principal. Un ejemplo claro de selección adversa es el que afronta la aseguradora frente a sus clientes. Finalmente, Macho y Pérez tipifican la *señalización*, presente en las situaciones en que una de las partes conoce alguna variable clave para la relación y con su comportamiento puede hacerla evidente para el otro participante. La señal puede ser enviada a través de acciones que tome el principal o el agente para influir en las creencias de la contraparte. Ejemplos de este tipo son las señales enviadas por los candidatos a una beca a través de la información depositada en sus solicitudes, o las señales enviadas por el productor de un bien a través del periodo de garantía ofrecido a sus clientes.

La asimetría de información, la incertidumbre y la complejidad son factores que coartan la capacidad racional del individuo en el proceso de toma de decisiones. Por tanto, lo expuesto hasta el momento pone en evidencia la dificultad afrontada por los individuos al tomar decisiones para alcanzar el objetivo de maximización de beneficios, dada la racionalidad limitada. Diferentes mecanismos desarrollados pretenden facilitar el proceso y poner en evidencia alternativas viables para quienes toman las decisiones. Sin embargo no se han encontrado herramientas que logren vencer la complejidad, el riesgo, la incertidumbre y la información incompleta. En la búsqueda de soluciones frente a los retos que impone la racionalidad limitada, ¿cómo pueden los incentivos ayudar a optimizar los contratos incompletos en determinados tipos de información asimétrica?

COMENTARIO FINAL

En este artículo, así como en el publicado en la revista número 68, se ha resaltado la importancia de los aportes de la sociología y la economía para la teoría organizacional. En esta segunda parte se ha prestado especial énfasis a los conceptos de poder y cultura en las organizaciones, la importancia de la ecología poblacional y el evolucionismo en el estudio de las mismas, y el efecto de la racionalidad limitada y las asimetrías

3. Se considera una relación bilateral en la que una parte contrata a otra para que realice cierta labor o tome ciertas decisiones. A la parte contratante se le llama principal y a la parte contratada agente.

de información sobre la toma de decisiones. Al igual que lo sucedido en el primer artículo, la discusión presentada permitió construir preguntas de investigación dentro del campo de la teoría organizacional, mostrando que estas perspectivas permiten el planteamiento de interrogantes válidos para avanzar en la construcción del conocimiento en la teoría organizacional.

REFERENCIAS

- Brickley, J.; Smith, C. & Zimmerman, J. (1999). Teaching the Economics of Organizations. *Financial Practice & Education*, 9(2):120-124.
- Dosi, G.; Marsili, O.; Orsenigo, L. & Salvatore, R. (1995). Learning, market selection, and the evolution of industrial structures, *Small Business Economics*, 7, p. 411-436.
- Hannan, M.T. & Carroll, G. (1995). An introduction to organizational ecology (p. 17-31). En Carrol & Hannan (eds.), *Organizations and industry: strategy, structure and selection*.
- Hannan, M.T. & Freeman, J. (1977). The population ecology of organizations. *American Journal of Sociology*, 82, pp. 929-964.
- Hart, O. (1995). Chapter 2: *The property rights approach* (pp. 29-33 y 49-55). Chapter 4: A discussion of the foundations of the incomplete contracting model (pp.73-94). En *Firms, contracts and financial structure*.
- Herbert, S. (1972). Theories of Bounded Rationality (p. 161 – 176). En McGuire and Radner, *Decision and organization*, North Holland: Amsterdam.
- Hatch, M.J. (1993). The dynamics of organizational culture. *Academy of Management Review*, 18 (4): 657-693.
- Hodgson, G. & Knudsen, T. (2003). Firm-specific learning and the nature of the firm: why transaction cost theory may provide an incomplete explanation (pp. 1-21). En *Fifth International Workshop on Institutional Economics: Explaining the Firm: Transaction costs or capabilities*. Hertfordshire UK, June.
- Klein, B. (1996). Vertical integration as organizational ownership: The Fisher-Body-General Motors Relationship Revisited (pp.165-178). En Scott Masten (Ed.), *Case Studies in Contracting and Organization*.
- Lammers, C. (1981). Contributions of Organizational Sociology: Part II: Contributions to Organizational Theory and Practice - A Liberal View. *Organization Studies*, 2(4): 361-376.
- Macho-Stadler, I. & Pérez-Castrillo, D. (1994). Capítulos 1 y 2 (p. 1-49), especialmente el tratamiento gráfico. En *Introducción a la economía de la información*.
- Martin, J. (2002). *Organizational culture: Mapping the terrain*. Sage Publications: Thousand Oaks, CA.
- Nelson, R. & Winter, S.G. (1973). Toward an Evolutionary Theory of Economic Capabilities. En *American Economic Review (Papers and Proceedings)*, 68, pp. 440-449.
- Ouchi, W.G. & Wilkins, A.L. (1985). Organizational culture. *Annual Review of Sociology*, 11: 457-483.
- Penrose, E.T. (1959). *The theory of growth of the firm*. London: Basil Blackwell.
- Powell, W. & DiMaggio, P. (eds). (1991). *The new institutionalism in organizational analysis*. London: University of Chicago Press.
- Salancik, G.R. y Pfeffer, J. (1977). Who gets power- And how they hold on it. *Organizational Dynamics*. Winter, pp. 3-21.
- Scott, W.R. (2003). *Organizations. Rational, natural, and open systems*, (5th edition) Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- Weber, M. (1977). *Economía y sociedad*, V. 1, Capítulo I, México: Fondo de Cultura Económica, pp. 18-45.

Independencia académica: un propósito de la educación superior

Artículo recibido: 18/02/2008
Evaluación par interno: 04/04/2008
Aprobado: 13/05/2008

CECILIO SILVEIRA CABRERA

Físico de la Universidad de La Habana. Docente de cátedra del Departamento de Ciencias Básicas de la Escuela Colombiana de Ingeniería. silveiracuba@yahoo.es, csilveir@escuelaing.edu.co.

Resumen

Con este trabajo hemos intentado realizar un análisis teórico y conceptual de la interrelación entre desarrollo social, competencia y la independencia académica. Las cuestiones fundamentales que se abordan son: cómo determinan el desarrollo y la estructura organizativa de la sociedad, en última instancia, las funciones productivas, las profesiones, el perfil profesional y laboral de sus miembros, y el concepto de independencia académica y su relación con las competencias genéricas profesionales. Entre las competencias genéricas, específicas y básicas profesionales sugeridas por el Proyecto Tuning para América Latina y por la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI) para ser desarrolladas en los estudiantes de ingenierías se destacan cinco: capacidad para aplicar los conocimientos en la práctica, **capacidad para aprender y actualizarse permanentemente**, capacidad para identificar, plantear y resolver problemas, compromiso ético y compromiso con la calidad. Se hace énfasis en la segunda competencia de la lista, y la relación con la **independencia académica**, entendiéndose como una característica deseada en un aprendiz. No se pretende en un solo trabajo abarcar un tema tan complejo y tan amplio, sino exponer algunos elementos que sirvan de base teórica y conceptual para futuras experiencias prácticas en los salones de clases. Están abiertas las puertas a otros docentes para formar equipos y así poder dar respuestas a los interrogantes que se plantean a lo largo del texto.

Palabras clave: competencia, independencia académica, aprendizaje autónomo.

Abstract

In this work we have tried to carry out a theoretical and conceptual analysis of competition, the relationship with the social development and in turn the relationship with the academic independence in the engineering students. The fundamental questions that are approached are: how do the development and the organizational structure of the society determine the productive functions, the professions and the professional and labor profile of its members and the concept of academic independence and its relationship ultimately with the competitions generic professionals. Among the competitions generic, specific and basic professionals suggested by the Project Tuning for Latin America and for the Colombian Association of Abilities of Engineering (Acofi) to be developed in the students of engineering stand out five that are: capacity to apply the knowledge in the practice, capacity to learn and to be upgraded permanently, capacity to identify, to outline and to solve problems, ethical commitment and commitment with the quality. Emphasis is made in the second competition of the list, and the relationship with the academic independence, understanding each other like a characteristic wanted in an apprentice. It is not sought in a single work to embrace such a complex and so wide topic, but exposing some elements that serve as theoretical and conceptual base for future practical experiences in the classroom. The doors are opened to other professors to form teams in order to give answers to the queries rising about along the text.

Key words: competition, academic independence, autonomous learning.

INTRODUCCIÓN

El papel de los sistemas educacionales es responder a las exigencias de la sociedad: preparar a sus miembros para que desempeñen funciones productivas o sociales específicas dentro de las estructuras organizativas establecidas.

La concepción del perfil del profesional es consecuencia del avance del conocimiento y de las herramientas que existen, como parte del nivel de desarrollo alcanzado por la sociedad. Hoy la sociedad requiere profesionales con pensamiento crítico, con conocimientos profundos de su realidad local y mundial, que junto a su capacidad de adaptarse al cambio, asuman un compromiso ético con la misma. El desarrollo de estas competencias implica cambios profundos en la didáctica general y específica, nuevos enfoques y nuevas formas de aprendizaje-enseñanzas, modificándose incluso el papel tradicional del profesor y del estudiante.

La educación de hoy exige que el estudiante tenga una participación activa en la construcción de su aprendizaje, que gane cada vez más la independencia académica; así el profesor se convertirá en un gran facilitador que pone en sus manos los recursos (información, métodos, herramientas), crea ambientes y los acompaña, brindándoles asistencia a lo largo de todo el proceso, elevando con ello su motivación, compromiso y gusto por aprender y corresponder a la utilidad del aprendizaje.

Lo expuesto conduce a un nuevo paradigma en el proceso de formación profesional: de una formación pasiva a una *formación activa*; de una formación por contenidos temáticos y fragmentados a una formación por competencias; de una formación dependiente a una *independencia académica* que conduzca a la *espiral de triunfo* del estudiante, que contribuya a desarrollar habilidades para la *comunicación oral y escrita, para la crítica, para la resolución de problemas* relacionados con la realidad y para la creatividad; de una docencia basada en el monólogo a una que lleve a la *participación comprometida* del estudiante; de una docencia donde prima el marcador y la palabra por la introducción de elementos de las *nuevas técnicas de la información* y otros adelantos tecnológicos; de una formación individual a una que contribuya al *trabajo cooperativo y colaborativo*.

El objetivo de este artículo es realizar un análisis teórico y conceptual de competencia, la relación con el desarrollo social y a su vez la relación con la inde-

pendencia académica en los estudiantes de ingeniería. No se pretende en un solo trabajo abarcar un tema tan complejo y tan amplio, sino exponer algunos elementos que sirvan de base teórica y conceptual para futuras experiencias prácticas.

CONCEPTO DE SOCIEDAD

Existen diferentes enfoques para definir sociedad: sociológico¹, antropológico² y filosófico, pero su análisis escapan del objetivo de este trabajo. No obstante nos centraremos en el concepto sociológico para establecer la relación dialéctica entre el desarrollo de la sociedad, las profesiones y los perfiles profesionales³, estrechamente ligados a las competencias profesionales.

Desde el punto de vista sociológico, la sociedad es la categoría utilizada para designar una agrupación estable de personas cuyo fin es procurar satisfacer sus necesidades comunes, mediante la colaboración mutua, es decir, un grupo de sujetos, localizados geográficamente y con una alta densidad de relaciones entre sus miembros.

SURGIMIENTO DE LAS PROFESIONES

La sociedad es dialéctica: se desarrolla y evoluciona en busca del bienestar creciente de sus integrantes; a la par, aparecen y se modifican las estructuras organizativas y las necesidades materiales-espirituales de sus miembros.

La división del trabajo hace posible que las actividades sean ejercidas por individuos diferentes. Esta constituye una modalidad necesaria para la organización, mantenimiento y desarrollo de la sociedad, apoyada

1. Octavio Uña Juárez & Alfredo Hernández Sánchez (2004). *Diccionario de sociología*. Madrid: Editorial ESIC.
2. Desde el punto de vista antropológico, el término sociedad designa a un grupo de personas que comparten un hábitat común y que se necesitan mutuamente para su supervivencia y bienestar. La sociedad está determinada por relaciones económicas y de intercambio, a la par de las premisas históricas.
3. Es el conjunto organizado y sintético de los rasgos que distinguen a una persona después de haberse formado conforme al plan de estudio de una carrera.

en un criterio funcional de reparto de cometidos. Para cada nivel de desarrollo de la sociedad: sea primitiva, feudal, esclavista, monárquica o capitalista, en sus diversas formas, se requieren individuos o grupos de individuos especializados en realizar ciertas tareas. Esto hace que la sociedad necesite individuos cada vez más especializados, acorde con el nivel de desarrollo alcanzado, y que se diversifiquen las funciones, apareciendo, modificándose o desapareciendo.

La atomización y diversificación de las funciones, producto de la división del trabajo, estimula a que los individuos posean características cada vez más específicas, que correspondan con la actividad productiva o social por realizar. Las profesiones están necesariamente ligadas a un saber parcial, y su origen se encuentra determinado por la división social del trabajo. Se establece así la relación dialéctica entre el desarrollo de la sociedad y las profesiones.

SOBRE EL CONCEPTO DE COMPETENCIA

El término competencia ha sido definido, descrito y clasificado por diferentes autores para el campo educacional y productivo. La mayoría coincide en la forma de actuación del sujeto en interacción con el objeto, en su estructura y en sus componentes (Abdón, I. M., 2003; Bravo, N., 2002; Cárdenas F. A., 2003; Cruz, S. B., 2000; Díaz O., Carlos A., García P., César J., Torres León, Daisy N., 2001; García H. y García, J. 1997; Lafrancesco, G., 2003; León, J. C., 1999; Lluch, E., 1996; Jurado, F., 2003).

Establecer el concepto de competencia es importante porque constituye una guía desde el punto de vista conceptual y metodológico. Desde el punto de vista conceptual indica qué es, cuáles son sus características y la utilidad. Desde el punto de vista metodológico indica cómo se puede establecer. El concepto de competencia tiene tres enfoques: el social, el educacional y el productivo.

El enfoque social busca describir las características de un sujeto, como ser social, en interacción con el objeto en un ambiente ligado estrechamente en el tiempo. El objeto se traduce a diferentes niveles: el social en sí y el productivo o laboral

El enfoque educacional busca describir los contenidos de la cultura que un sujeto debe aprender (cognitivo, procedimental y afectivo) para realizar con

eficiencia y calidad una tarea dentro de una estructura organizacional.

El enfoque laboral o productivo de la competencia busca describir qué conocimientos, habilidades, destrezas, aptitudes y actitudes debe tener un sujeto para desempeñar una función dentro de una estructura organizacional productiva.

Los tres enfoques no se pueden mirar de manera independiente; son complementarios.

CONCEPTO DE COMPETENCIA

De la cantidad y diversidad de significaciones que se encuentran sobre el concepto de competencia, es posible establecer algunos atributos comunes en que coincide la mayoría de los autores:

- Es atribuible a un sujeto en interacción con un objeto.
- Representan una combinación de atributos con respecto al conocer y comprender (conocimientos teóricos de un campo académico); el saber como actuar (la aplicación práctica y operativa a base del conocimiento); y al saber como ser (valores como parte integrante de la forma de percibir a los otros y vivir.
- su campo de acción es en un contexto).
- Es dinámica o dialéctica.

Por consiguiente, se puede decir: competencia⁴: es una categoría didáctica del proceso de formación que sirve para describir las características de un sujeto y su comportamiento en interacción con un objeto en un ambiente y enmarcado en el tiempo; forma una unidad

4. Silveira C., Cecilio & Blanco Rivero, Luis Ernesto. "Competencias, una forma de estandarización global". *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería*. Bogotá. Colombia. ISSN 0121-5132. No. 59. Año 15. Jul. – Sep. de 2005. pp. 39-46.

5. **Unidad dialéctica.** Es un sistema en interacción y en constante movimiento. Se rige por las leyes generales de la dialéctica: unidad y lucha de contrarios, la ley de la negación de la negación, y la ley de los cambios cuantitativos a los cambios cualitativos. Todo objeto transita por el nacimiento, desarrollo y muerte para dar lugar a otro objeto.

Unidad y lucha de contrarios: establece que la existencia de un elemento depende de la existencia de los otros y

dialéctica⁵. Es el sistema de conocimientos, habilidades, destrezas, aptitudes, actitudes y valores que caracteriza a un sujeto para desempeñarse en interacción con el objeto en un entorno espacial y temporal. Está integrada por tres componentes: cognitiva, procedimental y afectiva o social.

Clasificación de las competencias según el objeto o campo de acción

Las competencias se clasifican de acuerdo con el objeto y el campo de acción del sujeto. Están relacionadas con la función del sujeto dentro de la sociedad ciudadanas, que son las más generales; estas se agrupan en laborales y sociales. Entre las laborales se encuentra las profesionales, que a su vez se subdividen en básicas, genéricas y específicas.

Sociedad, profesión y competencias

El motor impulsor de los cambios de la cultura, de las profesiones y de las competencias es el desarrollo social, ligado a la necesidad de preparar e incorporar nuevos miembros para que cumplan funciones específicas en la estructura social establecida. Por tanto, debe existir coherencia entre las organizaciones encargadas de preparar a los sujetos y el desarrollo de la sociedad.

¿Aprender a aprender o aprendizaje autónomo?

En los últimos años se ha escrito y se ha hablado mucho sobre “aprender a aprender”, “aprendizaje autónomo”, “aprendizaje significativo”, “autoaprendizaje”, “estilos de aprendizajes”, “estrategias de aprendizajes”, “conductas de autorregulación”, “metacognición”, “autoconcepto y autoestima”, y “autoconcepto académico”, todos ellos estrechamente ligados al concepto de “independencia académica”

cualquier cambio en un elemento necesariamente implica cambios en los otros.

Ley de la negación de la negación. Establece que los cambios de un objeto siempre contienen características del objeto que le dio vida o lo precedió, y este dará lugar a otro objeto que contendrá elementos de él pero con nuevas características.

Resulta que la “capacidad para aprender y actualizarse permanentemente” es la segunda competencia de las cinco más importantes detectadas por el grupo de países que forman el Proyecto Tuning para América Latina (Beneitone y col, 2007). Este hecho refleja, primero que todo, la dinámica de la sociedad, de las profesiones y de las competencias.

Unas de las conclusiones del grupo mencionado es la importancia estratégica de ir desarrollando en los estudiantes que se encuentran hoy en día en las aulas la capacidad de aprender a aprender o el desarrollo de un aprendizaje autónomo.

Concepto de independencia académica

El concepto de autonomía académica o independencia académica ha sido estudiado por diversos autores, principalmente en el campo de la lingüística; no obstante, expondremos algunas de las diferentes definiciones y conceptos al respecto, fácilmente adecuadas al campo de la ingeniería (Bailini, 2005; Breen y Mann, 1997; Esch, 1997; Nunan, 1997; Bosch, 1996; Pemberton, 1996; Riley, 1994; Candy, 1988; Dickinson, 1987; Brookfield, 1985; Holec, 1981).

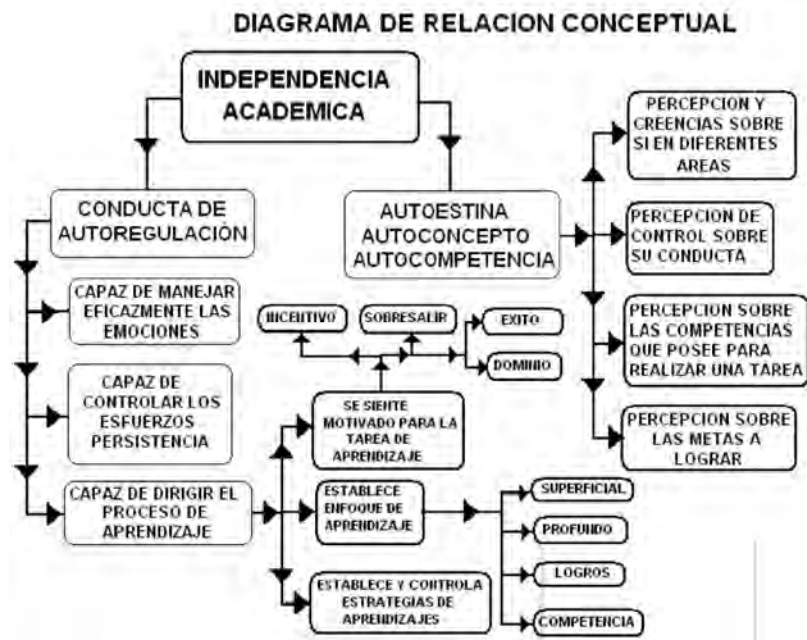
La independencia o autonomía académica no se debe confundir ni interpretar como autoaprendizaje. La independencia académica implica condiciones cognitivas, psicológicas y fisiológicas del sujeto. Se requiere un individuo con capacidad de regular su conducta y una percepción firme sobre su autoconcepto, su autoestima y su autocompetencia académica para llevar a cabo la tarea de aprendizaje (Sinclair, 2000).

La independencia académica puede ser intrínseca o se puede desarrollar a través del proceso de formación (Esteve, 2001). Sinclair (2000) considera que la autonomía total (académica) es un objetivo demasiado idealista y que se debería buscar los distintos grados de autonomía que se puedan alcanzar.

Breen y Mann (1997) afirman que la autonomía no es algo que se aprende con reglas y estrategias, sino que es un modo de ser que hay que descubrir o volver a descubrir, ya que el modelo escolar nos des acostumbra a ser autónomos. Según estos autores el aprendizaje autónomo se caracteriza por:

- a. Ser consciente de su estilo de aprendizaje, de su relación con lo que aprende y de los recursos a su alcance;

- b. La motivación a aprender.
- c. La confianza en sí mismo y, por ende, escaso interés en la evaluación externa.
- d. La capacidad metacognitiva: la persona autónoma es capaz de reflexionar sobre lo que está aprendiendo y tomar decisiones sobre los próximos pasos a seguir y sabe hacer un uso constructivo de cualquier tipo de retroalimentación.
- e. La flexibilidad hacia los cambios: la capacidad metacognitiva le permite evaluar constantemente la utilidad y la pertinencia de los recursos que cambian a su alrededor y lo empuja a hacer nuevas experiencias ajustándose a los cambios ocurridos.



A pesar de la cantidad y diversidad de acepciones que se hallan sobre el concepto de independencia académica, es posible establecer que la mayoría de los autores coinciden en que:

- La independencia académica puede ser una característica innata del sujeto; se puede desarrollar y formar a través del estudio, la experiencia o la enseñanza.
- Es un ideal a alcanzar, pero se pueden lograr diferentes grados o niveles de independencia
- Un aprendiz autónomo se caracteriza por su conducta de autorregulación y por la autoestima, el autoconcepto y la autocompetencia que se tenga para realizar la tarea.
- La autorregulación tiene que ver con la capacidad del aprendiz para manejar sus emociones, con la capacidad de controlar los esfuerzos y la persistencia en busca de una meta y la capacidad de dirigir su proceso de aprendizaje.
- El control de los esfuerzos y la persistencia depende significativamente de la motivación del aprendiz para realizar la tarea y de la percepción que tiene sobre los resultados que obtendrá al realizar la tarea.
- La capacidad de dirigir su proceso de aprendizaje está estrechamente ligado con la motivación, con los enfoques de aprendizajes que utiliza y con las estrategias de aprendizaje empleadas.

A continuación se resume lo planteado en un diagrama de relaciones conceptual. Cada aspecto será motivo

de un trabajo para una aproximación teórica que sirva de base conceptual para el desarrollo de trabajos prácticos

PAPEL DEL DOCENTE

En la búsqueda de un sujeto autónomo nos encontramos con un actor esencial dentro del proceso de formación: el docente. Bailini (2005) plantea que en el proceso enseñanza-aprendizaje el docente es un recurso más, es un asesor que se despoja de su rol autoritario para entrar en el de mediador e intérprete de estilos de aprendizaje, suministrador de consejos finalizados a solucionar dificultades, persona experta en el tema del aprendizaje

Barnes (1976), Wright (1987), Voller (1997) y Benson & Voller (1997) son del criterio que en este tipo de enfoque el papel del profesor cambia radicalmente, ya que pasa de directivo a no directivo. Esto implica una transferencia del control al alumno. Esta transferencia debe ser paulatina, planificada, proyectada a corto y largo plazos. No debe ser azarosa ni espontánea, ni se puede pedir al aprendiz que tome la mayor parte de las decisiones sobre el estudio si no está ni cognitiva, ni psíquicamente preparado. Los autores señalados consideran que el profesor debe pasar de “transmisor” de conocimiento a “intérprete” de las necesidades de los estudiantes.

CONCLUSIONES

La competencia genérica, “capacidad para aprender y actualizarse permanentemente”. Es unas de las cinco competencias más importantes. Este hecho refleja la dinámica de la sociedad, de las profesiones y de las competencias.

La independencia académica puede ser una característica innata del sujeto, se puede desarrollar y formar a través del estudio, la experiencia o la enseñanza. Es un ideal a alcanzar.

El docente es un actor esencial dentro del proceso de formación profesional, en particular en el proceso enseñanza-aprendizaje de una disciplina; cambia de su rol autoritario, centralista y dictatorial (en los dos sentidos: dictar y dictadura) a ser un asesor, un mediador e intérprete de los estilos de aprendizaje, suministrador de consejos finalizados a solucionar dificultades, persona experta en el tema del aprendizaje. Es un recurso didáctico más dentro del proceso de formación.

Es importante establecer una estrategia de enseñanza del docente que contribuya significativamente a la formación y al desarrollo de las competencias para el aprendizaje autónomo. Esta tarea no es atribuible solo al docente ni al estudiante, es una *responsabilidad compartida*, debido a las características presentes del proceso de formación en que entran a las aulas universitarias estudiantes cada vez más jóvenes, con un grado de madurez que no corresponde con el nivel escolar ni con el nivel de responsabilidad necesario para enfrentar una formación responsable y consciente. A esta situación se le suman o se le añaden las exigencias del nivel precedente para promover de un nivel de enseñanza a otro. Entonces, la responsabilidad compartida, vista desde una balanza, se debe ir desequilibrando del docente al estudiante hasta que este sea plenamente autónomo. Ese proceso no debe ser brusco, ni esporádico, ni espontáneo, sino producto de una estrategia bien elaborada con objetivos bien definidos por los actores intelectuales del proceso de formación.

REFERENCIAS

- Abdón, I. M. (2003). ¿Son las competencias el nuevo enfoque que la educación requiere? *Revista Magisterio. Educación y Pedagogía*. No. 001, febrero-marzo 2003. Bogotá D.C., Colombia.
- Beneitone, P.; Esquetini, C.; González, J.; Maleta, M.; Siufi, G. & Wagenaar, R. (2007). Informe final del Proyecto Tuning América Latina: Reflexiones y perspectivas de la Educación Superior en América Latina. Extraído en abril de 2008 de http://www.tuning.unideusto.org/tuningal/index.php?option=com_docman&Itemid=191&task=view_category&catid=22&order=dmdate_published&ascdesc=DESC.
- Bravo, N. (2002). Las competencias desde un enfoque sistémico. IV Congreso Latinoamericano de Educación para el Desarrollo del Pensamiento. Bogotá, Mayo 16 - 18 de 2002.
- Cárdenas, F.A. (2003). Aspectos teóricos y prácticos en el desarrollo de competencias. *Revista Magisterio. Educación y Pedagogía*. No. 001, febrero-marzo 2003. Bogotá D.C. Colombia.
- Cruz, S.B. (2000). *Una explicación didáctica a la formación de competencias*. Serie Formación de Formadores. Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- Díaz O., Carlos A.; García P., César J. & Torres León, D.N. (2001). *Diseño de un modelo de competencias para el profesional en ingeniería industrial de la Universidad Autónoma de Colombia*. Universidad Autónoma de Colombia. Facultad de Ingeniería Industrial. Bogotá, D.C.
- García, H. & García, J. (1997). Las reformas latinoamericanas de la educación para el siglo XXI. Foro de las Reformas Educativas. Convenio. Andrés Bello, 1997.
- Lafrancesco, G. (2003). El desarrollo de las funciones y competencias cognitivas básicas. Una preocupación en América Latina. *Revista Magisterio. Educación y Pedagogía*. No. 001, febrero-marzo 2003. Bogotá D.C.
- León, J.C. (1999). Planificación y desarrollo de la formación profesional en el sector industrial manufacturero con enfoque de competencias laborales. Primer Encuentro Andino sobre Formación con Base en Competencias Laborales. Bogotá, Colombia, mayo de 1999.
- Jurado, F. (2003). El doble sentido del concepto de competencia. *Revista Magisterio. Educación y Pedagogía*. No. 001, febrero-marzo 2003. Bogotá D.C.
- Lluch, E. (1997). Formación basada en competencias. Situación actual y perspectivas para los países del Mercosur. Los sistemas nacionales de formación por competencias *Metodología de investigación y normalización de competencias* (OEI) Madrid, España. Extraído en julio de 2005 de <http://www.cinterfor.org.uy/>.
- Lluch, E. (1996). Metodología de la investigación y normalización de competencias. México. Extraído en julio 2005 de http://www.ilo.org/public/spanish/region/ampro/cinterfor/pub/sala/vargas/for_com/ii_a.htm.
- Bailini, S. (2005). Español e italiano: la afinidad lingüística como baza para un autoaprendizaje colaborativo. FIAPÉ. I Congreso internacional: El español, lengua del futuro. Toledo, 20-23/03-2005. Tomado de Internet el 3 de julio de 2007.
- Candy, P.C. (1988). On the attainment of subject-matter autonomy. En Boud, D. (ed.), *Developing Student Autonomy in Learning*, London: Kogan Page.
- Nunan, D. (1997). Designing and adapting materials to encourage learner autonomy. En Benson, P.,/Voller, P. (eds.), *Autonomy and Independence in Language Learning*. Londres: Longman, pp.192-203.

MATEMÁTICAS

¿Qué es realmente un algoritmo?

Artículo recibido: 17/01/2008
Evaluación par interno: 04/04/2008
Aprobado: 13/05/2008

RAÚL A. CHAPARRO AGUILAR
Escuela Colombiana de Ingeniería
Bogotá, Colombia
rchaparr@escuelaing.edu.co

Resumen

En este artículo se presenta la evolución del concepto de algoritmo motivado en la vida cotidiana y a través de aspectos históricos en la matemática; cómo se desarrolla de manera natural la idea de algoritmo y cómo se transforma la matemática, apoyada en la filosofía del enfoque algorítmico, y se hace necesaria una precisión del concepto, para resolver preguntas de principio. Se presenta la descripción de los problemas matemáticos que gestaron la formalización del concepto de algoritmo, así como una definición en términos de la máquina de Turing. Con base en esta definición se pone sobre el tapete la naturaleza de ciertos problemas y se llega a clasificarlos en términos de ser solubles o no algorítmicamente y de tratabilidad e intratabilidad. Se ilustran estos conceptos con ejemplos familiares.

Palabras clave: algoritmo, máquina de Turing, matemáticas, programación, NP- completo, aritmetización, computación.

Abstract

In this article we introduce the evolution of the concept of algorithm developed in every day life and through historical aspects in mathematics. How the idea of algorithm does evolve in a natural way and how the mathematics, based on the philosophy of the algorithmic approach, is transformed and it becomes necessary to clarify the concept, to determine fundamental questions. We describe mathematical problems that originated the formalization of the concept of algorithm and its definition is shown in terms of the Turing machine. Based on this definition we consider the nature of certain problems and we classify them as being algorithmically soluble or not, and of being treatable or untreatable. These concepts are illustrated with common examples.

La experiencia ha demostrado que la ciencia se desarrolla con mayor éxito cuando aprende a examinar las cosas que parecen más simples que las que parecen más misteriosas.

Marvin Mynsky

INTRODUCCIÓN

Las capacidades de las máquinas secuenciales se establecen en las posibilidades de construir e implementar algoritmos en el computador, haciendo así de los algoritmos un tema fundamental en el estudio de los alcances y limitaciones de la tecnología digital.

Hay muchos contextos y categorías en los cuales podemos estudiar lo referente a los algoritmos; por ejemplo, algoritmos en lenguaje elaborado o programación de computadores, eficiencia de los algoritmos o teoría de la complejidad, algoritmos que dotan de inteligencia a las máquinas o inteligencia artificial, etc. Sin desconocer la utilidad de estos enfoques, subyacen dificultades y potencialidades intrínsecamente ligadas a la naturaleza intuitiva y matemática de los algoritmos, que repercuten en el buen tratamiento de problemas para las diferentes áreas de aplicación.

Se hace una reflexión sobre la evolución del concepto de algoritmo en la práctica, la posterior necesidad de establecer una definición formal (¿qué es realmente un algoritmo?) y las aplicaciones de esta en el estudio de las posibilidades de implementar algoritmos en el computador.

En el nacimiento del concepto de algoritmo hay vida propia tanto en la práctica (la necesidad de solucionar problemas cotidianos y la agilización de operaciones de matemática aplicada) como en la teoría (la preocupación de encontrar solución a problemas netamente teóricos surgidos de la necesidad de fundamentar la matemática), a pesar de que a lo largo de la historia (e incluso todavía) estos dos caminos pueden verse separados y poco relacionados. Turing, Church, Chomsky, Post y otros científicos han descubierto una conexión interesante entre la intuición y la formalización. Se ha encontrado que estas conexiones parecen equivalentes. Así se ha podido unificar el estudio de la eficiencia de los algoritmos (o complejidad computacional) en las máquinas de Turing, cuya teoría clasifica los problemas, en:

- Solubles o no solubles, según exista o no algoritmo para su solución.
- Factibles o no factibles, según la forma de dependencia del tiempo de funcionamiento, o lo que viene a ser equivalente, del número de pasos de cómputo respecto del tamaño del problema.

Lo interesante de este tratamiento teórico es que liga la solución del problema al concepto formal de algoritmo, dando vía libre a la solución o no del problema en el computador.

ALGORITMO E INTUICIÓN

Podemos decir que tenemos un concepto de algoritmo “genético” (en el sentido de la evolución del concepto), es decir, se engendran las nociones y principios, construyéndolo con una fundamentación en la naturaleza.

En el transcurrir de los procesos eficientes en la naturaleza, realizados por plantas o animales de cualquier índole, se establecen “rutinas” que, al apropiarnos de ellas, sirven para predecir fenómenos como la gestación, la alimentación, el orden de las estaciones, etc. En esta experiencia natural se van incorporando conocimientos que favorecen la idea de procedimiento y regla, que aunque no sean sometidos a un análisis científico, llevan a la idea un tanto imprecisa y no estricta del concepto de algoritmo.

En la vida cotidiana, las reglas que prohíben algo (por ejemplo parquear, o ingresar en áreas restringidas) no pertenecen a los algoritmos (¿por qué?). Sin embargo, las reglas “Al marcharse apague la luz”; “Pasar por la izquierda”; “Transitar por la derecha” (en la subida en una escalera), son en sí algoritmos, aunque muy primitivos (¿por qué?).

Es necesario señalar una particularidad del algoritmo: el carácter discreto del proceso que se determina por el propio algoritmo, la regla, “al subir por la escalera mantenga su derecha”, a pesar de ser una prescripción tiene un carácter continuo (¿por qué?). Otra regla, muy distinta, y un poco más elaborada es la que aparece comúnmente en algunos teléfonos públicos:

“Prepare la moneda de 200 o 500 pesos:

1. Póngala en el monedero.
2. Tome el auricular y espere la señal de tono.
3. Al oír un pito continuo largo, marque el número deseado y espere la señal.
4. Al oír un zumbido prolongado, espere la respuesta de la otra persona.
5. Si oye pitos frecuentes y breves, cuelgue el auricular y coja la moneda de vuelta: el teléfono al que llama está ocupado”.

Esta clase de reglas son numerosas (cada uno de ustedes puede identificar algunas) y con frecuencia tienen mucha importancia en la vida diaria (son más sistemáticas y no tan ambiguas). Desde el nacimiento nos encontramos ante los algoritmos: la fórmula del médico, una receta de cocina; incluso cuando se abre un candado, se piensa que el algoritmo para solucionar (abrir el candado) sería la llave que lo abre.

Los algoritmos, de manera asombrosa, no atan sino que conducen por vías más fiables a la solución de los problemas más complicados. Es natural que cada algoritmo suponga la existencia de ciertos datos iniciales y conduzca a la obtención de un resultado buscado; por ejemplo, para la fórmula médica de dato inicial sirve el medicamento aspirina, que se usa para calmar el dolor de cabeza, y de resultado, el frasco con 30 pastillas y la prescripción “Una pasta cada 4 horas.”

Queda la impresión de que cada algoritmo es una regla que indica las operaciones, que como consecuencia de la secuenciación de ellas se llega de los datos iniciales al resultado buscado. Cadena de operaciones que se llamará: “proceso algorítmico”; cada operación se denominará paso de dicho proceso.

La aplicabilidad de los algoritmos a una gran cantidad variable de datos iniciales les da un carácter masivo de aplicación, consistente en que los objetos son admisibles por satisfacer alguna propiedad, no por la cantidad (finita o infinita) de ellos. (En el caso de la fórmula médica, es aplicable a la clase aspirina, no a 50 o 100 aspirinas), pues el hecho de que la cantidad de objetos admisibles sea finito o infinito (o incluso igual a cero) ya es una propiedad intrínseca de la clase.

Otros aspectos por resaltar en el concepto intuitivo de algoritmo son:

- Que el algoritmo sea realizable potencialmente. Es decir, abstrayéndose de la restricción real de tiempo

y de los recursos de que se dispone, se exigirá sólo que el proceso algorítmico termine después de una cantidad finita de pasos y que en cada paso no haya obstáculo para efectuarlo. Entonces se dice que el algoritmo es aplicable al dato inicial. El hecho de que el algoritmo sea inaplicable a un dato inicial admisible consistirá en que el proceso sea infinito, o bien su ejecución choque durante uno de los pasos con un obstáculo (se dice que el proceso se interrumpe sin resultado).

- Comprensibilidad del algoritmo. Se supone que el que ejecuta la regla sabe cuándo y cómo hay que realizarla. Entonces, se dice que el algoritmo es comprensible para el ejecutor. Así pues, la propiedad de comprensibilidad puede interpretarse como la existencia de un procedimiento que determina el proceso de ejecución del algoritmo prefijado en forma de texto. Tal explicación de la comprensibilidad permite suponer que no solo los seres humanos, sino también los animales y algunas máquinas, pueden ser ejecutores de los algoritmos.
- Precisión del algoritmo. Es una peculiaridad propia de cada algoritmo. El que lo ejecuta no sólo no necesita tener ni imaginación ni comprensión, si no que, más aún, el algoritmo muchas veces no elige cualidades especiales al ejecutor. Intuitivamente, la precisión indica determinismo; el algoritmo en sentido amplio indica determinismo. El ser humano hasta cierto punto puede “adivinar” este determinismo, pues su capacidad de cálculo y alcance lo impide (ejemplo: jugar una partida perfecta de ajedrez). Podemos decir que el computador es más potente que el hombre en esta actividad. Lo que le da el hombre al computador es el combustible para que este alcance lo que el hombre no alcanza.

Estas propiedades expuestas de los algoritmos provienen de una reflexión puramente intuitiva que se puede apreciar en los ejemplos comentados y en las situaciones vividas.

Debido a la importancia del lenguaje en el desarrollo o ejecución de los algoritmos, es inherente que la ambigüedad de nuestro lenguaje natural produzca imprecisión del concepto intuitivo de algoritmo. Pues, ¿qué es exactamente comprensibilidad y precisión? Aunque no se pueda definir explícitamente, es claro que se concibe (ocurre que, sin tenerlo claro, el proceso

digestivo que sigue un alimento que nutre mucho no deja de nutrir). Es interesante observar que “se convive” con el concepto intuitivo de algoritmo, sin que haga falta una definición formal dada por la matemática.

Sin definir el término algoritmo hemos dado la idea: el algoritmo es un procedimiento de seguir paso a paso aplicado sistemáticamente a casos particulares. Con esta definición contaban las personas cultas hace 30 años.

Una buena experiencia de abstracción e identificación del concepto, un poco más cerca de su definición formal, se tiene con el trabajo de algoritmos en la matemática, pues la experiencia recogida en las máquinas de calcular y computadores ha puesto de manifiesto que unos datos manipulados mediante un programa pueden representar prácticamente cualquier cosa.

Pensando en seguir el “orden” de abstracción y de conceptualización del concepto de algoritmo, a continuación se tratarán los algoritmos en la matemática.

LOS ALGORITMOS Y LA MATEMÁTICA

Una de las ramas del saber que más se ha suplido del enfoque algorítmico es la matemática. En la historia de las matemáticas encontramos la preocupación del ser humano por “abstraer” la estructura de la solución de un problema (o memorizar el camino que lo llevó a la solución de una manera segura, precisa y con economía de tiempo).

Si se reflexiona un poco sobre la cultura babilónica o egipcia (3000 años a. C.), se observa que hay procedimientos y reglas consolidados para:

- Resolver ecuaciones cuadráticas (por completación del cuadrado o por sustitución)
- Cálculo de series de números enteros
- Cálculo para la raíz de 2
- Teorema de Pitágoras
- Cálculo de ternas pitagóricas
- Volumen de sólidos geométricos
- Área de figuras geométricas
- Suma de números fraccionarios, etc.

Esto muestra que a pesar de no haber definido un simbolismo o un lenguaje matemático estable, hay una tendencia intuitiva a preservar la plantilla o el mapa de la solución de los problemas, es decir, tratar de in-

dependizar los datos del problema de la estructura de la solución. Pero esto no es tan fácil, pues cuando se comienza a utilizar la matemática primitiva (o intuitiva) para solucionar problemas, es de vital importancia la manipulación de los objetos naturales para mirar la evolución de la solución. Se ve en los niños durante la etapa de aprendizaje de la suma. Cuando comienzan a sumar, para darse cuenta de que algo les falta, tienen que apoyarse en los objetos físicos; posteriormente podrán darse cuenta de lo que poseen, o lo que pueden poseer, sin tener los objetos presentes.

En general, los seres humanos pasan de objetos a conjuntos de objetos, a funciones y a correspondencias (la idea de correspondencia o transformación proviene de la tendencia, también elemental del hombre, a identificar ordenamientos similares y abstraer un modelo común de situaciones diferentes en apariencia). A medida que el proceso de interacción continúa, se pasa a clases de funciones, a correspondencia entre funciones (operadores), a clases de tales correspondencias y así sucesivamente a un ritmo cada vez más acelerado y “sin fin”. Esto hace de la matemática un escenario fabuloso para observar la evolución del concepto de algoritmo, inherente a la abstracción de objetos y relación de objetos matemáticos.

Mírense los siguientes ejemplos desde la óptica del contexto anteriormente mencionado.

Un algoritmo importante por su historia y por su utilidad en la construcción de otros algoritmos es el de Euclides para hallar el máximo común divisor:

- Dados dos enteros positivos a y b , hallar su máximo común divisor.

Puesto que la división puede reducirse a sustracciones repetidas, el algoritmo para resolver cualquiera de estos problemas se puede presentar en forma de la siguiente lista de instrucciones.

Instrucción 1. Considerar el par de números a, b . Continuar a la siguiente instrucción.

Instrucción 2. Comparar los dos números considerados (es decir, determinar si el primero es igual, menor o mayor que el segundo). Avanzar a la siguiente instrucción.

Instrucción 3. Si los números son iguales, entonces cada uno de ellos es el resultado deseado. Termina el cálculo. Si no, ir a la siguiente instrucción.

Instrucción 4. Si el primer número es menor que el segundo, intercambiarlos y proseguir a la siguiente instrucción.

Instrucción 5. Restar el segundo número del primero y sustituir los dos números considerados por el sustraendo y el resto, respectivamente. Ir a la instrucción 2.

De esta forma, después de llevar a cabo las cinco instrucciones, se vuelve de nuevo a la segunda instrucción, después a la tercera, seguidamente a la cuarta, a continuación la quinta, y en seguida se regresa, una vez más, a la segunda, tercera, etc., hasta que se produzca la condición dada en la instrucción 3, es decir, hasta que los dos números considerados sean iguales. Cuando eso sucede, el problema queda resuelto y termina el cálculo.

Otro aporte importante en la creación de algoritmos en la matemática se encuentra en el siglo XVI en Italia, como lo cuenta muy amenamente V. Pékelis en el libro *Pequeña enciclopedia de la cibernética*.

“El 12 de febrero de 1535, en la ciudad italiana de Bolonia reinaba un ambiente matemático. Desde todos los confines de Italia y hasta de otros países de Europa, llegaron a esta ciudad matemáticos, expertos contadores y aficionados a los concursos interesantes. Ese día se inició un torneo matemático.

El matemático Fiore desafía a duelo a todo aquel que desee competir con él en el arte de la solución de las ecuaciones cúbicas. Vencerá quien resuelva la mayor cantidad de problemas de los propuestos por su competidor, rezaba el anuncio sobre las reglas.

El reto de Fiore fue aceptado por Nicolás Tartaglia, un profesor de matemáticas poco conocido.

Venció en el torneo, al resolver los 30 problemas propuestos por Fiore, mientras que este último no pudo resolver ninguno de los problemas de Tartaglia!

¿En qué forma Nicolás Tartaglia logró obtener una victoria tan brillante que no dejó lugar a dudas respecto a su superioridad ante el competidor?

La respuesta a esta pregunta la dan dos sucesos que precedieron al torneo. Aproximadamente diez años antes de este acontecimiento fallido, el profesor de matemáticas de la Universidad de Bolonia, Escipión

dal Ferro, poco antes de su muerte, logró encontrar un método general para la solución de un problema difícil. Informó sobre el resultado exitoso de su trabajo de muchos años solo a su yerno y sucesor en su cargo Anabello della Nove. Pero de este método y por vías desconocidas se enteró un tal Fiore. Una vez en sus manos la regla para solucionar un problema, el cual no pudieron dominar ni los árabes, ni los griegos, ni los científicos de la Europa medieval, Fiore lanzó un reto a los matemáticos. La posesión de la fórmula parecía que garantizaba a Fiore la victoria, pero su seguridad no se justificó. Contra él se presentó el talentoso y genial Tartaglia. Al aceptar el reto, pensaba que fácilmente vencería a Fiore. Solamente diez días antes del torneo se enteró de que Fiore conocía un método aún más perfecto. Con su ayuda alcanzó la brillante victoria en el torneo.

El algoritmo de Tartaglia, posteriormente perfeccionado por el matemático italiano Cardano, se mantiene hasta nuestros días en forma de método general para la solución de ecuaciones cúbicas.

Estos algoritmos, basados en las cuatro operaciones, se llaman algoritmos numéricos. Se emplean con frecuencia, ya que muchas otras operaciones se pueden reducir a las cuatro operaciones aritméticas básicas. En general, tal reducción no ofrece un resultado exacto, aunque sí con la precisión deseada. Por ejemplo, algoritmos para encontrar la raíz cuadrada.

En una rama de la matemática muy especial, como el análisis numérico, el trabajo es desarrollar métodos similares para reducir ciertas operaciones complicadas, como la integración, derivación y resolución de diversas clases de ecuaciones, mediante una serie de divisiones y sustracciones.

A medida que se fueron encontrando algoritmos para la solución de problemas, se iba haciendo más firme la tendencia a sostener que “en matemáticas, una clase de problemas se considera resuelta cuando se halla el algoritmo correspondiente”, y el descubrimiento de tales algoritmos sería un fin natural de las matemáticas.

En el caso del algoritmo para hallar raíces cuadradas, podríamos querer generalizar este problema: construir un algoritmo para hallar la raíz de cualquier orden, de cualquier número dado. Es intuitivo suponer que la construcción de tal algoritmo es difícil, pero la idea de encontrarlo es bien atractiva. Incluso algunos mate-

máticos fueron más lejos al buscar la solución de $a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_0 = 0$, para n número natural, queriendo encontrar la solución, como en el ejemplo de Tartaglia, para la ecuación de tercer y cuarto grado, cuya solución se puede escribir en términos de los coeficientes por medio de una fórmula que emplea los signos aritméticos y el signo radical.

Muchos siglos transcurrieron en tal empeño hasta que Evaristo Galois, matemático francés (1811-1832), llegó a establecer el siguiente resultado sorprendente: “para cualquier $n \geq 5$, es imposible expresar las raíces de la ecuación general de grado n en función de sus coeficientes por medio de operaciones aritméticas y radicación”.

Situaciones como la anterior, de encontrar o demostrar la imposibilidad de solucionar problemas por “algún” método específico, hicieron replantear la intervención del término algoritmo en matemáticas como una relación concreta en que una afirmación de la existencia de un algoritmo siempre va acompañada de una descripción de tal algoritmo. También hicieron pensar cosas interesantes, como asociar la naturaleza de la solución matemática de un problema a la existencia o no de ciertos algoritmos. Es decir, aparece en el escenario la confianza de que no todo en matemáticas se puede resolver con algoritmos.

Estos temas inducen a reflexionar con una visión un poco más matemática acerca de ¿qué es realmente un algoritmo? Esta pregunta fundamental será la discusión del siguiente apartado.

DEFINICIÓN FORMAL DE ALGORITMO

En el apartado anterior se vio el problema “encontrar la solución de una ecuación de grado n ” al que Galois mostró la imposibilidad de solucionar por medio de radicales.

Se pueden dar otros ejemplos, en los que se muestre el esfuerzo natural de los matemáticos por encontrar algoritmos para resolver tipos de problemas cada vez más generales. El querer encontrar un algoritmo para solucionar todas las ecuaciones de la forma: $a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_0 = 0$ no representa el límite al que se podría llegar.

Si se quiere proponer el máximo anhelo, donde se pueda llegar a tales esfuerzos, se tiene que considerar este problema: *construir un algoritmo para resolver cualquier*

problema matemático. Este enunciado parece tan abstracto que podría considerarse como “inocente capricho” en que no se clarifica el contexto de las palabras “cualquier problema matemático”. Aunque es muy general y parece querer todo, sin poder hacer nada, tiene una historia interesante. El gran matemático y filósofo Leibnitz (1646-1716) soñó con un método completo para resolver cualquier problema matemático. Pero no pasó de ser un gran sueño de un gran hombre, pues su conocimiento matemático (aunque era uno de los mejores para su época) no le permitió ni siquiera identificar qué camino seguir (como si Ptolomeo hubiera querido hacer realidad el sueño de viajar a la luna).

Ocurre que para plantear un problema que tenga “sentido” e intuir herramientas de solución, hay que verlo inmerso en un contexto en el cual se intuye la forma de atacarlo. A continuación se estudiará cómo aparece en el escenario este contexto.

Este estudio trasladó el problema de definir lo que es un algoritmo, formalmente, al problema de la decisión (que no es más que una reformulación del problema propuesto por Leibnitz, planteado por Hilbert y resuelto principalmente por Turing).

Muy rápidamente se mirará cómo evolucionó el panorama matemático en el cual se gestó tal definición y cuál fue el planteamiento hecho por Hilbert, así como la solución propuesta por Turing.

Hasta el siglo XIX no había duda sobre la verdad de la matemática, que garantizaba la verdad de los axiomas y la exactitud de los razonamientos seguidos con respecto a la lógica.

El matemático ruso Lobachewsky (1793-1856) halló que en los axiomas de la geometría euclidiana (el quinto que afirma que por un punto exterior a una recta puede trazarse una y sólo una recta paralela a la recta dada) ocurría algo curioso, y que “por un punto exterior a una recta, podía trazarse más de una recta paralela a la dada”, por supuesto sin llegar a contradicción. En lugar de contradicción, se obtuvo una nueva geometría, conocida ahora con el nombre de geometría no euclidiana (geometría de Lobachewsky).

Estos trabajos fueron interesantes por sí mismos. Pero una de sus mayores repercusiones fue haber destruido la fe en la autenticidad en los axiomas y meditar sobre el fundamento de las matemáticas.

La aritmética fue utilizada por Descartes (1596-1650) para estudiar la geometría. Él descubrió el “método de

las coordenadas” (geometría analítica). Este resultado comienza a motivar ahora la idea de que la aritmética puede servir de base semejante para toda la matemática. Se tendría que no hay necesidad de examinar por separado los números naturales, los números enteros, los racionales, los reales y los complejos. Todos los interrogantes pueden reducirse sólo al examen de los números naturales y de algunas relaciones entre ellos. Así, solamente estos procedimientos permiten “descubrir” la geometría en términos de números naturales. Esta ambiciosa tarea de reducir las diversas teorías matemáticas a la teoría de números naturales recibió el nombre de aritmetización. Fue demostrada también la posibilidad de la aritmetización del análisis matemático y la teoría de las funciones. Esta situación la comentó Poincaré en *El valor de la ciencia*: “ahora en las matemáticas quedan sólo los números naturales y sistemas infinitos o finitos de números naturales. Las matemáticas están totalmente aritmetizadas”.

Esta posibilidad aritmetizadora no significa la renuncia a los demás conceptos matemáticos, sólo convence de que la aritmética puede servir de fundamento a las matemáticas.

La aritmetización planteó otros problemas por “clarificar”, producto de tener que expresar muchos conceptos u objetos matemáticos por sistemas infinitos de número de naturales (por ejemplo, un número real arbitrario no puede ser definido por un sistema finito de números naturales).

Algunos de los responsables de esta clarificación fueron Bolzano, Dedekind y Cantor (hacia 1880). Estos investigadores observaron que para tratar adecuadamente con derivadas e integrales, había que considerar conjuntos infinitos, y de modo preciso. No había manera de evitar los conjuntos infinitos.

Aquí aparece la necesidad de encontrar una disciplina científica que ofrezca métodos para el estudio de sistemas infinitos y finitos. George Cantor (matemático alemán, 1874-1897) elaboró una teoría que da luz al mundo de la matemática: la Teoría de conjuntos”, cuyo origen específico fue “el examen concienzudo de los fundamentos de análisis (esto es el cálculo infinitesimal) y la investigación del significado del sistema de los números reales y de la naturaleza de las funciones definidas en ellos”. Esta teoría fue el origen de la moderna lógica matemática, cuyo objetivo principal es estudiar las propiedades de los conjuntos que no dependen de sus elementos.

Este “grandioso” intento de hallar, por fin, un fundamento seguro en la aritmética y una explicación en la teoría de conjuntos iba a presentar “contradicciones” (o paradojas) que más tarde se llamarían *antinomias*.

El descubrimiento de las antinomias conmovió las matemáticas y a los matemáticos, pues su presencia en la teoría de conjuntos originó sospechas de que muchos resultados obtenidos en matemáticas serían contradictorios.

Muchos matemáticos comenzaron a estudiar y analizar cómo se podían eliminar las contradicciones, y dieron origen a ciertas propuestas:

- Algunos suponían que las contradicciones surgían merced a los defectos de la propia lógica y comenzaron a revisar esta rama.
- Otros suponían que las antinomias surgían debido a que no son correctos los conceptos de conjunto y comenzaron a buscar una definición de conjunto que estuviera libre de contradicciones internas.
- Muchos creyeron que la crisis de las matemáticas estaba en que una serie de objetos y métodos matemáticos no son constructivos (no se pueden construir ni real ni potencialmente); por ejemplo, el infinito actual.
- Los formalistas llegaron a la conclusión que las matemáticas deben axiomatizarse, es decir, deducir todos los teoremas dentro de una teoría determinada mediante pasos lógicos tomados de ciertos axiomas que se aceptan sin demostración (utilizando la lógica matemática, que emplea reglas de deducción con una combinación de símbolos para la transformación de los axiomas iniciales).

Cada uno de estos enfoques de solución aportó de manera directa o indirecta a la consolidación de la definición formal de concepto de algoritmo. Pero los formalistas, grupo cuyo líder era Hilbert, plantearon una serie de problemas ligados que, de alguna manera, solucionarlos afirmativamente implicaría que toda la matemática había quedado reducida al cálculo mecánico. En su solución estaba intrínsecamente ligado el concepto de computabilidad y, por tanto, definir con claridad lo que es un algoritmo.

Uno de los problemas fundamentales que planteó Hilbert fue “que en la lógica formal debería existir un procedimiento para distinguir los enunciados verdade-

ros de los falsos (el problema consistía en dar con el método)". Godel mostró que tal presunción es injustificada, cuando en 1931 pudo probar que cualquier sistema consistente de la lógica formal que fuera bastante potente para formular enunciados de la aritmética habría de contener enunciados verdaderos que no pueden ser demostrados.

En el anterior enunciado del problema se puede apreciar la importancia de la noción de verdad. En este mismo contexto, los lógicos trasladaron dicho enunciado a la noción de la demostrabilidad, lo cual se pudo enunciar como: "¿Existe un único método mediante el cual todos los enunciados matemáticos demostrables puedan ser demostrados a partir de un sistema de axiomas lógicos?".

Entonces en el escenario apareció Alan Turing, lógico y matemático inglés (1912, 1954), extraordinario descifrador y pionero de los computadores para tratar este problema, también conocido como el *Entscheidungsproblem* (o problema de la decisión).

El problema de Hilbert que interesaba a Turing (el *Entscheidungsproblem*) iba más allá de cualquier formulación concreta de las matemáticas en términos de sistemas axiomáticos. La pregunta que tomó fue: ¿existe algún procedimiento mecánico general que pueda en principio resolver uno tras otro todos los problemas de la matemática (que pertenezcan a alguna clase apropiadamente bien definida)? Este fue el sueño de Leibnitz. Para el programa de Hilbert, iba a ser definitiva, pues la respuesta era que el problema de Hilbert no podía resolverse.

Sin embargo, al atacar este problema, Turing se vio forzado a plantearse cómo definir de manera precisa el concepto de algoritmo. Turing trató de imaginar cómo podría formalizarse el concepto de "máquina", descomponiendo su modo de operar en términos elementales. Parece claro que también Turing consideraba el cerebro humano como un ejemplo de "máquina" en este sentido, de modo que cualquier computación que una persona pudiera hacer también podría ser hecha por una de estas máquinas. Entonces analizó todos los pasos que da una persona cuando efectúa una computación: escribir cosas, escudriñar bloques de símbolos, tomar notas, retroceder a algo que ya se había hecho antes, sacar listas, etc., y proyectó una clase de máquina que podía hacer todas estas operaciones de manera muy simple. Turing hizo ver que esta idea

puede refinarse y convertirse en un modelo "preciso" del proceso de computación en que el algoritmo queda representado por un conjunto de pasos atómicos simples, asimilando el concepto formal de algoritmo al de máquina de Turing.

Turing, Church, Post y otros científicos llegaron a concluir (trabajando independientemente y con otras herramientas matemáticas) que si un problema se puede resolver en la máquina de Turing, entonces es algorítmico, y viceversa: que si un problema tiene solución algorítmica, entonces se puede resolver en la máquina de Turing. Esta premisa establece que la definición formal de algoritmo, reducida a la máquina de Turing. Esto es: si se quiere conocer el concepto formal de algoritmo, se debe conocer qué es una máquina de Turing.

Ahora se dará la idea de lo que es una máquina de Turing y se observará que, a pesar de su sencillez, puede hacer lo mismo que cualquier máquina digital.

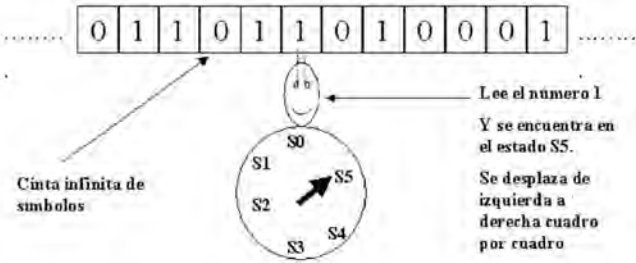
Como ya se dijo, Turing construyó la máquina conceptual en 1936 como una herramienta matemática para estudiar la potencia de los procesos algorítmicos (todavía se sigue usando para tal fin). Y la inventó mucho antes de que la tecnología pudiera producirlas, así que son dispositivos conceptuales no electrónicos.

Una máquina de Turing consiste en una unidad de control que puede leer y escribir símbolos en una cinta valiéndose de un cabezal de lectura/escritura. La cinta se extiende indefinidamente en ambas direcciones y está dividida en celdas, cada una de las cuales puede contener cualquier símbolo entre un conjunto finito de símbolos. A este conjunto se le llama alfabeto de la máquina.

En cualquier momento, durante su operación, la máquina de Turing debe estar en una condición, de entre un número finito de estados. Un cálculo de la máquina de Turing comienza en un estado especial llamado "estado inicial" y concluye cuando la máquina llega a otro estado especial llamado "estado pare".

Un cálculo de una máquina de Turing consta de una secuencia de pasos que ejecuta su unidad de control. Cada paso consiste en leer el símbolo que está en la casilla presente de la cinta, escribir un símbolo en esa casilla, posiblemente trasladar el cabezal una casilla a la izquierda o a la derecha, y luego cambiar de estado. La actividad exacta está descrita por una tabla (se indicará más adelante en el ejemplo) en que se representa la acción que debe ejecutar la unidad de control, depen-

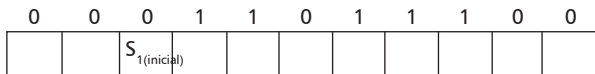
diendo del estado en que se encuentre la máquina y del contenido de la casilla presente en la cinta.



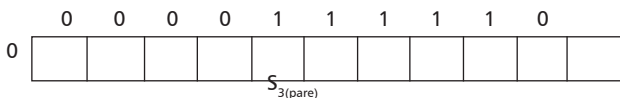
Ejemplo. La máquina que suma dos números naturales (para ilustrar lo haré con la suma de 2 y 3).

Cada sumando está representado en notación unaria sobre una cinta, en forma de secuencias de “unos” consecutivos, encerrados entre ceros por ambos extremos. La máquina puede inspeccionar uno por uno los contenidos de las cuadrículas de la cinta, yendo y viniendo de izquierda a derecha (o al revés), en una secuencia de *pasos discretos* (mostrando así su naturaleza secuencial).

La tarea de la máquina empieza en la cinta inicial (estado inicial).



Debe dejar la cinta con una hilera de cinco “unos” y luego detenerse (estado final).

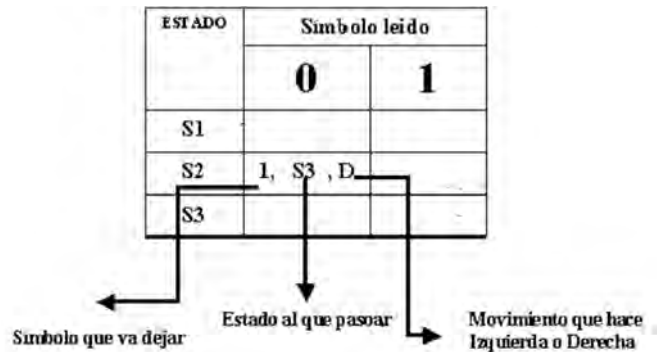


Observe cómo trabaja esta máquina para efectuar la suma: suprimir el cero que separa las dos hileras de “unos” corriendo la hilera de unos de la izquierda, un paso a la derecha.

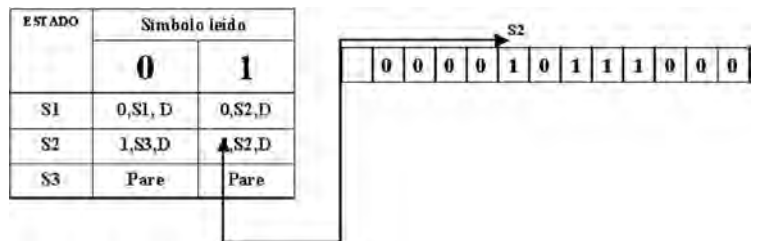
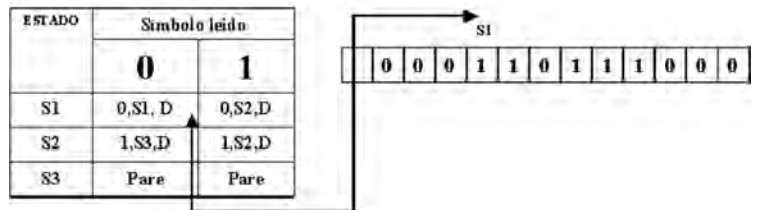
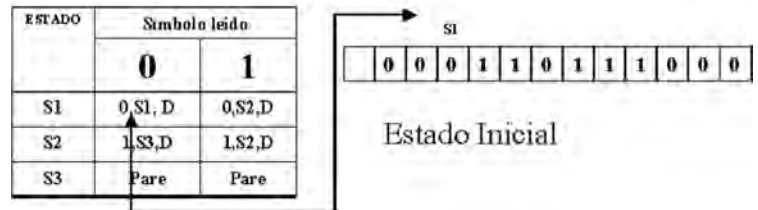
Vea la descripción para este caso, utilizando una tabla (que es en realidad la máquina de Turing, pues

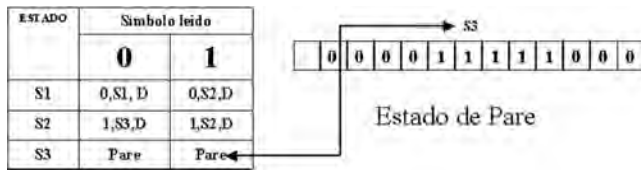
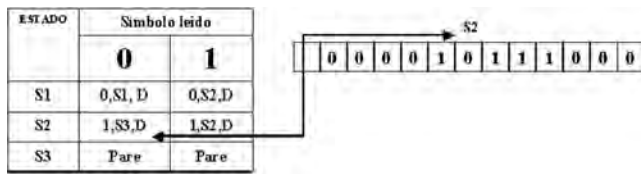
construirla se reduce a construir una tabla) y el diagrama adicional que muestra los pasos gráficamente.

Consideraciones preliminares.



Ahora sí, vea cómo trabaja esta máquina para sumar 2 y 3, en la secuencia.





En este caso, se comprobó el trabajo de una máquina que alguien construyó (Hopcroft). Construir una máquina para alguna operación indicada es muy laborioso (intente construir una para multiplicar); sin embargo, las acciones de la máquina son muy sencillas.

Church mostró que con esta clase de máquinas se puede calcular cualquier función calculable con algoritmos. Queda la sensación de que las componentes atómicas de cualquier proceso algorítmico están descritas en la tabla. Y que la naturaleza de la programación se tiene cuando uno construye una tabla para la máquina de Turing.

Turing descubrió que hay problemas que no se pueden solucionar con su máquina; por tanto, no son algorítmicos. El primer ejemplo de tal clase, elaborado por Turing (y con el cual demostró la negativa al problema planteado por Hilbert), fue el famoso “problema de la parada”, que consiste en predecir si una máquina concreta de Turing, una vez puesta en marcha, llegará a terminar su cálculo y se detendrá. La descripción matemática de este problema es extensa. Su estudio aparece en los libros de teoría de la computación.

Otro ejemplo, de problema no algorítmico, un poco más sencillo, conocido como el *problema de las palabras*, es:

Suponga que comenzamos con cuatro símbolos abstractos, A, B, M, N, que pueden ser colocados uno junto a otro para formar “palabras de cualquier longitud; por ejemplo,

ABNAAMBBAN

Suponga también que un número finito de tales palabras es igual al “elemento identidad” I ; es decir, cuando tales palabras se encuentran formando parte de otras palabras, pueden eliminarse, abreviando así las palabras originales.

Por ejemplo, si

$$AM = MA = BN = NB = I$$

y

$$NAA = I$$

La palabra ABNAAMBBMB puede abreviarse ABNABBMB (USANDO $AM = I$) o ABMBBMB (usando $NAA = I$). Dado este esquema, el problema es: ¿existe un algoritmo para determinar si dos o más palabras son idénticas (es decir, si representan el mismo elemento del grupo)? En general, la respuesta es que no, como mostró el matemático soviético Serguéievich Nóvikov (1901-1975).

Ya tenemos información de por lo menos dos problemas para los cuales no existe algoritmo que permita solucionarlos.

Sin embargo, a pesar de que muchos problemas tienen solución algorítmica, en algunas ocasiones no es posible implementarlas en una máquina real, pues el tiempo o el espacio no lo permiten.

La rama de la matemática que estudia estas posibilidades de implementación de algoritmos se llama teoría de la complejidad. Aclarando un poco el término complejidad (puede significar muchas cosas) en el contexto que lo vamos utilizar, tiene que ver con el grado de ramificación y toma de decisiones implicadas en la resolución del problema. Reduciéndose en definitiva en el costo (medido en el número total de operaciones aritméticas).

Un factor básico es el modo en que crece el costo a medida que aumenta el tamaño de los datos iniciales. Este aumento puede ser lento (más lento que una potencia fija del tamaño de los datos introducidos) o muy rápido (crecimiento exponencial, cuando el costo se multiplica por una cantidad determinada cada vez que se produce un único incremento en el tamaño de los datos introducidos). Por ejemplo, el proceso de ir probando los factores de un número para saber si es primo crece exponencialmente a medida que el número

es mayor. Una pregunta inquietante es: ¿se puede hallar un método más eficaz, es decir, uno cuyo costo crezca según una potencia fija? No se conoce la respuesta todavía. Sería importante no sólo para el caso de teoría de la complejidad, sino para las aplicaciones implicadas; por ejemplo, códigos militares.

El ejemplo anterior pone de manifiesto muchas inquietudes con respecto a la importancia de la eficiencia de los algoritmos en las aplicaciones prácticas.

En 1965 J. Edmons y A. Cobhan concluyeron que el estudio de los algoritmos (con respecto a su eficiencia) se podía reducir a dos casos fundamentales, más o menos que lo que en la práctica se llamaría “buenos” y “malos” algoritmos fueran el tiempo polinómico y el exponencial. Si el tiempo de funcionamiento con una dimensión de los datos introducidos n crece como una potencia fija n^2 , n^7 , entonces el algoritmo funciona en un tiempo polinómico; si crece como 2^n , 10^n , o más rápido, entonces crece en un tiempo exponencial.

Por ejemplo, el cálculo de determinantes es importante en álgebra lineal. Existen dos métodos conocidos para calcular determinantes. Uno se basa en la definición recursiva de determinante; el otro se denomina eliminación de Gauss-Jordan. El algoritmo recursivo requiere un tiempo proporcional a $n!$ para una matriz $n \times n$ (crecimiento peor que el exponencial). En contraste, la eliminación de Gauss Jordan requiere un tiempo proporcional a n^3 para la misma tarea. Y aún más, Strasser encontró un algoritmo particular que puede calcular el determinante de una matriz de $n \times n$ en un tiempo proporcional a $n^{\log 7}$ mejor que el de eliminación de Gauss-Jordan.

De los problemas para los cuales se sabe que poseen soluciones de tiempo polinómico, por ejemplo el anterior (Gauss-Jordan), se dice que pertenece a la clase P. Otro tipo importante de problemas es el NP, la clase de los problemas polinómicos no deterministas. Un problema pertenece a esta clase siempre que exista algún algoritmo mediante el que pueda proporcionarse una solución y luego verificarla en tiempo polinómico, si la respuesta fuese correcta (ejemplo, saber si un número es primo).

Pensemos en armar un rompecabezas: muchas veces es complicado y en ocasiones nos damos por vencidos. Cuanto más cantidad de fichas tenga, más difícil será armarlo. Si quisiéramos armarlo mirando to-

das las combinaciones posibles de fichas, quizás nunca terminaríamos, pues la cantidad de combinaciones es exponencial. Sin embargo, nuestra mente economiza posibilidades, quizá por tener una idea global de lo que vamos a armar, lo cual guía nuestra intuición para armarlo, sin tener que recurrir a todas las combinaciones, como lo haría un computador. Después de que el rompecabezas está armado, podemos comprobar que está bien o no, mirando si cada ficha está o no en su lugar. Así, el número de verificaciones sería igual a tantas fichas como tenga el rompecabezas. De este ejemplo podemos hacer las siguientes analogías que nos ayudan a ilustrar los conceptos de NP (polinómicamente no-determinísticos, es decir, el número de pasos para **probar** una solución particular es polinómico, como se indicó anteriormente respecto de los problemas), P (problemas para los cuales su solución algorítmica general dada esta en tiempo polinómico) y la clase NP-completo (los problemas difíciles de la clase NP se describirán más adelante). Es importante tener presente que una cosa es el armar el rompecabezas y otra cosa es probar que está bien armado. En consecuencia, el problema de armar el rompecabezas es NP, pues el número de pasos para verificar si está bien armado es igual a tantas fichas como tenga el rompecabezas, lo cual se da en tiempo polinómico. Pero armarlo, analizando todas las combinaciones requeriría un número exponencial de pasos.

Cualquier problema que pueda solucionarse con un algoritmo en tiempo polinómico (es decir un problema P) es NP, pues si la solución general se logra en tiempo polinómico, probar una solución particular requiere tiempo polinómico.

Existe un conjunto de problemas importantes de gran utilidad práctica (criptografía, construir horarios, etc.) que son NP, para los cuales no se ha encontrado una solución algorítmica en tiempo polinómico. Además, a este conjunto se le ha encontrado una propiedad interesante: si se llegara a encontrar una solución algorítmica en tiempo polinómico para alguno de ellos, se tendría para todos. Esta clase de problemas son los llamados NP-completos. Uno de los grandes problemas actuales, abiertos, de teoría de la computación y de la matemática es ¿NP=P? (Es decir, para alguno de los problemas NP-completos comentados existe una solución polinómica). La creencia general de los científicos de la computación es que NP¹P.

La gran cantidad de problemas NP-completos que tienen interés práctico motiva el estudio teórico de estos problemas.

Por ejemplo, el problema de la posibilidad de satisfacción: dada una expresión lógica, ¿existe alguna asignación de valores de verdad en las variables de la expresión que la convierta en válida?

REFERENCIAS

- Aiken, von Neuman & Turing, W. (1975). *Perspectivas de la revolución de los computadores*. Madrid: Alianza Universidad.
- Barker, S.F. (1965). *Filosofía de las matemáticas*. México: U.T.H.
- Hocproft, U. (1969). *Introduction to automata theory languages, and computation*. Nueva York: Addison- Wesley.
- Hocproft, S. (184). *Máquinas de Turing. Investigación y ciencia*. Barcelona: Prensa Científica S.A.
- Stewart, I. (1998). *De aquí al infinito*. Madrid: Editorial Crítica.
- Jagjit, S. *Teoría de la información, del lenguaje y de la cibernética*. Madrid: Alianza Universidad.
- Lewis, P. (1979). *Elements of the theory of computation*. New Jersey: Prentice Hall.
- Pékelis, V. (1977). *Pequeña enciclopedia de la gran cibernética*. Moscú: Mir.
- Penrose, R. (1989). *La nueva mente del emperador*. Barcelona: Grijalbo.
- Taylor, G. (1998). *Models of computation and formal languages*. Nueva York: Oxford University Press.
- Bourbaky, N. (1987). *Elementos de historia de las matemáticas*. Madrid: Alianza Universidad.
- Lakatos, I. (1987). *Pruebas y refutaciones*. Madrid: Alianza Universidad.
- Arbib, M. (1976). *Cerebros, máquinas y matemáticas*. Madrid: Alianza Universidad.
- Dunham, W. (1994). *The mathematical universe*. Canadá: John Wiley Sons Inc.
- Carnap, R. (1969). *Fundamentación lógica de la física*. Buenos Aires: Suramericana.

AUTORES EN ESTE NÚMERO

SANDRA X. CAMPAGNOLI MARTÍNEZ

Ingeniera civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Especialista en Mecánica de suelos y cimentaciones de la Universidad Politécnica de Madrid, España. Especialista en Geotecnia de la Universidad Nacional de Colombia. Directora del Centro de Estudios Geotécnicos de la Escuela Colombiana de Ingeniería. scampa@escuelaing.edu.co

CLAUDIA PATRICIA LÓPEZ P.

Estudiante de último semestre de ingeniería civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Proyecto sobre el Ensayo Micro Deval. claudi_lo@hotmail.com

DANIEL RUIZ

Ingeniero civil, M.Sc., jefe del Laboratorio de Pruebas y Ensayos, profesor asistente e investigador del grupo Estructuras, Departamento de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Javeriana, Calle 40 No. 5-50, Bogotá, Colombia. daniel.ruiz@javeriana.edu.co

ALEJANDRA ROMERO

Ingeniera civil, Pontificia Universidad Javeriana. alerolala@hotmail.com

ÓSCAR BECERRA

Ingeniero civil, Pontificia Universidad Javeriana. deskcoar@hotmail.com

JORGE ALBERTO RODRÍGUEZ

IC, MSCE, PhD. Profesor asociado de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. _rodriguezja@javeriana.edu.co

JUAN DANIEL MOYA

Ingeniero civil, Jeoprobe Ltda., profesor de cátedra de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. lomica01@gmail.com

SANDRA NEYID MONTAÑEZ

Candidato a magíster en Ciencias de la Información y Comunicaciones de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. sandra@neyid.com

JOSÉ NELSON PÉREZ

Doctor en Informática. Profesor titular de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. nelsonp@udistrital.edu.co

GERMÁN DARÍO CASTELLANOS TACHE

Ingeniero electrónico de la Escuela Colombiana de Ingeniería (2004). Especialista en Telemática y Negocios por Internet de la Escuela Colombiana de Ingeniería (2006) con amplios conocimientos en telefonía móvil

y comunicaciones digitales. Actualmente se desempeña como docente e investigador del área de Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. gcastell@escuelaing.edu.co

CÉSAR ANDRÉS FORERO DÍAZ

Estudiante de ingeniería electrónica de la Escuela Colombiana de Ingeniería con énfasis en el área de Telecomunicaciones. okter@hotmail.com

ALEXIS GÓMEZ VELÁSQUEZ

Estudiante de ingeniería electrónica de la Escuela Colombiana de Ingeniería con énfasis en el área de Telecomunicaciones. alexisgomez60@hotmail.com

ALEXÁNDER GUZMÁN VÁSQUEZ

Magíster en administración, administrador de empresas. Estudiante del Doctorado en Administración, Facultad de Administración, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. ale-guzm@uniandes.edu.co

MARÍA ANDREA TRUJILLO DÁVILA

Magíster en administración, ingeniera sanitaria. Profesora e investigadora. Facultad de Administración. Universidad del Rosario. Estudiante del Doctorado en Administración, Facultad de Administración, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. maria.trujilloda@urosario.edu.co

GISELE EUGENIA BECERRA PLAZA

Magíster en administración, administradora de empresas. Decana, Facultad de Administración, Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá, Colombia. gbecerra@escuelaing.edu.co

MANUELA TRUJILLO DÁVILA

Contadora pública. Sales Manager. Insurance Express. mtrujild@une.net.co

CECILIO SILVEIRA CABRERA

Físico de la Universidad de La Habana. Docente de cátedra del Departamento de Ciencias Básicas de la Escuela Colombiana de Ingeniería. silveiracuba@yahoo.es, csilveir@escuelaing.edu.co

RAÚL A. CHAPARRO AGUILAR

Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, Colombia. rchaparr@escuelaing.edu.co
