



REVISTA

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA

Año 3 Nº. 8 Vol. 3 Abril-Junio 1992



SISTEMAS DE
EXCAVACION
-PANTALLAS-

SISTEMAS DE
INFORMACION
GEOGRAFICA

Fracturamiento en Túneles



REVISTA
ESCUELA
COLOMBIANA
DE INGENIERIA

Año 3 No. 8 Vol. 2 - Abril-Junio - 1992
Licencia Mingobierno No. 1595 del 6 de Mayo de 1991
ISSN 0121-5132



Nuestra Portada
Caverna Subterránea
Hidroeléctrica El Guavio

SUMARIO

- 2 EDITORIAL - **LA ÉTICA EN COLOMBIA**
RICARDO QUINTANA SIGHINOLFI
- 4 SEGUNDA PARTE - **DESARROLLO DE LAS MEDICIONES DE ESFUERZOS IN-SITU CON LA TÉCNICA DE FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO**
RAMIRO GUTIÉRREZ R.
- 8 **SISTEMAS DE EXCAVACIÓN PANTALLAS**
AUGUSTO ESPINOSA SILVA, ARMANDO PALOMINO INFANTE
- 16 **LA GEOMETRÍA DEL FUTURO**
ALFONSO MELÉNDEZ
- 18 **VISION GENERAL DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**
ALVARO GONZÁLEZ FLETCHER
- 22 **UN AMBIENTE IDEAL PARA LA PRODUCCIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN**
JULIO ANDRÉS TORRES
- 26 **LA NUEVA FÍSICA DEL MUNDO MICROSCÓPICO**
RAÚL ALBERTO RUIZ
- 28 **LA AGONÍA DEL DIFUNTO**
BERNARDO LIÉVANO
- 30 NOTICIAS

DIRECTOR
ING. GERMÁN RICARDO SANTOS G.

CONSEJO EDITORIAL
MAT. CARLOTA LÓPEZ ARANGO
ING. RICARDO LÓPEZ CUALLA
ING. MARÍA CRISTINA CORREAL
ING. RAMIRO CABAL SANCLEMENTE
ING. ALVARO GONZÁLEZ FLETCHER

EDITORA
ING. BLANCA VILLAMIL DE ALVAREZ

DIRECTOR COMERCIAL
ALDO G. VILLAMIL A.

ASESOR ESPECIAL
ING. HERNANDO ALVAREZ RINCÓN

DIRECTORA DE PUBLICIDAD
TERESA VARGAS FERIA

DISEÑO
WILLIAM MONTENEGRO C.

TRANSVERSAL 6A. No. 51A-43
TEL: 2871005
SANTAFÉ DE BOGOTÁ, D.C., COLOMBIA

LA ESCUELA Y LA REVISTA NO SON RESPONSABLES DE LAS IDEAS Y CONCEPTOS EMITIDOS POR LOS AUTORES DE LOS DIFERENTES TRABAJOS PUBLICADOS. SE AUTORIZA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE LOS ARTÍCULOS DE LA REVISTA CITANDO LA FUENTE Y EL AUTOR.

CONSEJO DIRECTIVO DE LA ESCUELA COLOMBIANA
DE INGENIERÍA

PRESIDENTE
ING. IGNACIO UMAÑA DE BRIGARD

VOCALES
ING. LUIS GUILLERMO AYCARDI BARRERO
ING. JORGE EDUARDO ESTRADA VILLEGAS
ING. MANUEL GARCÍA LÓPEZ
ING. ALVARO GONZÁLEZ FLETCHER
ING. ALBERTO MONTAÑÉS PEÑA
ING. ARMANDO PALOMINO INFANTE
ING. RICARDO QUINTANA SIGHINOLFI
ING. ARTURO RAMÍREZ MONTUFA
ING. JAIRO ROMERO ROJAS
ING. RICARDO SALAZAR FERRO

RECTOR
ING. EDUARDO SILVA SÁNCHEZ

SECRETARIO
ING. ALBERTO SALAMANCA PINZÓN

KM 13 AUTOPISTA NORTE TEL: 6760077
FAX: (571) 6760479 A.AEREO: 14520
SANTAFÉ DE BOGOTÁ D.C., COLOMBIA

LA ETICA EN COLOMBIA

POR : RICARDO QUINTANA SIGHINOLFI

Cada día es más difícil encontrar personas que consideren la honestidad y la conducta ética como algo valioso y que debe ser resguardado de todos los ataques que se producen desde los distintos ángulos de la vida colombiana.

En realidad hemos venido condescendiendo con conductas ajenas carentes de ética y cada vez nos parece más normal, el transgredir normas o por lo menos aceptar en forma natural a aquellos que las violan.

Quién podría tirar la primera piedra, si se habla de comprar en los Sanandresitos. Nos parece muy normal, a pesar de saber que son artículos de contrabando; que allí pueden ir a parar cosas robadas o que algunas son traídas al país con dólares de dudosa procedencia?.

Quién, alguna vez, no ha comprado o pensado en comprar limpia-parabrisas o espejos o los llamados cocuyos en los almacenes de repuestos de segunda de la Avenida Caracas, cerca al parque de los Mártires o del Siete de Agosto, a pesar de saber que muchos de los repuestos de segunda provienen de vehículos robados y deshechos por delincuentes?

Pocos pueden decir que nunca se han pasado un semáforo en rojo o que nunca ha tratado de arreglar una multa con el policía de tránsito, quien también se insinúa para que el transgresor arregle con él la multa.

Hace algunos años, en la Costa Atlántica y posteriormente en Medellín, era negocio común colocar dinero en manos de los exportadores de marihuana y cocaína para que fueran devueltos a los pocos días con grandes

rendimientos si "coronaban", es decir si el embarque llegaba sano y salvo.

La absurda explicación que daba un "ilustre jurisconsulto" sobre el destino que su poderdante había dado a los auxilios recibidos, es fiel reflejo de la condescendencia que se tiene con la inmoralidad de las acciones. Todo esto viene al caso cuando se traslada su análisis a la ingeniería. Hoy se está volviendo costumbre para conseguir un contrato en algunas dependencias de Obras Públicas dar el correspondiente diez por ciento a los funcionarios responsables de otorgarlos, llámense Secretario de Obras, Directores de Distrito o Gerentes de Empresa. Es cierto que existen muchos Ingenieros honestos, que al llegar a dichas posiciones se dedican a trabajar con ahínco para resolver los problemas de su incumbencia. Pero circunstancialmente lo que pasa es que ese diez por ciento, o aún más, tiene que ser transferido en parte al político de turno que lo hizo nombrar y que lo sostiene para que no se caiga.

Todos somos culpables de este estado de cosas. Por acción o por omisión. Es nuestra responsabilidad, la de las generaciones mayores, empezar y mantener una campaña de moralización a todos los niveles para que nuestros alumnos no vean como única alternativa, para vivir en esta selva en que hemos convertido a Colombia, que también deban entrar en la misma ronda de sobornos, auxilios desviados con fines oportunistas y personales, chantajes, comisiones y en fin todas las variaciones que pueda tener el desgüeño moral en que nos encontramos ■

Desarrollo de las Mediciones de Esfuerzos In-Situ con la Técnica de Fracturamiento Hidráulico

Por : RAMIRO GUTIÉRREZ R.

INGENIERO CIVIL. UNIVERSIDAD JAVERIANA. INGENIERO ESPECIALISTA EN GEOTÉCNIA. DEPARTAMENTO DE TÚNELES INGETEC S.A.

INTRODUCCION. En la mayoría de los materiales conocidos por la comunidad ingenieril, las ecuaciones aplicadas en los diseños, dan bajo ciertos márgenes de seguridad previsible y un buen control de calidad, la certeza del comportamiento mismo de las estructuras. Sin embargo en el caso de las rocas, estas han

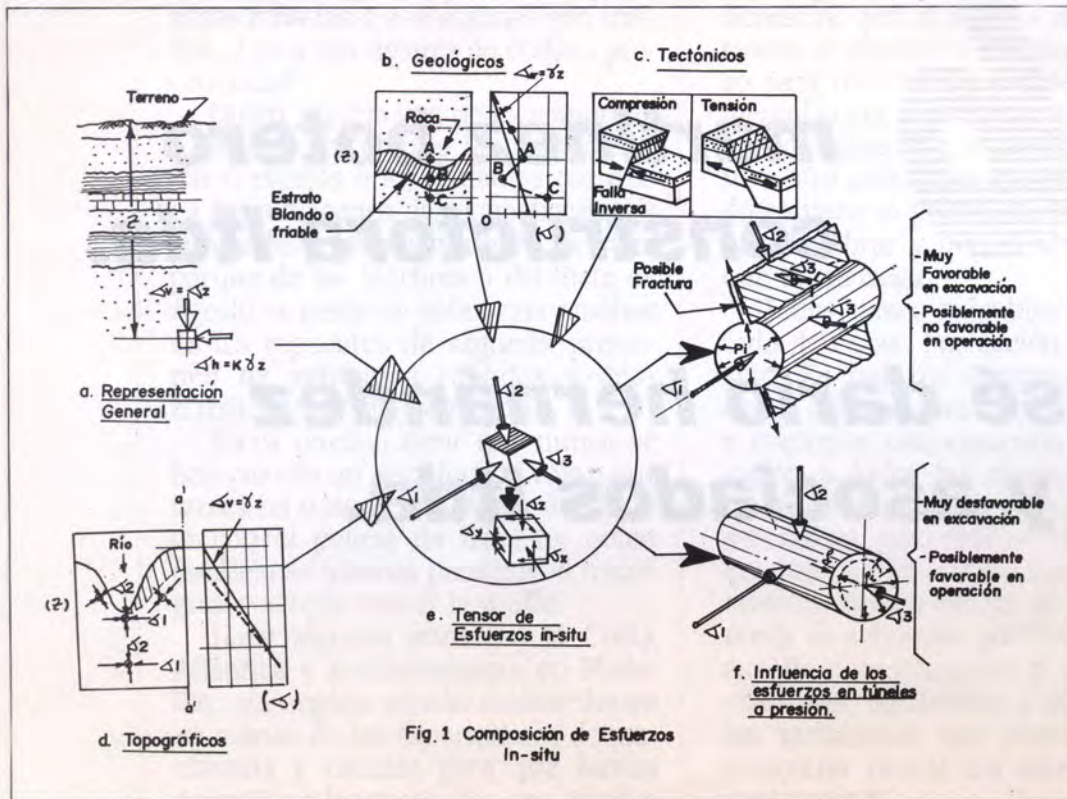
estado sujetas a diferentes cargas y descargas en diferentes épocas, con ambientes geológicos y tectónicos complejos, produciendo fallas y fracturas, formando una serie de bloques interrelacionados con presiones y flujos de agua, en donde el ingeniero al afrontar el reto, planea una obra subterránea a profundidades casi siempre inalcanzables en exploración y en sitios en donde las condiciones

pueden llegar a variar de un lugar a otro. Adicionalmente en ese medio anisotrópico, la misma naturaleza le impone un campo de esfuerzos que debe conocer para poder lograr su objetivo.

El campo de esfuerzos en cualquier sitio, se relaciona principalmente con el peso colocado sobre la roca, afectado por una serie de eventos. (Véase Figura 1a). Dentro de los

fenómenos naturales más importantes que enmarcan el estado de esfuerzos en un sitio, se tienen; las fuerzas residuales, el tectonismo (remamente y activo), las estructuras geológicas, la erosión y depósito del material de cobertura, la misma topografía local y regional, así como el comportamiento de la masa de roca. (Véase Figura 1b, 1c, 1d).

El estado de esfuerzos vírgenes, se altera alrededor de la excavación, cuando la obra se construye, pues induce esfuerzos que pueden superar la resis-



tencia del macizo rocoso o en el caso de túneles que trabajarán a presión, no ser lo suficientemente aptos para resistir las presiones hidráulicas.

Durante las últimas décadas, en los diseños de obras subterráneas se han venido incorporando mediciones de esfuerzos in-situ. Como parte integral de estos, y como resultado de ello, se vienen obteniendo resultados más racionales. En el caso de proyectos hidroeléctricos y específicamente en los relativos a los túneles a presión, una de las decisiones más importantes, está en la determinación de la longitud requerida de revestimiento en blindaje de acero, por el costo que implica (1), y por ser la única manera de evitar grandes fugas de agua, cuando ocurren fracturas hidráulicas.

El ambiente de esfuerzos in-situ, se ha venido determinando desde épocas anteriores por los ingenieros geotecnistas, mediante dos modos fundamentales diferentes: activa o pasivamente. El modo activo, resuelve los componentes del esfuerzo a través de deformaciones inducidas con un contrabalance de las fuerzas que intervienen. En los métodos pasivos, las componentes de esfuerzos, son inferidas de los desplazamientos medidos y calculados, conociendo las constantes elásticas del material. Sin embargo de todos los métodos, la medida de esfuerzos con la técnica del fracturamiento hidráulico, parece ser la más confiable, debido a las ventajas que más adelante se mencionan.

BREVE RESEÑA HISTORICA DEL ENSAYO. Hasta donde se tiene conocimien-

(1) Revestimiento más costoso para el túnel pozo a presión.

to, la técnica del fracturamiento se remonta a la década de los 50, cuando se comenzó a lucubrar en la teoría fundamental clásica de medidas de esfuerzos en forma hidráulica, por Hubber y Willis (1957), aplicando conceptos desarrollados por Kirsch y otros (1898), en la redistribución de esfuerzos alrededor de una perforación.

Posteriormente en Israel, se comenzó a trabajar en ese campo, debido a que durante la ejecución de ensayos de permeabilidad en varias obras se detectaron dificultades en su ejecución e interpretación, al presentarse fracturamiento hidráulico prematuro. Más adelante, la industria petrolera le dio un impulso al desarrollo de la técnica, por el simple hecho de que mediante esa técnica se podía estimular la producción de pozos cambiando la permeabilidad del macizo rocoso con la fractura. Al mismo tiempo, en otros lugares del mundo, ante el auge energético y el desarrollo de proyectos hidroeléctricos que exigían cada vez más conceptos mucho más rigurosos, comenzó a aplicarse esa técnica para el diseño de túneles a presión, mejorán-

dose continuamente los sistemas de ejecución, registro e interpretación, así como su confiabilidad para ser utilizados en los diseños.

MEJORAMIENTOS DE LA TECNICA. A través de su extensa aplicabilidad en el mundo, se mejoraron los sistemas para inflado de empaques (obturadores), sistemas para extracción e introducción de los mismos, sistemas de registro e instrumentación, igualmente se optimizaron los sistemas de bombeo y otros componentes mecánicos del equipo, constituyendo estas entre varias, las innovaciones más importantes en esta última década. Sin embargo, los aportes más importantes han sido en la interpretación de los resultados y en su aplicación en el diseño y solución de problemas en obras subterráneas.

Dentro de los aspectos importantes de mencionar en mejoramiento de interpretación, se tiene; el concepto de la presión de cierre de la fractura (σ_s) para definir el esfuerzo. Este concepto tiene una gran acogida hoy en día entre muchos expertos en el mundo. La presión de cierre (shut-in) (σ_s) (véase Figura 2d), se

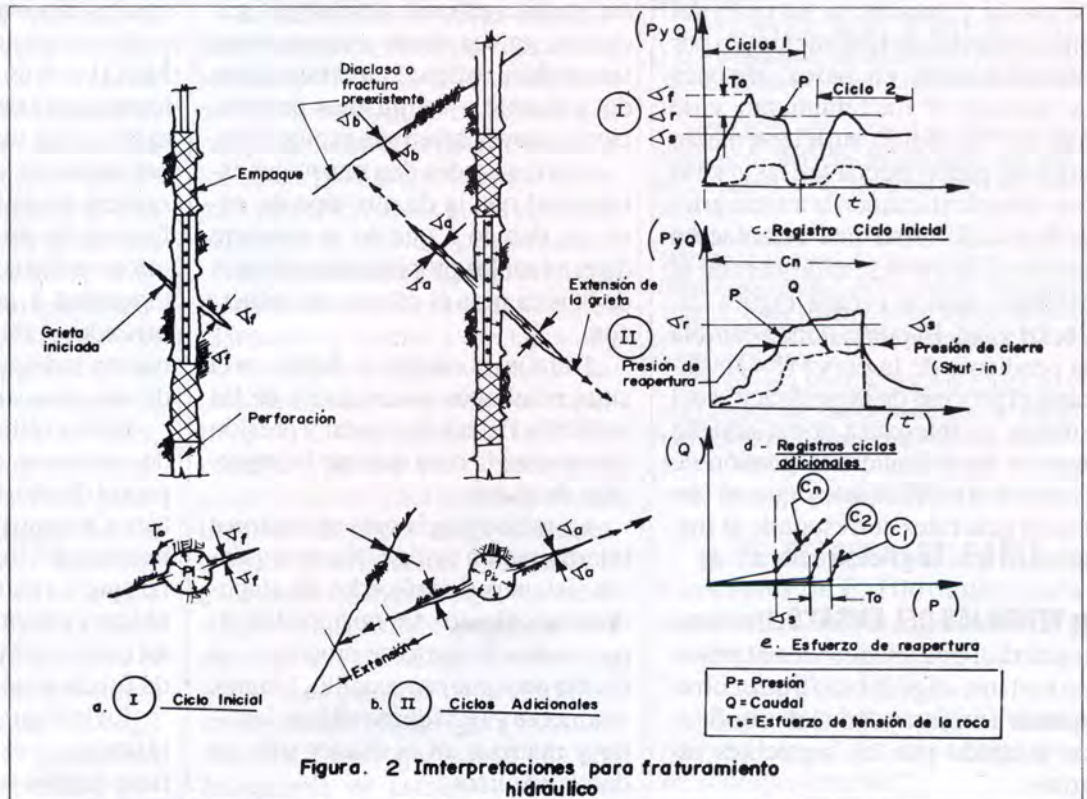


Figura. 2 Interpretaciones para fraturamiento hidráulico

P= Presión
Q= Caudal
T= Esfuerzo de tensión de la roca

define directamente sobre el registro de la curva de datos de presión-tiempo, durante la etapa de despresurización, como el instante en que la curva cambia de pendiente. Actualmente se utilizan varios sistemas para la interpretación de ese segmento de curva del registro. Haimson (1988), Aamodt y Kuriyagawa (1983), Aggson y Kim (1987). Sin embargo debido a los problemas mencionados por Marulanda (1990) y Gutiérrez (1992), se ha planteado como alternativa para confirmar y determinar el esfuerzo, el concepto de la presión de reapertura.

La presión de reapertura, la cual es equivalente al sistema de interpretación anterior, se obtiene de un gráfico elaborado con los registros de caudal y presión, en un ciclo del ensayo ejecutado lentamente y/o por presurizaciones en pasos, después de iniciado el fracturamiento y de haberse extendido suficientemente la grieta, para conectarse a las grietas preexistentes o cuando la misma grieta inducida, tome una orientación preferencial en el sentido normal al esfuerzo menor, (véase Figura 2a, 2b, 2d y 2e). El punto donde cambia la pendiente de la curva (P-Q), durante el proceso de presurización del ensayo, se interpreta como aquella igual o equivalente a la presión de cierre (σ_s) o (Shut-in), y que en términos generales corresponde al instante en que la grieta se abre.

■ **VENTAJAS DEL ENSAYO.** En nuestro medio, esta técnica viene tomando bastante auge debido a que corresponde a un ensayo in-situ económico y rápido por las siguientes razones:

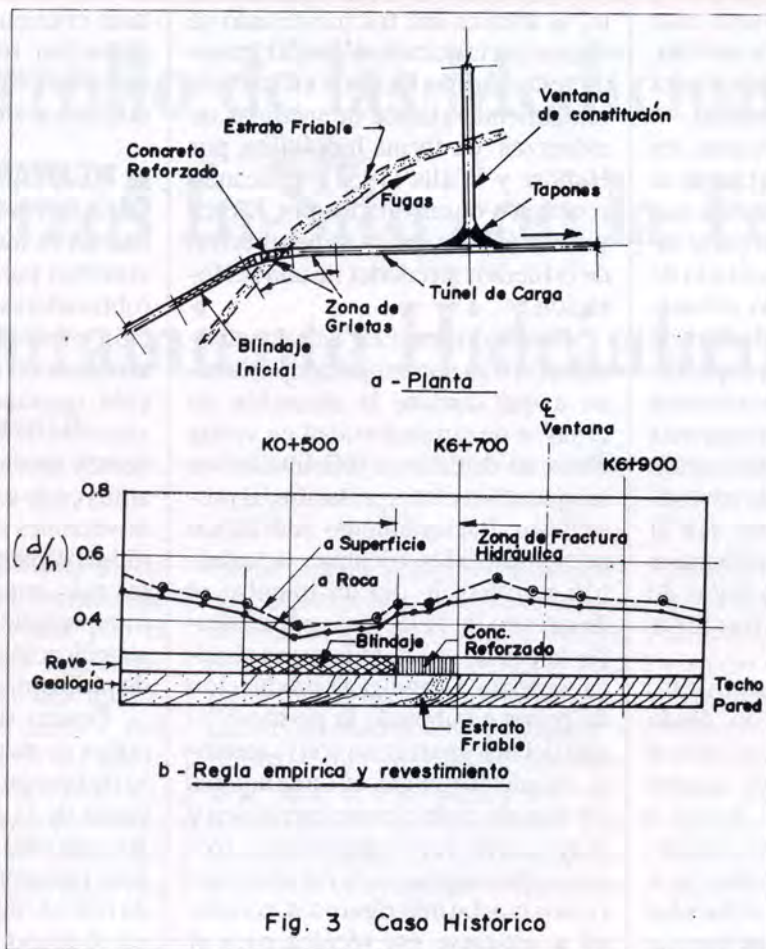


Fig. 3 Caso Histórico

Se puede ejecutar en forma sistemática en una o varias perforaciones, ya sea desde excavaciones subterráneas o desde superficie, siendo aplicable a las mismas perforaciones proyectadas para exploración.

Los resultados dan una mejor estabilidad que la de otro tipo de ensayos, debido a que no se requiere determinar las propiedades elásticas de la roca para el cálculo de esfuerzos.

Durante el ensayo se define en el sitio, resultados instantáneos de las variables físicas de caudal y presión que reviste la roca durante la inyección de fluido.

La metodología para ejecución e interpretación es fácil. No se requieren sistemas complicados de elaboración y cálculo. Así mismo el equipo construido para ese propósito, se diseña para que sea sencillo, liviano, autónomo y fácil de movilizar, instalar y manejar en cualquier sitio en donde requiera.

Por ser un ensayo, que puede ejecutarse a diferentes profundidades dentro de la roca, permite alejarse de zonas perturbadas por la redistribución de esfuerzos alrededor de la excavación, siendo ese aspecto una limitante en otros métodos. Además, al aplicarse en forma sistemática en una área determinada es factible elaborar un mapa de iso-esfuerzos y por lo tanto obtener una interpretación más real del estado de esfuerzos.

■ **ALGUNAS APLICACIONES EN NUESTRO MEDIO.** Las primeras aplicaciones que se conocen en Colombia, se iniciaron en el proyecto Mesitas del Colegio, hacia los primeros años de la

década de los 80 y posteriormente con las innovaciones mencionadas, en los proyectos Salvajina, Guavio, Miel II y otros y luego exportada esa tecnología a otros países vecinos. La experiencia recolectada en aquellos proyectos no solamente ha sido una manera de estimar el campo de esfuerzos in-situ, sino de obtener la información sobre esfuerzos con anterioridad a la excavación, constituyéndose ahora como una herramienta indispensable para el diseño de una obra subterránea.

En los últimos años, las medidas de esfuerzos se han incrementado para el diseño de proyectos hidroeléctricos, no solo para optimizar requerimientos de blindaje como se mencionó anteriormente, sino también para ubicar y orientar obras subterráneas, así como para propósitos de estudios de fundaciones en presas.

En la Figura 3 se muestra un caso histórico en el cual, las reglas empíricas fueron inicialmente utilizadas

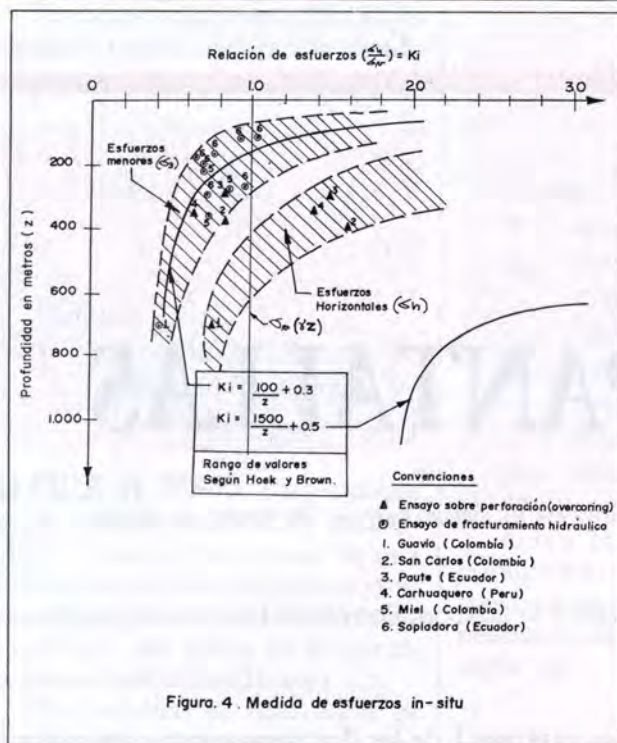


Figura 4. Medida de esfuerzos in-situ

para determinar la extensión del revestimiento del blindaje o ubicación de los túneles y pozos a presión en un proyecto hidroeléctrico.

La regla empírica conocida en esa época para diseñar obras de este tipo ubicadas en topografías relativamente planas, se refería a que la relación de cobertura de roca (d) y la presión o columna de agua (H), debería ser mayor o igual a 0.4 veces. Sin embargo, grandes filtraciones de agua se experimentaron durante la prueba de llenado del túnel. Posteriormente medidas de esfuerzos in-situ en forma sistemática con la técnica del fracturamiento hidráulico a lo largo del túnel, revelaron que la relación empírica ($d/H > 0.4$) había sido errónea. En este caso particular, un estrato friable ubicado dentro de la masa de roca y muy cerca del túnel, había ocasionado una reducción apreciable del estado de esfuerzos, generando un efecto de arqueado de los mismos, los cuales eran aparentemente absorbidos por la roca más dura. Marulanda (1986). La reducción de los esfuerzos vírgenes en el macizo creó un problema de fractura hidráulica, que inclusive se prolongó hasta el revestimiento en concreto reforzado adyacente al blindaje ins-

talado con el criterio mencionado. El origen de ese fenómeno se definió detalladamente con la ejecución de ensayos de fracturamiento hidráulico sistemáticos, realizados después del incidente. Como resultado de las mediciones e identificada la fuente de filtraciones, se efectuaron las medidas correctivas prolongándose el blindaje y el refuerzo hasta donde el campo de esfuerzos medidos in-situ indicaba que era aceptable para las presiones de trabajo del túnel.

Otras aplicaciones no solo para solucionar problemas durante operación sino también para establecer varios aspectos importantes durante el diseño de los túneles a presión y de grandes cavernas en proyectos hidroeléctricos se resumen a continuación:

a. Definición de sitios apropiados: La medida de esfuerzos con esa técnica y otras, ha sido usada para definir la estabilidad de la roca y el campo de esfuerzos para determinar los sitios más aceptables y seguros para ubicación de las obras subterráneas (pozos, túneles y cavernas).

b. Orientación y forma: Algunos diseños iniciales de cavernas de gran diámetro en cuanto a orientación y forma, se preconcebían con una relación de esfuerzos in-situ horizontales a verticales iguales a 1.00. Esa condición de esfuerzos corresponde a una situación ideal o isotrópica, sin imponer entonces ninguna restricción en la orientación y forma de la excavación. Sin embargo, las medidas de esfuerzos y específicamente aquellas ejecutadas en los ambientes geológicos nuestros de la cordillera de los Andes (véase Figura 4), muestran claramente que existe una alta anisotropía de esfuerzos y conse-

cientemente los diseños se han venido acomodando a la situación real en esas medidas. Igual, las medidas han tenido mucha utilidad, cuando se aplican para seleccionar la forma geométrica más eficiente de una excavación, ya que minimiza la concentración de esfuerzos alrededor de la cavidad y por lo tanto reduce la posibilidad de tener rasgos desestabilizantes y menores cantidades de soporte, sin olvidar los aspectos relativos al tamaño de los equipos de operación y construcción. ■

REFERENCIAS.

AAMODT, R. Y JURIYAGAWA M., 1983. Measurement of instantaneous shut-in pressure in crystalline rock, in Hydraulic Fracturing Stress Measurements, eds, M. Zoback y B. Haimson. National Academy Press. Washington.

AGGSON, J.R. Y KIM, K. 1987. Analysis of Hydraulic Fracturing Pressure Histories: A Comparison of five Methods used to identify Shut-in pressure. Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. R Geomech. Abstrac, 24:1, 75-80.

GUTIERREZ, R. 1992. Conceptos sobre Fracturamiento Hidráulico para Diseño de Túneles a Presión. Primera Parte. Revista Escuela Colombiana de Ingeniería. Año 3. No. 7. Vol. 3. Marzo 1992.

HAIMSON, B.C. 1988. New developments in Stress Measurements for the Design of underground openings, 2nd. Int. Symp. Field Measurements in Geomech: 723-739.

HUBBERT, M.K. Y WILLIS, D.G. 1957. Mechanics of Hydraulic Fracturing. TRAS. A.M. Ins. Min. England.: 210. 153-168.

KIRSCH, G. 1898. Die Theorie der Elastizität und die Bedürfnisse der Festigkeitslehre. veit, ver Deut. Ing. 42: 797-807.

MARULANDA A., ORTIZ, C. Y GUTIERREZ R. 1986. Definition of the Use of Steel Liners Based on Hydraulic Fracturing Test; A. Case History. Inter. Symp. on rock stress and rock stress Measurements. ISRM. ESTOCOLMO

MARULANDA, A., GUTIERREZ, R. Y VALLEJO, H. 1990. Selection of equipments for Hydrofracturing test in permeable rocks. Mechanics of Jointed and Faulted rock. Tech. University of Vienna. Austria.

FE DE ERRATAS PARTE 1: Conceptos de F. Hidráulico para diseño de Túneles a presión.

-Figura 2 y último párrafo Pág. 24. Léase "To = Pf-Pr".

-Segunda columna pág. 23, último párrafo. Léase "ejecución de ensayos de sobreperforación".

SISTEMAS DE EXCAVACION PANTALLAS

POR : AUGUSTO ESPINOSA SILVA

I.C. UNIVERSIDAD NACIONAL, M.S. UNIVERSITY OF ILLINOIS, PROFESOR DE TIEMPO PARCIAL UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, INGENIERO CONSULTOR SOCIO DE AREAS LTDA.

ARMANDO PALOMINO INFANTE

UNIVERSIDAD NACIONAL, DIC. IMPERIAL COLLEGE, M.S. UNIVERSITY OF LONDON, POSTGRADO LEHIGH UNIVERSITY, INGENIERO CONSULTOR SOCIO DE PCA LTDA.

E STABILIDAD DE EXCAVACIONES

■ **TALUDES VERTICALES.** Desde Terzaghi se conoce el planteamiento fundamental sobre la estabilidad de excavaciones de medios cohesivos, donde

$$D_c = \frac{c N_s}{\gamma} \quad \dots(9)$$

Donde:

D_c = profundidad crítica de un talud vertical en arcilla

c = cohesión

γ = peso unitario

N_s = factor de estabilidad

Para Terzaghi⁽¹⁷⁾ este factor de estabilidad puede aproximarse a 4. Siguiendo rigurosamente a Taylor⁽¹⁸⁾ puede decirse que este factor es de 3.85 para suelos puramente cohesivos.

Esto, sin embargo, no es rigurosamente cierto en el largo plazo cuando el material arcilloso se drena y permite que su comportamiento sea

puramente friccional, caso en el que el tratamiento de esfuerzos totales, como artificio de cálculo, deja de ser aplicable.

Por otra parte, la experiencia indica que el material no solo se drena sino también se deseca formando (o acentuando) un patrón de agrietamiento en bloques, a partir del cual la idealización de una masa cohesiva tampoco es cierta.

En este caso, el suelo se comporta como compuesto por una agrupación de grandes masas de bajo ángulo de fricción y cierta deformación intrínseca bajo carga, cuyo análisis puede ser muy simple o muy complejo dependiendo desde donde se acometa.

■ **INFLUENCIA DEL APUNTALAMIENTO.** De la inestabilidad de tales cortes surge la necesidad de colocar algún tipo de soporte interior o apuntalamiento.

Constreñida la falla potencial como talud, la excavación puede acometerse a mayor profundidad, con sujeción a la resistencia del suelo.

En este caso, hasta que la sobrecarga lateral no sea excesiva para el suelo colocado en el fondo.

Sobreviene entonces una falla invertida de capacidad portante, don-

de los factores que intervienen son los mismos definidos para este tipo de sollicitación por Prandtl y Reissner y luego transformados por el propio Terzaghi.

No es de extrañar entonces, que Bjerrum y Eide⁽¹⁹⁾ en su trabajo clásico de 1956 hayan tomado los valores dados por Skempton⁽²⁰⁾ poco antes, en 1951, para capacidad portante en condiciones $\phi = 0$.

De acuerdo con esta formulación:

$$D_c = \frac{S_u N_c - q_s}{\gamma} \quad \dots(10)$$

Donde:

N_c = Factor de capacidad portante dado en la Figura 4

S_u = Resistencia no drenada al esfuerzo cortante

q_s = sobrecarga lateral expresada en las mismas unidades que S_u .

En estas condiciones, el factor de seguridad de la excavación estaría dado por:

$$FS_{exc} = \frac{D_c}{D} \quad \dots(11)$$

Donde:

D = profundidad real de excavación, tal que $D < D_c$

■ **FALLA DE FONDO.** Para grandes profundidades relativas de excavación, es concebible pensar en una falla de capacidad portante que se manifiesta en un solevantamiento intolerable del fondo de la misma excavación (Bottom Heave).

Para evaluar su ocurrencia es preciso utilizar la resistencia no drenada en la base del corte. La formulación debería escribirse así:

$$H = \frac{S_{ub} N_c}{\gamma} \quad \dots(12)$$

Donde

H = altura de la excavación

S_{ub} = Resistencia no drenada del nivel de la base del corte.

N_c = Factores de capacidad portante dados en la Figura 4.

γ = peso unitario

Ahora bien, dado el carácter estratificado de la mayoría de los suelos, para problemas prácticos debe pensarse como una sumatoria de las capas así:

$$N_s = \frac{\sum (\gamma_i H_i)}{S_{ub}} \quad \dots(13)$$

Debe observarse que N_s es una medida relativa de la altura del talud, mientras N_c su límite superior, de acuerdo con la teoría.

La experiencia ha demostrado (Peck et. al⁽⁶⁾) que los materiales inician su plastificación alrededor de los puntos de cambio de pendiente de la excavación, donde se presentan concentraciones notables de esfuerzos cuando N_s pasa de 3; esta plastificación se hace notoria cuando se llega a 4.

Para valores de N_s inferiores a 6 se comprueba que los movimientos, tanto del sistema de apuntalamiento como del fondo de la excavación, son manejables.

Para valores de N_s cercanos a 8, los movimientos se hacen intolerables.

Si se pasa de 8 el movimiento es excesivo y puede decirse que sobreviene la falla de fondo.

Ver, a este respecto, todos las informaciones que contienen los comentarios expresados en relación con

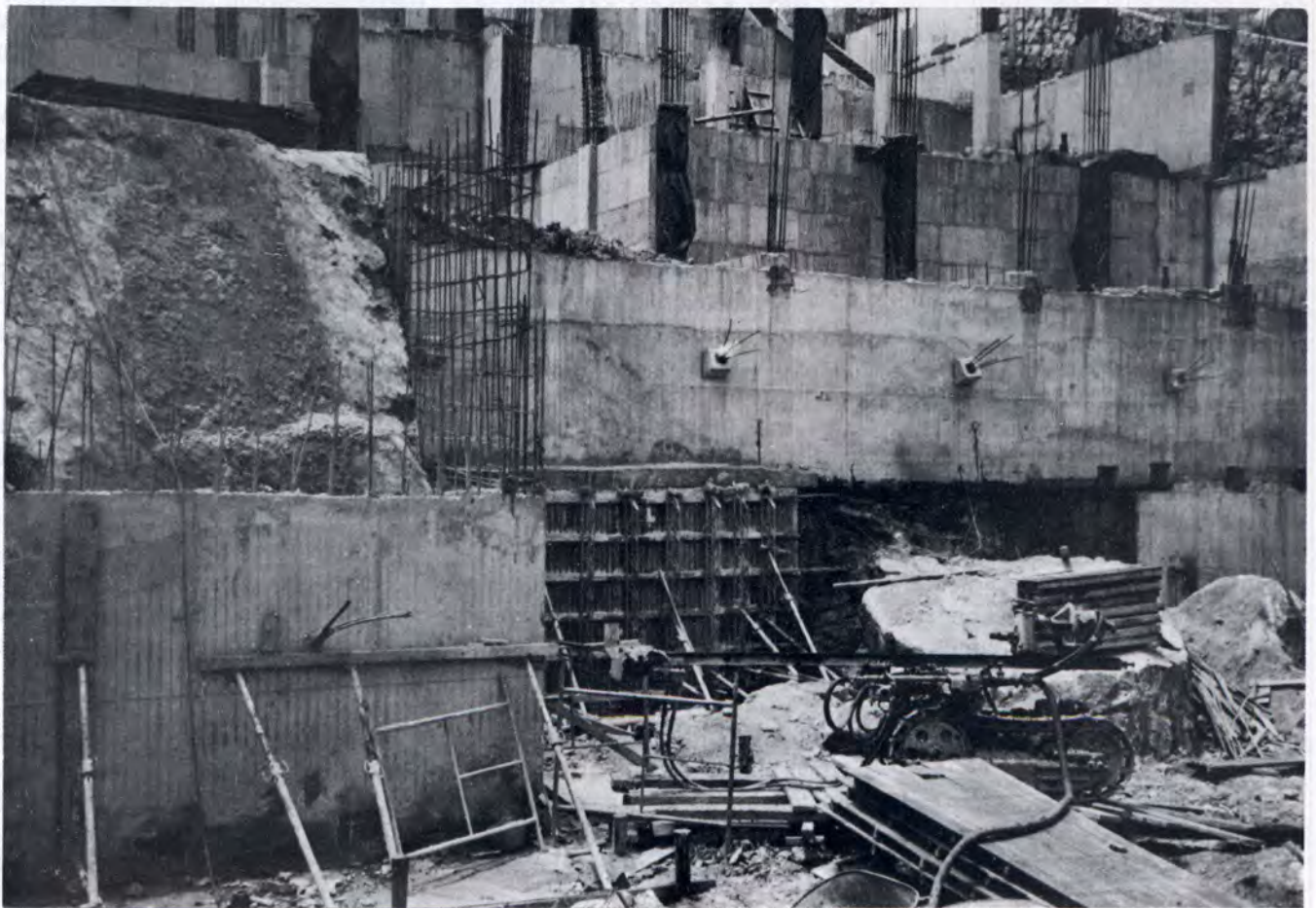
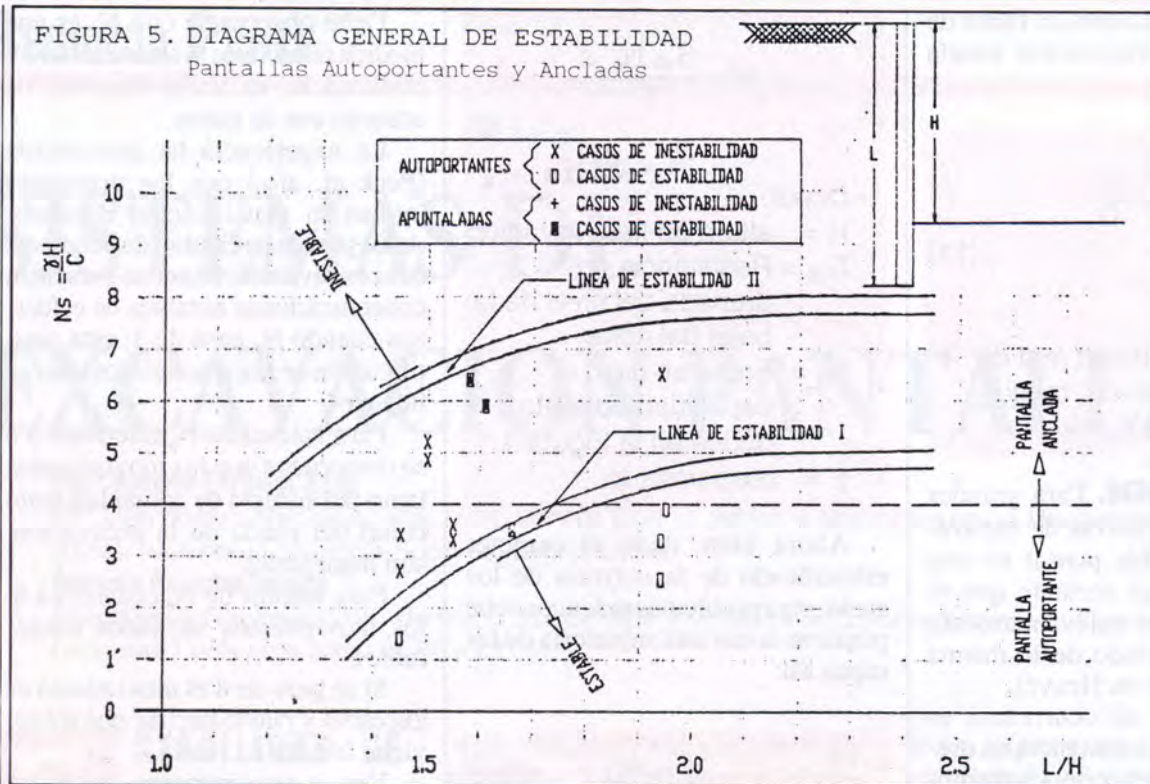


FIGURA 5. DIAGRAMA GENERAL DE ESTABILIDAD
Pantallas Autoportantes y Ancladas



Condición fundamental para el planteamiento de esta solución es la distancia entre apoyos que garantice la estabilidad del suelo en tanto se construye el apoyo definitivo.

Una variedad de este sistema puede ser el de apoyos verticales, columnas o caissons encargados de proveer el sostenimiento de los suelos y apoyo para la

los efectos colaterales en el capítulo dedicado a presión de tierra.

LA PANTALLA PRE-ESFORZADA

Las consideraciones propias de este capítulo están circunscritas al diseño y la construcción de pantallas en concreto reforzado, en cualquiera de sus variedades.

El tipo de pantalla que se escoja finalmente para cada caso, estará dictado por el uso que se le vaya a dar a la estructura. En esta consideración tiene especial peso el hecho de la permanencia o no de la estructura, o el concepto opuesto, su temporalidad. Si la estructura es concebida sólo para permitir la construcción, y será luego reemplazada por otra de carácter permanente, tendrá que responder a unos determinantes de cálculo diferentes a los que tendría si fuera construida desde un principio para actuar durante toda la vida útil de la obra(9, 10, 11 y 12)

El dimensionamiento, tanto de la pantalla como de sus puntos de apoyo, se basará en un proceso de ensayo y error que parte de la calidad

de los materiales que se van a contener(13, 14 y 15).

Teóricamente, al menos, debe proveerse un apoyo a distancias no mayores que:

$$z = \frac{2c}{\gamma} \sqrt{N_c} = \frac{2c}{\gamma} \tan \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \dots(14)$$

Este planteamiento es válido también para la distancia vertical entre el borde superior del corte y la primera fila de apoyos.

Otra consideración fundamental que deberá hacerse en el proceso de diseño es el de la presencia de agua subterránea y las provisiones para su manejo durante la construcción.

No debe soslayarse el hecho de que la presión del agua es superior a la presión de tierras, cualquiera que sea la formulación que se utilice.

■ ESTRUCTURAS ABIERTAS. Se han construido con éxito estructuras de contención formadas por mallas de vigas y columnas en cuyas intersecciones se instalan los pernos de anclaje.

instalación de los pernos.

■ PANELES CONSTRUIDOS IN-SITU.

Este sistema ha sido ampliamente utilizado en Colombia(16) Se basa en la construcción progresiva de paneles cuadrados o rectangulares, que se van colocando in-situ en la medida en que avanza la construcción, preferiblemente en franjas horizontales. El tamaño de los paneles es dado por la resistencia del suelo que garantice su estabilidad por el tiempo necesario para adelantar la labor en cada tramo (Stand-up time).

Normalmente se colocan pasadores de refuerzo entre páneces para lograr continuidad. Es un muro que puede hacerse muy delgado, dejando protuberancias en las zonas de influencia de los pernos donde los esfuerzos cortantes y de punzonamiento son mayores. La aparición súbita de venas de agua subterránea puede hacer fracasar el sistema.

■ CONCRETO LANZADO O PROYECTADO.

Es un sistema muy recursivo cuando el acabado final no es una condición definitiva del diseño. Presupone alta calidad del material por soportar.

El sistema conocido como nailing se basa en la facilidad para extender una malla de refuerzo en un talud y proyectar concreto sobre ella.

Puede usarse en combinación con alguno de los anteriores, con pernos activos o pasivos.

PANTALLAS PRE-EXCAVADAS

Este sistema, conocido como *slurry-wall* en los Estados Unidos, se ha convertido en cotidiano en el medio profesional en la medida en que diversos contratistas han adquirido la tecnología y la experiencia necesarias para su utilización⁽²¹⁾

Tiene excelente aplicación en suelos blandos como el de la Sabana de Bogotá, cuyas características excepcionales hacen que sean también excepcionales los métodos constructivos que deban emplearse.

La peculiaridad más relevante de este sistema es que la estructura de contención puede completarse en su totalidad antes aún de realizarse la excavación.

Otra peculiaridad es que la pantalla puede prolongarse por debajo del nivel de excavación para aprovechar así la resistencia pasiva del suelo de base, para sostener en parte los esfuerzos movilizados al excavar. La así llamada pantalla autoportante, ha presentado fallas espectaculares. La razón de este comportamiento anómalo es el hecho de que aunque, en teoría la pantalla se sostenga sola por un juego entre acciones pasivas, esto no quiere decir que su movimiento no sea considerable y produzca el remoldeo del suelo que desencadena el volcamiento del muro.

■ **DIAGRAMA DE ESTABILIDAD.** La frecuencia con la que se ha presen-

tado un comportamiento anómalo, o en ocasiones errático, de las pantallas embebidas en suelos arcillosos, ha hecho dudar de la calidad de autoportantes de estas estructuras, en unos casos, y evitar su utilización apuntalada, en otros.

Para dilucidar el hecho, se ha preparado el diagrama de estabilidad contenido en la Figura 5. Se expresa, de acuerdo con cuanto se ha verificado en el presente trabajo y la experiencia de sus autores, la estabilidad de las pantallas en términos de N_s y del empotramiento dado como L/H (donde L es la longitud total de la pantalla y H es la altura libre de la excavación).

Se ha dibujado, a manera de referencia general, la línea teórica de Terzaghi en $N_s = 4$, la cual marcaría la estabilidad general en cortes verticales en arcilla. Se proponen dos líneas de estabilidad: la inferior, Línea I para pantallas auto-portantes, (autoestables, dicen algunos), con una serie de puntos de casos reales con fallas por encima y casos con comportamiento satisfactorio por debajo. Se postula, entonces, una zona de estabilidad para las pantallas auto-portantes, para las condiciones bajo dicha línea; en la región superior, se presentaría inestabilidad y sería necesario recurrir a algún tipo

de apuntalamiento.

La Línea de estabilidad II, por su parte, señala el límite superior de utilización para pantallas apuntaladas o ancladas.

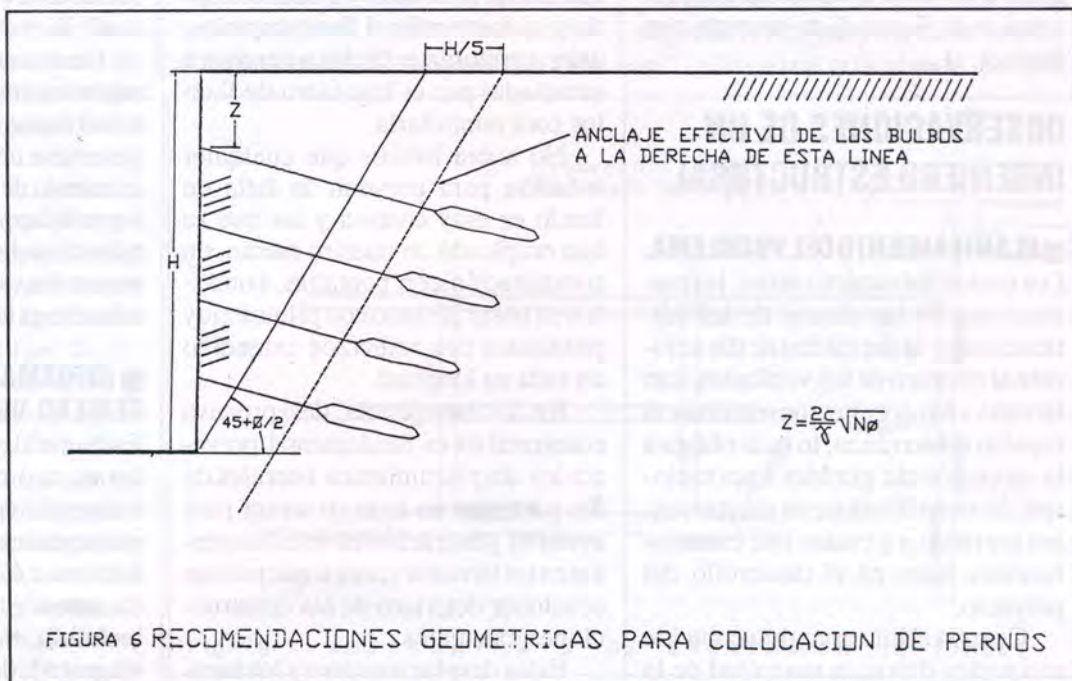
Quiere esto decir, que por debajo de dicha línea se logra una condición de estabilidad para este tipo de pantallas. Por sobre la Línea II se presenta una doble condición de falla de talud para valores bajos de L/H y de falla de fondo para valores altos de dicho parámetro.

No se pretende que la Figura 5 cumpla los propósitos de diseño o que llegue a reemplazar el análisis juicioso por medio de cualquiera de los métodos presentados en la literatura. Su propósito es recoger el estado del arte en la materia y servir de llamado de atención a los constructores y de verificación de sus cálculos a los diseñadores.

■ ESQUEMA DE ATIRANTAMIENTO.

Cuando la pantalla debe sostenerse por agentes externos a ella misma, pueden utilizarse puntales de madera o acero, más o menos provisionales o improvisados según sea la emergencia de su uso.

En los casos donde la importancia del trabajo, ya sea por sus proporciones o porque las construcciones aledañas así lo aconsejan, se





profundidad de la excavación no ofrece riesgos de una falla de fondo y la construcción puede realizarse utilizando un muro pantalla bien sea anclado o arriostrado interiormente.

Cuando la suerte anterior no se presenta y el suelo es blando, la solución de los problemas que puede generar la excavación, exige el mayor cuidado de parte del Ingeniero de Suelos, del Ingeniero Estructural y del Constructor, incrementándose las precauciones con la profundidad de la excavación, según se ha expresado en los párrafos precedentes.

La utilización de las pantallas se convierte así en una de las alternativas para disminuir los riesgos de daños en las construcciones vecinas y para

facilitar la ejecución de la excavación.

El Ingeniero Estructural, en el caso de suelos blandos, debe enterarse de si la profundidad de la excavación está cerca de la profundidad crítica que puede producir una falla de fondo y si fuera así o si fuera superior, debe cerciorarse de las soluciones estudiadas por el Ingeniero de Suelos para controlarla.

No sobra insistir que cualquier solución para prevenir la falla de fondo es muy costosa y las que se han empleado en nuestro medio, en combinación con pantallas, consisten en coser el suelo con pilotes muy profundos con refuerzos extendido en toda su longitud.

En la escogencia del proceso constructivo es fundamental prevenir los desplazamientos laterales de las pantallas en toda su altura para evitar la generación de asentamientos en los terrenos vecinos que puedan ocasionar deterioro de las construcciones existentes.

Estos desplazamientos y los asen-

tamientos que se generan comienzan a causar daños cuando los diferenciales sobrepasan $1/300$ de las luces entre columnas.

Además las tuberías de servicios que corren por debajo de la vía colindante pueden afectarse causando graves problemas.

Sobre este tipo de asentamientos vale la pena observar que por su ocurrencia casi inmediata, causan más daño que los que se presentan en las edificaciones con el transcurso del tiempo, para los cuales se permite un acomodamiento lento tanto de la estructura como de los acabados.

Además del control de movimientos de la pantalla debe cuidarse la expansión del suelo del fondo de la excavación, pues éste también repercute en mayores asentamientos en los terrenos vecinos.

La velocidad con que se devuelve la carga al suelo, acelerando la construcción, disminuirá la magnitud del problema.

Según Peck⁽³⁾ el volumen del terreno desplazado en el movimiento lateral más el volumen del rebote o expansión del fondo es igual al volumen de los asentamientos, como ya se había recordado.

El otro elemento generador de asentamientos es el descenso del nivel freático que se presenta con la extracción de agua durante el proceso de la excavación.

Finalmente en las cimentaciones superficiales vecinas, localizadas sobre el borde de la excavación, puede generarse un asentamiento por el incremento de presiones sobre los suelos subyacentes, causado por la disminución del área sobre la que se reparten los esfuerzos, ocurrida al eliminarse el terreno de la excavación.

INFORMACION RECIBIDA DEL INGENIERO DE SUELOS. El Ingeniero Estructural recibe un Estudio de Suelos el cual contiene los perfiles estratigráficos de varios sondeos, las propiedades de los materiales, nivel freático, cálculos varios y recomendaciones de la cimentación, las cuales incluirán el uso de pantallas si la magnitud de la excavación lo re-

programa desde un principio la utilización de pernos o tirantes.

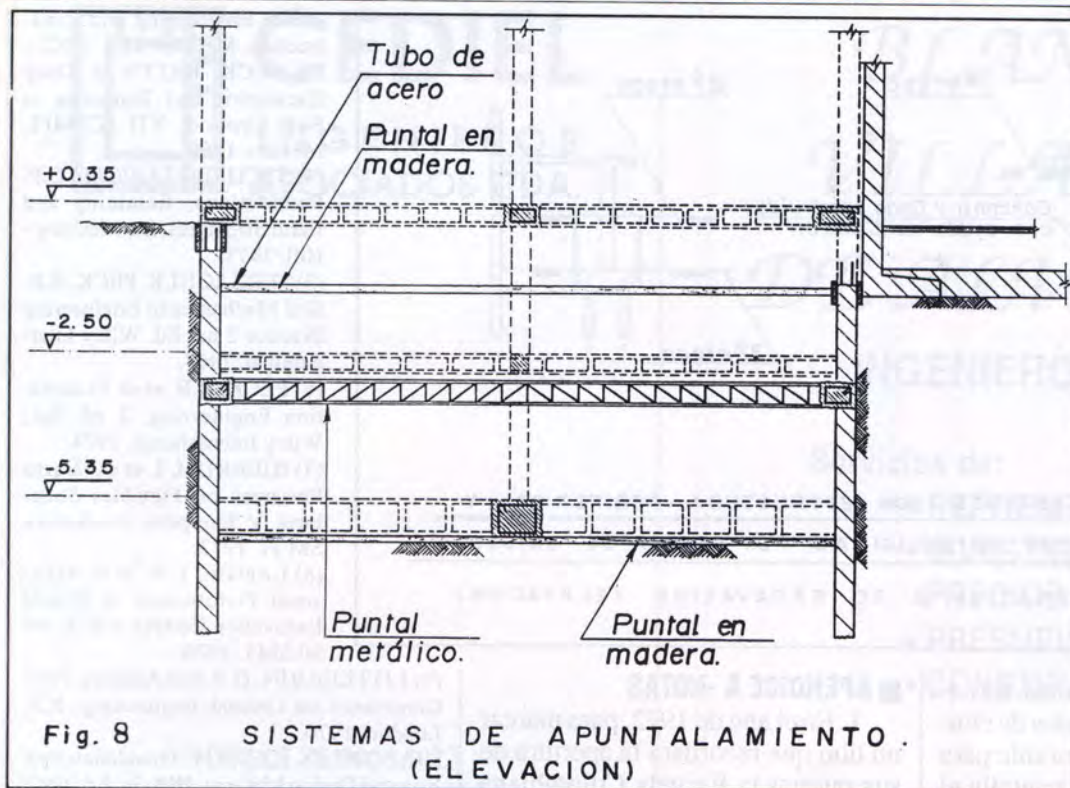
Los detalles de diseño y construcción están fuera de los alcances del presente trabajo. No así las recomendaciones sobre el esquema general de sostenimiento, que se presenta en la Figura 6 de acuerdo con Peck et. al.⁽⁶⁾.

OBSERVACIONES DE UN INGENIERO ESTRUCTURAL

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Los costos del espacio aéreo, las restricciones en las alturas de las edificaciones y la necesidad de dar solución al parqueo de los vehículos, han llevado a los arquitectos a utilizar el espacio subterráneo, lo cual obliga a la ejecución de grandes excavaciones, desconociéndose en muchos casos los riesgos y costos que estas soluciones traen en el desarrollo del proyecto.

Cuando el lote escogido coincide con suelos duros, la magnitud de la



pas de excavación.

En el diseño de las vigas fundidas contra la pantalla, cuando éstas se utilizan, debe mejorarse su rigidez en el plano horizontal aumentando su ancho, con el fin de garantizar mínimas deflexiones horizontales entre los puntos de apoyo. No debe descartarse la posibilidad de usar el postensiamiento cuando las luces lo requieran, teniendo en cuenta además las ventajas que este sistema introduce con la contraflecha hacia el terreno vecino, disminuyendo

quiere. Si este fuera el caso, las recomendaciones incluirán un proceso constructivo para el cual vienen establecidos los diagramas de presiones sobre las pantallas, para las diferentes situaciones que se presentan durante el proceso de la excavación y para la situación definitiva.

■ APORTES ESTRUCTURALES. Con la información anterior y la permanente asesoría del Ingeniero de Suelos, se inicia el estudio estructural de la cimentación, el cual incluye el diseño de la pantalla. El Ingeniero Estructural teniendo en cuenta el tamaño, la profundidad de la excavación y demás recomendaciones del estudio de suelos, deberá complementar el proceso constructivo propuesto por el Ingeniero de suelos aportando soluciones estructurales que faciliten la ejecución de la excavación y que garanticen los mínimos desplazamientos laterales de las pantallas.

En todos los casos, los sistemas deben tener en cuenta que las pantallas preexcavadas tienen que ser fundidas por tramos y por lo tanto sin continuidad en el esfuerzo horizontal. Su trabajo debe desarrollarse en la dirección vertical con apoyos li-

neales en diferentes niveles, que por general se hacen coincidir con los niveles de la estructura definitiva.

En muchas situaciones, ver Figura 9, durante el proceso de la excavación, los apoyos lineales con vigas en concreto que se funden a medida que baja la excavación y que se apoyan sobre puntales temporales o definitivos como postes de madera, vigas de acero o concreto, los cuales se colocan suficientemente espaciados para facilitar las siguientes eta-

así los desplazamientos laterales de la pantalla, y por ende minimizando una de las causas de asentamientos en los vecinos.

Para diseñar los apoyos o puntales temporales debe tenerse en cuenta en su diseño su trabajo o flexo-compresión y por lo tanto debe dar la importancia necesaria a su relación de esbeltez. En cada caso debe comprobarse no sólo su seguridad para soportar las cargas y momentos, sino su rigidez axial procurando que sus

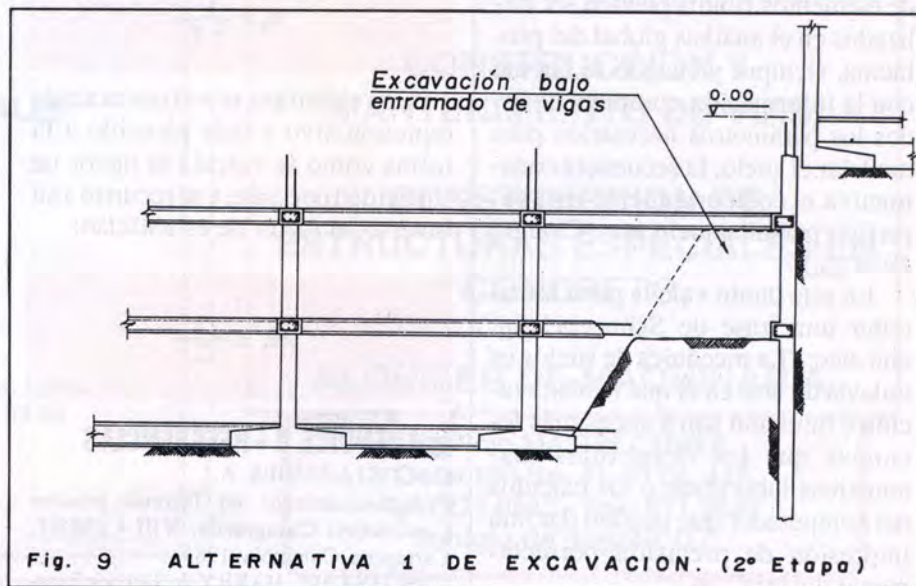
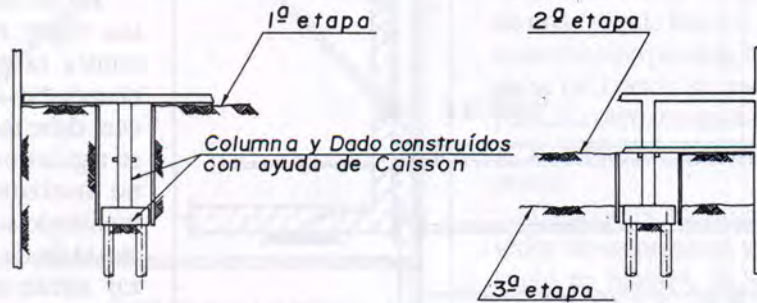


Fig. 9 ALTERNATIVA 1 DE EXCAVACION. (2ª Etapa)



**APUNTALAMIENTO CON ESTRUCTURA PERIFERICA Y
CONSTRUCCION DE COLUMNAS POR MEDIO DE CAISSONS**

Fig. 10 ALTERNATIVA 2 DE EXCAVACION (ELEVACION)

deformaciones sean mínimas. En caso de puntales prefabricados de concreto o acero, resulta favorable para el comportamiento de la pantalla el poder precargar estos elementos mediante el uso de algún sistema de gatos. Como se mencionó en el informe de suelos establece los diagramas de empujes de tierras con los cuales debe adelantarse el diseño de las pantallas y sus elementos de apoyo.

Los diagramas normalmente empleados, son el fruto del análisis de la información obtenida durante la ejecución de muchas obras y el resultado de métodos semiempíricos. Con ciertas limitaciones, los programas de elementos finitos pueden ser utilizados en el análisis global del problema, siempre y cuando se cuente con la información completa de todos los parámetros necesarios para modelar el suelo, la secuencia constructiva, el comportamiento en la superficie pantalla-suelo, etc. (Clough, 1974 (23)).

En este punto vale la pena transcribir una frase de Schneebeli(11), que dice: "La mecánica de suelos es todavía un arte en el que la observación e intuición son a veces más fecundas que los desarrollos matemáticos laboriosos o los cálculos del computador que pueden dar una impresión de precisión perfectamente ilusoria". ■

■ APENDICE A - NOTAS

1. En el año de 1972, para marcar un hito que recordara la apertura de sus puertas, la Escuela Colombiana de Ingeniería organizó el Simposio sobre Edificio en Altura, que en su momento congregó a los más destacados representantes de la Ingeniería colombiana.

2. Históricamente, los investigadores, para definir con un número adimensional el tamaño relativo de un talud y el uso de su resistencia intrínseca, definieron el número de estabilidad, así:

$$n_s = \frac{C}{\gamma Z}$$

Con el tiempo, se vió que era más representativo y más parecido a la forma como se calcula el factor de capacidad portante, y se recurrió a su inverso, el factor de estabilidad:

$$N_s = \frac{\gamma Z}{C}$$

■ APENDICE B - REFERENCIAS

- (1) COSTA NUNES, A.J. Pretensionamiento del Terreno. primera Conferencia Casagrande, VIII CPMSIF, Cartagena, Colombia. 1987.
- (2) SCHNABEL, HARRY, Jr. Tieback Foun-

ation Engineering and Construction. McGraw-Hill. 1982.

(3) PECK, RALPH B. Deep Excavation and Tunneling in Soft Ground, VII ICSMFI, México. 1969.

(4) TSCHEBOTARIOFF, G.P. Foundations, Retaining and Earth Structures, Ed. McGraw-Hill. 1973.

(5) TERZAGHI, K. PECK, R.B. Soil Mechanics in Engineering Practice 2 nd. Ed. Wiley International. 1967.

(6) PECK, R.B. et al. Foundation Engineering, 2 nd. Ed., Wiley International. 1974.

(7) BJERRUM, L. et al. Earth Pressures on Flexible Structures V European Conference SM FI. 1972.

(8) LAMBE, T.W. et al. Measured Performance of Braced Excavation JSMFD, ASCE, vol 90 SM3. 1970.

(9) LITTLEJOHN, G.S. Soil Anchors, Proc. Conference on Ground Engineering, ICE, London. 1970.

(10) BOWLES, JOSEPH E. Foundation Analysis and Design McGraw Hill. 3a. Ed. 1982.

(11) SCHNEEBELI, GEORGES Muros Pantalla. Editores Técnicos Asociados, S.A., Barcelona. 1974.

(12) RICO, A. DEL CASTILLO, H. La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres. Limusa Wiley. 1974.

(13) ATTEWELL, P.B. Y FARMER I.W Principales de Engineering Geology Wiley International.

(14) OOSTERBAN, M.D Y GIFFORD, D.G A Case Study of the Bauer Earth Anchor, 5th PSC. ASCE. 1972.

(15) POULOS, H.H. & DAVIS, E.H. Pile Foundation Analysis and Design, Wiley International. 1980.

(16) MOYA, Julio El Subsuelo de Bogotá y los problemas de Cimentaciones VIII CPM-SIF, Cartagena, 1987.

(17) TERZAGHI, KARL Theoretical Soil Mechanics John Wiley & Sons Inc. 1943.

(18) TAYLOR, D.W. Fundamentals of Soil Mechanics John Wiley & Sons Inc. 1948.

(19) BJERRUM, L. Y EIDE, O Stability of Structed Excavations in Clay. Geotechnique, Vol. 6 No. 1 1956.

(20) SKEMPTON, A.W. The Bearing Capacity of Clays Proc. Bdg. Re. Congress. 1951.

(21) XANTHAKOS, PETROS P. Slurry Walls. Mc Graw - Hill Book Company. 1979.

(22) ESPINOSA, AUGUSTO Análisis Económico de los Tipos de Cimentación en el Ambito de Bogotá V Jornadas Geotécnicas SCI. 1988.

(23) CLOUGH, G.W. y TSUI, y Performance of Tied - Back Walls in Clay JGED, Vol. 100 GT 12. 1974.

La Geometría del Futuro

POR : ING. ALFONSO MELÉNDEZ

DIRECTOR DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA E.C.I.

La geometría tradicional (euclidiana) que se enseña en colegios y universidades, le da una importancia primordial a las figuras rectilíneas:

polígonos y curvas "regulares" (círculos, parábolas, elipses, etc.). Galileo Galilei, en su libro "Diálogo sobre dos nuevas ciencias" (1632), habla de la importancia de estas figuras geométricas sin las cuales es imposible comprender el universo:

"Filosofía (naturaleza) ante nuestros ojos, quiero decir el universo, no la podemos entender si no aprendemos primero el lenguaje y asimilamos los símbolos con los cuales está escrito.

Este libro está escrito en lenguaje matemático, sus símbolos son triángulos, círculos y otras figuras geométricas sin cuya ayuda es imposible comprender siquiera una sola palabra; sin este lenguaje se deambula en vano a través de un oscuro laberinto"

Sin embargo, es posible que la naturaleza no esté diseñada en moldes tan regulares y perfectos. El emprender una revolución contra este tipo de visión de la naturaleza tomó más de cuatro siglos. El precursor de esta nueva visión ha sido B. Mandelbrot, matemático polaco, quien en su libro *The Fractal Geometry of Nature* dice: "¿Por qué la geometría es descrita tan fría y secamente? Una razón es su inhabilidad para describir la forma de una nube, o una línea costera, o un árbol. Las nubes no son esferas, las montañas no son conos, las líneas

costeras no son círculos ni la luz viaja en línea recta. La naturaleza no solo exhibe un alto grado de complejidad sino también diferentes niveles. El número de distintas escalas de longitud de sus modelos es para todos sus propósitos infinito. La existencia de éstos modelos nos reta a estudiar aquellas formas que Euclides dejaba sin forma, nos reta a investigar la morfología de lo amorfo. Los matemáticos habían despreciado este reto; aunque hayan desarrollado teorías que nacen de la naturaleza, estas no están relacionadas con nada que podamos ver o sentir".

Esta nueva geometría, sin embargo, es poco conocida por fuera del ámbito de los laboratorios científicos y de las aulas universitarias. Mandelbrot describe así el origen de esta nueva ciencia: "Las matemáticas clásicas estaban enraizadas en las estructuras geométricas regulares de Euclides y las ecuaciones dinámicas continuas de Newton. Las matemáticas modernas se iniciaron con la teoría de conjuntos de Cantor y la curva de Peano que llena el plano. Históricamente esta revolución la provocó el descubrimiento de estructuras que no se adaptan a los moldes de Euclides y de Newton. Los matemáticos de la época consideraron estas nuevas estructuras como "patológicas" como "monstruos" emparentados con la pintura cubista y la música atonal que por entonces, subvertían los cánones del gusto artístico. Las matemáticas que crearon esos monstruos los consideraban impor-

tantes porque demostraban que el mundo de las matemáticas puras incluye una riqueza de posibilidades que supera en mucho las estructuras simples visibles en la naturaleza".

Algunos de los "monstruos" que desde Mandelbrot tomaron vida, pueden admirarse en la figura de esta página. Estos llamados "monstruos", como las curvas de Peano (que hacia 1900 servían para llenar un cuadro o un triángulo), han sido retomados en años recientes y se ha comprobado que representan retículos de plantas, redes fluviales y cortes cerebrales. En 1967 Mandelbrot llegó a la conclusión que para representar la irregularidad de las costas marítimas era necesaria una forma, tomada al azar, de la monstruosa curva en "cristal de nieve" creada por Helge von Kochen en 1904. Antes, a nadie se le había ocurrido bautizar estos "monstruos" por considerarlos sin importancia, hasta que Mandelbrot, por sus trabajos, se vio obligado a hacerlo; él les dio el término de fractales y la siguiente definición: "Fractal, adj. Sentido intuitivo. Que posee una forma sumamente irregular, o bien, sumamente interrumpida o fragmentada, sea cual fuere la escala a que se somete a examen".

Los fractales tienen que entenderse como dos aspectos aparentemente contradictorios de las formas naturales (infinita complejidad y unidad de diseño) por el principio de invariancia bajo cambios en magnificación. La imagen fractal parece similar, en esencia; a cualquier nivel

de magnificación. La profunda complejidad y la unidad esencial de las formas naturales están bien encajonadas en este principio. Los fractales constituyen, en la actualidad, la primera herramienta práctica para generar convincentes falsificaciones de formas naturales.

La geometría fractal no solamente permite describir de una manera simple (en términos de una unidad de diseño y de invarianza bajo magnificación) estructuras naturales muy complejas, sino que también sugiere el hecho de que la formación a través del tiempo de estas estructuras naturales, ya sean nubes, montañas, costas, árboles, sigue reglas simples análogas a las que permiten la generación de figuras fractales. Dicho en otras palabras, la asombrosa similitud entre los fractales y ciertas estructuras naturales permite conjeturar que en la evolución misma de la naturaleza interviene algún principio de diseño que opera en varios niveles

como ocurre en los fractales. En este sentido se puede afirmar que la geometría fractal constituye un paso importante en la búsqueda de la ciencia por llegar a comprender la complejidad de la naturaleza a partir de conceptos y leyes simples y expresables en términos matemáticos.

La geometría fractal en los últimos años ha alcanzado gran florecimiento y ha logrado conectar las matemáticas puras con las ciencias naturales y la computación. Se ha constituido en un instrumento básico para la mayoría de las ciencias naturales; física, química, biología, geología, meteorología y otras ciencias de importancia. Los fractales son también de gran interés para los diseñadores gráficos y los productores de cine por su habilidad para crear nuevas y excitantes figuras y/o mundos artificiales pero reales. Otro campo de aplicación, no menos importante, de los fractales es el arte: pintura, escultura, música. La

geometría fractal, como vemos, rápidamente se está desplazando de una disciplina especializada a una herramienta y a un lenguaje común y necesario en muchos campos.

El pintor Alejandro Obregón, recientemente fallecido era uno de los seguidores del Fractalismo en Pintura, el crítico francés Pierre Restany su íntimo amigo dice: "El pintor de los cóndores y barracudas intenta una primera vez la imagen "fractal" de su bestiario en 1966 con "Los huesos de mis bestias", "...A través del arte y la vida Alejandro Obregón siempre ha buscado la solución que lo libere de la angustia de parecerse a los demás.

El pensamiento fractal le brinda hoy una certidumbre que él presentía; la solución consiste en sólo parecerse a si mismo". Con esta observación de Restany queda claro que los fractales ya hacen parte de nuestra cultura, de nuestra gente, nuestra vida cotidiana. ■



**Diseño y construcción
Obras civiles
Estructuras metálicas
Instalaciones hidráulicas
sanitarias y eléctricas
Piscinas**

Dirección:
Cra. 41 No. 77-10
Santafé de Bogotá

Teléfonos:
240 0747
225 0959

Fax:
225 0959
A. Aéreo: 94335

Visión General de los Sistemas de Información Geográfica

POR : ALVARO GONZÁLEZ FLETCHER

MIEMBRO DEL CONSEJO DIRECTIVO E.C.I. EXDIRECTOR DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI.

La figura 1 presenta una visión ordenada de diversos sistemas de información. Ella muestra en un orden jerárquico los sistemas de información espacial, los sistemas de información geográfica y los sistemas de información de la tierra. En la tabla I se encuentran descritos y señalados los diversos tipos de sistemas.

Los sistemas de información son herramientas de propósitos general para manejo y análisis de datos con la ayuda de computador. Los sistemas de información espacial (SIE) incluyen alguna clase de identificadores espaciales en dos o tres a dimensiones. Los sistemas de información geográfica (SIG) son SIE específicos, los cuales operan en el dominio de la superficie terrestre. Los sistemas de información de tierras (SIT) son aun más específicos que los SIG ya que ellos se concentran en el manejo de objetos relacionados más particularmente con la tierra.

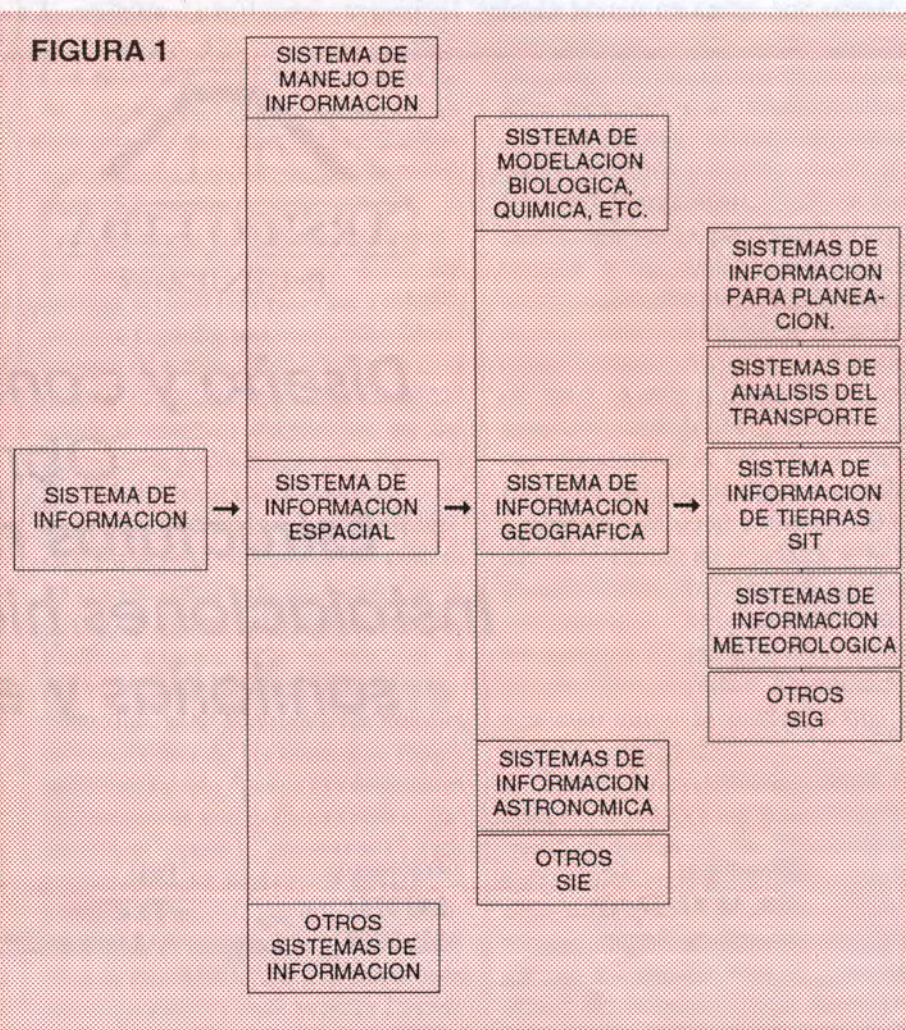
En nuestro concepto los SIT son SIG con características y áreas especiales de aplicación. Por definición ellos están constituidos por un número de elementos estructurales y espaciales, compartidos por estas dos clases de sistemas. El desarrollo y puesta en marcha de herramientas eficientes para la manipulación y el análisis de datos, necesita de la participación de especialista en diversos campos del conocimiento. Los profesionales

en ingeniería o en levantamientos terrestres no son los únicos aptos para desarrollar un SIT, pero su contribución es necesaria como la del profesional en sistemas.

■ **COMPONENTES DE LOS SISTEMAS.** Los SIG son herramientas útiles para dar solución a problemas espa-

ciales. Un ejemplo típico de un SIG es un mapa, el cual permite a los usuarios localizar objetos en el espacio y visualizarlos, percibiendo sus relaciones espaciales. La extracción de información se basa en la disponibilidad de datos, en herramientas tecnológicas, tales como equipos (hardware) y programas (software)

FIGURA 1



y en el profesionalismo de quien usa el SIG. Al diseñar el sistema se hace necesario que el tenga las siguientes características:

- Habilidad para aceptar o recibir datos.
- Habilidad para almacenar datos.
- Habilidad para procesar y analizar datos
- Habilidad para presentar la información.

Todo ello de tal manera que el usuario pueda interpretar los resultados ofrecidos como una ayuda para sus tareas o toma de decisiones. Basado en estos principales requisitos, formalmente consideramos que un SIG esta conformado por un conjunto de subsistemas tales como: subsistema de procesamiento de datos; subsistemas de análisis; subsistemas de manejo de datos y subsistemas para uso de la información.

El subsistema de procesamiento de datos sirve para la preparación de los datos e incluye procesos y estructuras para la adquisición ingreso y almacenamiento de datos.

El subsistema de análisis de datos provee las herramientas para recuperación, análisis y salida de datos e incluye la presentación de mapas o gráficas.

La toma de decisiones significativas, con SIG depende también de una adecuada estructura para manejo de los datos, la cual debe encargarse de los procesos organizacionales así como de la utilización de información por el usuario. Por otra parte se debe considerar el entrenamiento de éste último y el establecimiento de estrategias de uso de la información (subsistema de información).

La instalación técnica de un SIG debe tener en cuenta el suministro de facilidades para el ingreso y almacenamiento de datos en forma de base de datos.

La fuente para suministro de datos puede venir de mapas y documentos existentes, observaciones de campo, encuestas socio económicas, fotointerpretación, sensores remotos y equipos automáticos de levantamientos ambientales.

TABLA 1
VISION GENERAL DE VARIAS CLASES DE SISTEMAS DE INFORMACION

SISTEMAS DE INFORMACION

- Instalación (Equipo, programas, bases de datos) para manejo de datos asistidos por computador.

Ejemplo:

- Sistemas información bancaria(saldos, ingresos, egresos, créditos, etc).
- Sistemas de reservas (vuelos, hoteles, etc.)

SISTEMAS DE INFORMACION ESPACIAL

- Soporte de objetos localizados e identificados en el espacio por medio geométricos y/o topológicos (coordenadas espaciales).
- Estructura de datos para objetos en el espacio (entrada, almacenamiento, salida, análisis y presentación gráfica).

Ejemplos:

- Sistema de modelación química o biológica.

SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

- Manejo de datos espaciales en el dominio geográfico.
- Objetos relacionados con la superficie terrestre.
- Identificación espacial en 2 o 3 dimensiones.
- Presentación de sobrepuestas.
- Formas naturales o construidas por el hombre.
- Codificación explícita o implícita.
- Cambio de escalas.
- Elemento para planeación, monitoreo o administración.

Características

- Numero considerable de objetos.
- Variedad de clases de objetos (puntos, líneas, áreas, volúmenes).
- Objetos complejos.

Ejemplos:

- Sistemas de monitoreo de sucesos .
- Sistemas de información meteorología.
- Sistemas de información sobre uso del suelo.

SISTEMAS DE INFORMACION DE TIERRAS.

- Manejo de datos espaciales en el dominio de la ingeniería, objetos reales de la superficie terrestre captura de datos en alta resolución (escalas grandes o medias).

Características:

- Requisitos de alta consistencia y precisión para presentación, mantenimiento y actualización.
- Presentación en forma vectorial

Ejemplos:

- Sistemas catastrales.
- Sistemas de Información topográfica.
- Sistemas de información de servicios (agua, luz, teléfono, etc.)

La manipulación de datos en un SIG requiere el empleo de sistemas de manejo de base de datos espaciales (SMBDE). El almacenamiento de datos necesita tanto de identificadores espaciales (imágenes como fuente de datos) y no espaciales como atributos descriptivos. Los objetos identificados pueden ser de una a tres dimensiones (puntos, líneas,

áreas volúmenes). La información de las imágenes puede ser archivada por medio de una descripción explícita del objeto (vector) o implícita por malla o "raster".

La estructura de la base de datos o los modelos pueden ser simples (archivos tipo espagueti) o complejos (relaciones topológicas, estructuras jerarquizadas).

Los procesos de transformación de datos pueden ser agrupados en manipulación (cambio de estructuras,) conversión geometría generalización y clasificación, etc. y en análisis de datos (análisis espacial, análisis estadístico, mediciones, etc.).

Las funciones de recuperación de datos deben estar en la base según criterios espaciales o temáticos. La salida de datos debe incluir la producción de mapas y gráficos, informes y tablas.

La tabla 2 da una visión somera de las funciones genéricas de un SIG.

CLASES DE SISTEMAS. Los sistemas de información geográfica cubren un amplio rango de aplicaciones y ellas varían considerablemente en estructura, forma y contenido. las clases de SIG pueden ser clasificadas por varios caminos:

- a. Según el objetivo.
- b. Según las áreas de aplicación y el contenido de la base de datos.
- c. Según la fuente y el tipo de datos.
- d. Según la organización de la base espacial de datos.
- e. Según la estructura organizacional del sistema.

Previamente se han inducido los componentes básicos de un SIG. Los sistemas individuales pueden ser acondicionados para llevar a cabo tareas específicas según la fortaleza de las funciones del sistema.

Por tanto podemos distinguir sistemas en recolección y edición de datos, archivo y salida, sistemas con potencial específico para manipulación y análisis, sistema para llamado de datos e información de encuestas al público y para visualización de datos y mapas.

La clasificación según las áreas de aplicación ha sido ya tocada en la definición de SIG y SIT. Usualmente varios tipos de sistemas por aplicación, se clasifican por el contenido específico de sus datos. Ejemplo: sistemas para control territorial, impuestos y monitoreo de propietarios; mantenimiento y operación de servicios públicos; zonificación del uso del suelo; monitoreo de eventos (incendios, riesgos naturales criminali-

dad, etc.); manejo de recursos naturales (meteorología, vegetación y bosques, vida silvestre, suelos, hidrología), planeación del transporte, censos; manejo de datos económicos y sociales. Los sistemas de información geográfico pueden ser especializados en manejo de tipos específicos de datos tales como datos de levantamiento topográfico, datos de imágenes tomados por equipos de percepción remota, datos obtenidos de mapas temáticos, monitoreo de datos ambientales, datos estadísticos. Los datos pueden ser de vida larga o corta.

Con respecto a la organización

de la base de datos podemos distinguir entre sistemas "raster" o vectoriales o combinados. Si se buscan en características más profundas el sistema puede ser relacional, objeto-orientado, de red jerarquizado, etc.

Una última clasificación se refiere al marco organizacional del sistema. Un pequeño paquete con las funciones básicas puede ser un SIG; por otra parte un enorme paquete con una funcionalidad extendida a varios campos y unos equipos de computación de gran capacidad también puede constituir un SIG. El término SIG es también usado para denominar sistemas Institucionales

PROCESOS GENERALES PARA MANEJO DE DATOS GEOGRAFICOS

1.	Procesos de datos tabulares Adquisición Entrada de datos Actualización manejo de Archivos Manipulación de datos Análisis Estadístico Generación de Informes	1.	Generación de datos cartográficos. restitución. Digitalización y edición. Coordenadas geométricas. Actualización. Empates de líneas y áreas Geo- codificación. Manejo de almacenamiento.
2.	Procesos de Análisis geométricos. Sobrepuestas de polígonos Conversión Vector a celda Celda a vector. Separación de polígonos. Transformaciones Ventanas Filtrado de coordenadas. Análisis Cálculo de longitudes Cálculo de áreas y Perímetros. Adiciones espaciales. Acumulación de distancias.	2.	Análisis de Redes de datos cartográficos. Selección de ruta óptima Simulación de flujos.
3.	Procesos de Encuestas de datos. Encuestas de aspectos espaciales. Encuestas de atributos.	3.	Modelos digitales del terreno. Interpolación espacial. Curvas de nivel. pendientes. Cálculo de puntos de vista. Análisis de cuencas. Cálculo de volúmenes. Secciones transversales Visión tridimensional.
4.	procesos de presentación de datos cartográficos. Generalización. Variación de escalas	4.	Procesos para textos. Manejo de Textos Entrada y edición. Almacenamiento de textos. Salida de textos.
5.	Proceso de datos de imágenes. Manejo de Imágenes Recolección de datos. Almacenamiento de datos de imágenes Recuperación de datos.	5.	Proceso de gráficas de negocios Análisis Presentación Gráficas.
	Cosmética Mapeamento de polígonos Mapeamento de puntos Mapeamento de Líneas mapeamento de Areas Anotación de Textos	6.	Procesos de datos bibliográficos. Recuperación. Catálogos de datos Indices Almacenamiento.

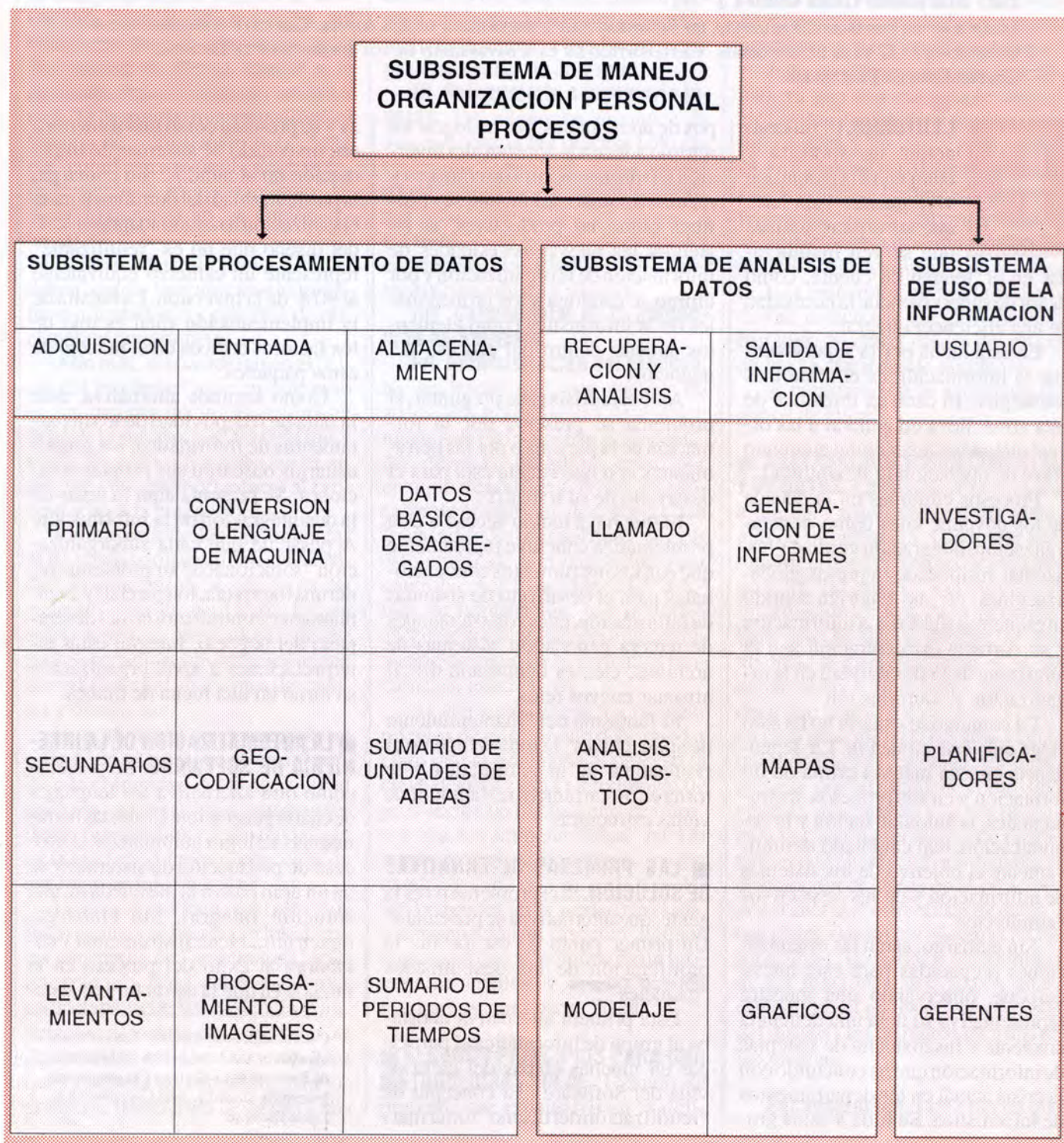
de información, los cuales pueden incluir servicios completos tales como suministros de equipos, paquetes, bases de datos, sistemas para manejo de datos y reporte de mantenimiento de programas y equipos.

■ **FUTURO DE SIG.** La investigación y el desarrollo de los sistemas de información espacial y el manejo de datos ha sido un esfuerzo multidiscipli-

plinario desde la década de 1960. En diversas conferencias, auspiciada algunas por la Unión Geográfica Internacional se ha tratado este tema.

El interés creciente en los SIG ha impulsado y desarrollado la industria de programas y equipos a nivel mundial. Hay una necesidad de entrenamiento de personal tanto para el desarrollo de sistemas, como para la operación y uso de ellos.

La importancia y la necesidad de aplicación de estos sistemas ya se ha reconocido por diversos países y gobiernos y en muchos de ellos se han creado centros para desarrollarlos o se han asignado su desarrollo y puesta en marcha a Instituciones relacionada con estos aspectos. No hay duda pues de un claro y promisorio futuro de la aplicación y uso de los SIG. ■



Un Ambiente Ideal para la Producción de Sistemas de Información

POR : JULIO ANDRÉS TORRES GARCÍA (*)

INGENIERO DE SISTEMAS ESPECIALISTA EN FINANZAS E LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. GERENTE ADMINISTRATIVO Y COMERCIAL EN UNISYS DE COLOMBIA. CATEDRÁTICO EN LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES Y EN LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA.

EL ENTORNO. El proceso actual de apertura y competencia global que vive nuestro país hace que las organizaciones que se ven involucradas en el, tengan en cuenta, como factor de supervivencia, la necesidad de una eficiencia integral.

En esta lucha por la supervivencia, la información es el arma más estratégica. El carácter dinámico de esta arma, lleva en general a las organizaciones a tener como elemento clave de operación la flexibilidad.

Procesos comunes en la década de los noventa, tales como descentralización, integración vertical y horizontal, fusiones de empresas, globalizaciones, etc, no tendrían sentido en esquemas rígidos. La información y su correcta estructuración son el lubricante de la flexibilidad en la organización y coordinación.

La comunidad usuaria no ha sido ciega ante esta situación. La dependencia en esta materia prima de información y en sus procesos instrumentales, la automatización y la comunicación, han cambiado definitivamente el objetivo de los sistemas de información y de sus respectivos "arquitectos".

Sin embargo, están las organizaciones preparadas para este nuevo enfoque, observando una muestra representativa se nota una demanda creciente e insatisfecha de sistemas de información que ha concluido con la crisis actual en los departamentos de informática. Se tilda a estos gru-

pos de no rentables, por no lograr un retorno adecuado ante tan alta inversión en infraestructura de cómputo y recurso humano, así mismo se clasifican como no productivas, al no atender las nuevas necesidades de información de la organización y por último se cataloga a los profesionales de la informática como elementos autistas dentro del proceso del negocio.

Ante esta crisis cabe preguntar, el problema se presenta por la formación de la persona o por las herramientas con que cuenta ésta para el desarrollo de su trabajo?

El que haya tenido acceso a esta problemática concluye rápidamente que con los instrumentos convencionales para el desarrollo de sistemas de información, tales como lenguajes de tercera generación, sistemas de archivos, etc., es demasiado difícil afrontar nuevos retos.

El fantasma del "mantenimiento de aplicaciones" le roba el ingenio al profesional de la informática y lo torna en un carpintero restaurador de viejas estructuras.

■ **LAS PRIMERAS ALTERNATIVAS DE SOLUCION.** Si el problema no es la gente, que alternativas se presentan? Un primer punto de escape fue la proliferación de los denominados "paquetes".

Esta primera alternativa ahorra al grupo de informática el participar en muchas etapas del ciclo de vida del Software. El concepto de "reutilización del diseño" toma fuer-

za y se presenta como una solución a ese inventario de sistemas de información no atendidos. Sin embargo, la particularidad del dominio de cada organización hace que adaptar el 10% del diseño que no es "reutilizable" represente un esfuerzo equivalente al 90% de la inversión. La batalla de la implementación final es uno de los factores críticos en el manejo de estos paquetes.

Como segunda alternativa, ante la falta de receptividad de los departamentos de informática, los grupos usuarios buscaron sus propias soluciones. Se presenta aquí la crisis de la desintegración de la información. A pesar de que cada suborganización "solucionaba" su problema, tenía una interpretación parcial (y eventualmente contradictoria) del desempeño del negocio. Integrar estas interpretaciones a nivel organización se tornó en una lucha de titanes.

■ **LA AUTOMATIZACION DE LA INGENIERIA DE SOFTWARE.** Se presenta como otra alternativa los lenguajes de cuarta generación. Con estas herramientas se logra automatizar el proceso de producción de sistemas y se da un gran paso a la búsqueda de una solución integral. Sin embargo, tienen un carácter instrumental y colaboran al éxito del proceso en la medida en que la estructura de siste-

(*)ESTE ARTICULO FUE ESCRITO CON LA COLABORACION DE LAS ESTUDIANTES DE INGENIERIA DE SISTEMAS DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA MARIA CLAUDIA CASTAÑO Y OLGA LUCIA ESCOBAR.

mas pueda articular correctamente las herramientas.

Y es porque la ingeniería de software tiene un carácter eminentemente humano. La comunicación entre los actores del sistema de información es el factor clave del éxito. Esta característica debe reflejarse en el proceso de producción de estos sistemas. Así mismo, el proceso debe ser de carácter evolutivo: en una primera interpretación, la riqueza de abstracción lograda en una etapa del ciclo de producción de software, debe proyectarse de forma natural a la siguiente etapa (evolución interna); bajo la segunda interpretación, el sistema de información debe "crecer" con el usuario final y debe generarse según el comportamiento del dominio que abstrae (evolución externa).

Para atender esta producción se deben brindar instrumentos automáticos orientados por criterios de eficiencia y persistencia.

Aún más, si consideramos el "ciclo del producto" (que en este caso es un sistema de información), el éxito de la automatización de la ingeniería de software estriba en el siguiente concepto: orientarse al proceso y no a la etapa.

La mayoría de las herramientas 4GL, como se discutió con anterioridad, se concentran en una etapa del ciclo de vida de Software. Es así como tenemos generadores de reportes, consultas y programas (etapa de codificación), asistentes de análisis y diseño, etc.

Pero al existir un divorcio entre estas herramientas, no se estará perdiendo el impulso del proceso? y al perderlo, no estaremos comprometiendo nuestra motivación inicial que es la eficiencia en la producción de sistemas de información?

Precisamente para resolver estos interrogantes se presentan los actuales conceptos de "ambientes CASE integrados". Bajo estos esquemas cada etapa tiene su asistencia computacional, y entre cada una de ellas (las etapas) existen vínculos para que la riqueza de conocimientos lograda sea transferida de manera au-

tomática al siguiente paso del proceso. Para lograr esto, se ventilan conceptos como los siguientes (discutidos con mayor detalle en otras publicaciones):

i) Existencia de un repositorio.

En otros lugares denominado como enciclopedia o diccionario de depósito de especificaciones. Es el eje del concepto de la integración del proceso, ya que al ser el espacio único para definir los elementos de diseño, permite el bombardeo de procesos automáticos de apoyo a las diversas etapas con unidad de criterios.

ii) Reingeniería e Ingeniería Inversa. De nuevo se reconoce la automatización del proceso bajo estos temas. Se pretende lograr a partir de un sistema de información inferir sus principios de diseño. En pocas palabras, la ingeniería de software consideraba el análisis, ahora es necesario contemplar la síntesis.

iii) Calidad total en la producción de Software.

iv) Administración del proceso.

Es un hecho que, por carecer de adecuadas herramientas de control, muchas de las cuales han sido adaptadas de otras disciplinas como por ejemplo de las obras civiles, los procesos de producción de software han fracasado. Se desarrollan nuevas estructuras de administración para controlar el ciclo de vida de los sistemas de información, que permiten asegurar la adecuada y oportuna asignación de recursos (v.g.: puntos funcionales, entre otros).

Al leer entre líneas los planteamientos de este artículo debe quedar claro que al orientarse al proceso la clave del éxito es la metodología de producción de los sistemas de información. Un ambiente "ideal" para la generación de software solo puede obedecer a una metodología "ideal". Sin pretender ser la verdad revelada, a continuación se discuten algunos conceptos que al incluirse en un proceso de análisis y diseño pueden acercarnos a esa meta "ideal".

■ ALGUNOS PRINCIPIOS PARA UNA METODOLOGIA IDEAL.

Cuando se pretende ser exhaustivo en la defi-

nición de "principios metodológicos" el investigador puede caer en un abismo sin fondo. Esto es así debido al componente humano tan fuerte que tiene la Ingeniería de Software. Cada "arquitecto" de los sistemas de información puede construir su propia metodología con base en principios generalmente aceptados y adicionando componentes de experiencia y emoción. Si se está de acuerdo con esto, habrá tantos conjuntos de principios metodológicos como productores de Software existan.

Esto no es tan lejano de la realidad, ya que con una simple inspección sobre las casas consultoras en informática y las casas productoras de Software se verifica rápidamente esta hipótesis. Entonces, ¿cuál es la metodología ideal? Si consideramos las situaciones hasta aquí planteadas no es arriesgado afirmar que no existe. Hay principios que en la actualidad se discuten y que últimamente han logrado entrar dentro del grupo de los "generalmente aceptados".

A continuación se presentan algunos de ellos:

■ ABSTRACCION PROCEDIMENTAL Y DE DATOS.

La abstracción es el día a día del "arquitecto" de los Sistemas de Información. Cualquier metodología debe procurar que el camino entre "la realidad" y el Sistema de Información sea lo más corto posible. Para esto se deben interpretar dos niveles, el procedimental y el de datos. Más formalmente podemos decir que la abstracción procedimental es el principio que permite a cualquier operación realizada, ser interpretada por el analista como una entidad, aun cuando ésta sea producida por alguna secuencia de operaciones de bajo nivel. Por otro lado, la abstracción de datos es el principio por el cual las "estructuras de datos", tan conocidas en los sistemas de información, se definen en términos de las funciones asociadas a ellas, olvidando así en los primeros pasos del diseño - los atributos internos de las mismas.

Encapsulación. Es un hecho que

los dominios que interpretan los Sistemas de Información son cada vez más complejos. Abandonamos hace años las problemáticas sencillas y completamente definibles de los sistemas administrativos (Nóminas, Contabilidades, etc.) para adentrarnos en dominios complejos tales como la gestión de redes de todo tipo, análisis genético, etc.

La encapsulación es uno de los principios metodológicos que colaboran en la manipulación de tales complejidades. Se puede definir como tomar decisiones de diseño, esconderlas para el resto del sistema, y construir una interfase para "utilizar la cápsula" que revele tan poco como sea posible acerca de su funcionamiento interno; en otras palabras, construir una caja negra, interpretada en términos de sus entradas (mensajes) y sus salidas (cambio de estado de la cápsula).

Herencia. Las cápsulas con definiciones idénticas se agrupan en clases. Si se quiere enriquecer el diseño de estas cápsulas (agregar más funciones o atributos) se puede "heredar" las características de una clase predefinida y adicionar nuevas especificaciones que la distinguan de su

"generador". Si se aplica este proceso de herencia de manera sucesiva se tendrá una jerarquía de especificación entre clases, con un núcleo de atributos y funciones comunes.

Comunicación vía Mensajes.

Para evitar el aislamiento de las diferentes cápsulas definidas en el sistema, debe establecerse una comunicación por medio de mensajes. Esta es una consecuencia natural de los procesos de encapsulación. Sobre este punto es interesante anotar que los comportamientos de las cápsulas deben ser redefinibles dependiendo de las características particulares del "mensaje".

Mecanismos de Organización.

Los dominios sujetos al modelaje tienen diversas estrategias de organización. Los principios metodológicos no pueden olvidar este hecho y deben por tanto brindar los mecanismos adecuados para la abstracción de estas estrategias particulares. Estos esquemas de organización necesariamente deben obedecer a uno de los siguientes tipos:

- El todo y sus partes (Organización analítica).
- La diferenciación de los objetos

particulares por sus atributos (Organización por diferenciación).

- La distinción entre las diferentes clases de objetos (Organización por agrupación).

Categorías del Comportamiento.

El último principio que se menciona es la categorización del comportamiento de los métodos. Las "reacciones" de una cápsula ante los mensajes se deben enmarcar en una de las siguientes situaciones:

- La causación inmediata: Se define por la manera de reaccionar a un estímulo específico, en un instante particular.

- La similitud de evolucionar históricamente: Se refiere a las costumbres que pueden ser adquiridas por la evolución del sistema.

- La similitud de funciones: Se refiere a las reacciones que son "instintivas", propias de cada objeto.

Estos principios pretenden enriquecer aún más el amplio menú que cada productor de software tiene en su definición metodológica. Este es el tema sobre el cual, cuando se logre la verdad absoluta, se podrá firmar el acta de defunción de la Ingeniería de Software como disciplina profesional. ■

EDICION ESPECIAL "20 AÑOS"

Reserve su espacio publicitario en la revista de la
**ESCUELA COLOMBIANA
DE INGENIERIA**

ALVILL Y CIA. LTDA.

Tv. 6 No. 51-A-43 • Tel.: 232 3318 • Fax: 287 1005 • Santafé de Bogotá, D.C.
Calle 7-A Sur No. 35-55 • Tel.: 268 9103 • Medellín

La Nueva Física del Mundo Microscópico

POR : RAUL ALBERTO RUIZ

FÍSICO UNIVERSIDAD NACIONAL. PROFESOR ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA.

La mayoría de las ciencias, como la Física, Química o Matemáticas, avanza con el surgimiento de nuevas teorías. Estas teorías pueden ser consideradas como ideas revolucionarias en el momento en que aparecen en el ámbito científico. Los físicos actuales, a menudo, hablan de una inminente aparición de la tercera evolución en la Física.

La primera revolución está identificada con el trabajo de Galileo, Newton y sus contemporáneos, ya que en el siglo XVII fueron establecidas las bases para un estudio sistemático de la materia. La segunda revolución ocurrió a principios de este siglo, con la teoría de la relatividad, la mecánica cuántica y el descubrimiento de la relatividad. Para la mayoría de la gente, la teorías cuánticas y relativista son la Nueva Física, ya que sus consecuencias abarcan en gran parte los descubrimientos científicos y tecno-

lógicos del siglo XX. Aunque estas teorías tienen varias décadas de antigüedad, hasta ahora la gente común está empezando a palpar su importancia.

A pesar de que las teorías cuánticas y relativistas, forman el marco teórico de la mayor parte de la Física del momento, se está evidenciando que algunos de los más importantes descubrimientos recientes, tienen un origen teórico que va más allá de estas teorías.

La física es la más ambiciosa de las ciencias, ya que tiene como objetivo descifrar todo comportamiento del universo. El físico puede llegar a confesar ignorancia acerca de un sistema particular, como por ejemplo, un organismo vivo, o un fenómeno meteorológico, pero nunca aceptará, que la explicación esté fuera de los dominios de la Física, en principio.

Los físicos creen que las leyes de la Física, en unión con las condiciones de fron-

tera y condiciones iniciales son suficientes para explicar cualquier fenómeno en el universo. Por lo tanto el universo entero, desde el fragmento más pequeño de materia hasta el más grande ensamblaje de galaxias se convierte en dominio de la Física.

Las investigaciones de la materia a escalas cada vez más pequeñas, son motivadas en gran parte, por la pregunta que se viene haciendo el hombre desde su aparición:

¿Cuáles son los ladrillos más pequeños que forman el universo? Desde la teoría atómica de Leucipus y Demócrito en el Siglo V A.C., la idea de que toda la materia está compuesta de un número pequeño de entes elementales, ha prevalecido hasta la actualidad. Lo que hoy llamamos **Átomos**, no son por supuesto partículas elementales, sino compuestos con una estructura interna sumamente complicada.

Desde 1960 hasta la fecha se considera que las fuerzas o interacciones que rigen el comportamiento del universo son cuatro:

Electromagnética, Gravitacional, Fuerte y Débil.

Actualmente el modelo básico de la materia que está en vigencia proviene de la llamada **Teoría Quark**. La idea básica es simple:

Las partículas pesadas, llamadas **Hadrones**, que interactúan entre sí por medio de la interacción fuerte. En esta clase están incluidos el neutrón, el protón y otras partículas que experimentan la interacción fuerte.

La otra clase de partículas, cono-

A pesar de que las teorías cuánticas y relativistas, forman el marco teórico de la mayor parte de la Física del momento, se está evidenciando que algunos de los más importantes descubrimientos recientes, tienen un origen teórico que va más allá de estas teorías.

cida como **Leptones**, agrupa al electrón, el neutrino y otras partículas que son generalmente livianas y que interactúan entre sí principalmente por medio de la interacción débil.

De acuerdo a la Teoría Quark, los Leptones son partículas elementales, pero los Hadrones no!

Los Hadrones están formados por Quarks. Estos Quarks (que se consideran elementales) se combinan entre sí en dos formas: en tripletas, llamadas **Bariones** o en dupletas llamadas **Mesones**. Los Quarks y Leptones son considerados las partículas elementales de la materia.

La física de partículas es probablemente la más espectacular rama de la nueva Física. Los aceleradores de partículas son laboratorios experimentales operados por un gran número de científicos y técnicos. Estos laboratorios son instituciones prestigiosas a menudo financiadas por entes internacionales con sumas exorbitantes, algo inusual en la ciencia.

La mayoría de los aceleradores de partículas son utilizados para analizar colisiones de alta energía entre dos Hadrones. Esto representa una interacción bastante complicada entre varios quarks y los resultados de estos experimentos requieren de un análisis muy complicado.

Es evidente que nuestro entendimiento de la materia hidrónica esta todavía a un nivel superficial comparado por ejemplo con el conocimientos de la Física atómica y la química hace 15 años. La Física de partículas subatómicas es importante, no solamente en la búsqueda de los entes elementales de la materia sino también en examinar la validez de la Teoría Especial de la Relatividad y la Mecánica Cuántica. Una unión apropiada de estas dos teorías conduce a la llamada Teoría Cuántica de Campos Relativistas, la joya más preciosa de la nueva Física.

Cuando la Teoría Cuántica es apropiadamente aplicada al Campo Electromagnético, se denomina Electrodinámica Cuántica (QED), que es una teoría que explica de una manera muy adecuada las interacciones en-

tre electrones, positrones y fotones.

La idea fundamental en esta teoría es suponer que los electrones y positrones interactúan por intercambio de fotones, por lo tanto el fotón puede ser interpretado como una partícula mensajera, que permite la interacción electromagnética entre partículas de materia.

Inquestionablemente desde un punto de vista experimental QED es hasta ahora, la más exitosa de las Teorías Cuánticas de Campos Relativista.

La clave de QED es el hecho de que el campo electromagnético posee una abstracta pero poderosa simetría, llamada simetría **Gauge**.

Actualmente se supone que las fuerzas fundamentales de la naturaleza poseen simetrías Gauge y que las fuerzas son transmitidas por intercambio de "partículas Gauge". El problema es encontrar la simetría Gauge asociada a cada una.

En 1960 Abdus Salam y Steven Weinberg, basando sus trabajos en las ideas de Sheldon Glashow, descubrieron como la naturaleza ejecuta el truco de esconder la simetría gauge de la fuerza débil. Esto les permitió reformular el modelo de la fuerza débil, de tal manera, que se pudo lograr la unión con la fuerza electromagnética, para producir una teoría consistente de unificación de estas dos fuerzas, llamada "Teoría Electrodébil".

La teoría Electrodébil hizo una predicción bastante específica, debían existir tres partículas mensajeras de la interacción débil estas partículas fueron llamadas W^+ , W^- y Z . El éxito de la teoría electrodébil se evidencia en 1983, cuando por medio de un acelerador de partículas en CERN, se descubrieron las partículas W y Z .

Se continuó el proceso de unificación, concentrándose en la interacción fuerte. Una teoría gauge de la fuerza entre quarks fue establecida, denominándose como la Gluon a la partícula mensajera de la interacción fuerte.

Esta teoría se llamó "Cromodinámica Cuántica" (QCD), la cual

tiene una analogía muy cercana con QED, reemplazando el fotón por el Gluon y la carga eléctrica por una característica intrínseca de las partículas llamada "Color", de ahí la palabra cromodinámica.

Con una teoría gauge asociada a la interacción fuerte, se abrió el camino para lograr la unión entre QCD y la Teoría Electrodébil. Se originaron entonces las Teorías de Gran Unificación llamadas abreviadamente GUTs. Estas ofrecieron la posibilidad de ser comprobadas a través de dos fenómenos inusuales: Uno es la existencia de monopolos magnéticos y el otro el fenómeno de decaimiento del protón.

Hasta la fecha, estos fenómenos han sido reportados pero de una manera muy esporádica.

Con teorías que prevén un éxito en la unificación de tres de las cuatro fuerzas fundamentales, los físicos han empezado a concentrar su atención en la fuerza gravitacional.

La gravitación fue la primera de las fuerzas de la naturaleza en recibir una descripción matemática (Newton), pero hasta hoy se sigue oponiendo a una descripción gauge o en otras palabras a un modelo cuántico.

El primer intento que se hizo fue seguir un método similar al que se usó para cuantizar la fuerza electromagnética (QED), pero esto fracasó, ya que se presentaron infinitos en las ecuaciones. Estas divergencias siempre han acompañado a cada una de las cuantizaciones de las tres primeras fuerzas que se trataron, pero debido a las simetrías gauge asociadas, se pudieron renormalizar y de esta manera obviar las divergencias.

Muchos intentos ingeniosos se han hecho para cuantizar la gravedad, pero hasta que alguno tenga realmente éxito, existirá un profundo interrogante en el corazón de la física.

Aunque la detección experimental de efectos cuánticos gravitacionales sea demasiado improbable, es de vital importancia una cuantización consistentes, o de lo contrario la gravitación no podrá unificarse con las otras tres interacciones. ■

La Agonía del Difunto

POR : BERNARDO LIEVANO

PROFESOR ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA. DIRECTOR DE VAIOS COROS

No se imagine el lector que bajo este nombre, el artículo versa sobre el drama de Esteban Navajas que años atrás nos ofrecieron en versión insuperable del Teatro Libre de Bogotá. No, el difunto del cual trataremos es otro, muy ligado a todos aquellos que pertenecemos a la ya también agonizante tradición bogotana.

Se trata de nuestro Teatro Colón, que a la sazón, el próximo mes de octubre cumple su primer centenario; pues bien, este amable recinto, que por tanto tiempo fuera el pináculo de la vida cultural capitalina, es hoy día, otro cadáver viviente, testigo mudo de la devastación arquitectónica y el deterioro general de ésta ciudad capital.

Corría el año 1951, cuando el gobierno llama al maestro Olav Roots para hacerse cargo de la reorganización de la antigua Orquesta Sinfónica Nacional. Roots, músico Estoniano, para quien por aquellos años de post-guerra, la oferta de venir a Colombia, podría representar una oportunidad atractiva, se hace cargo del proyecto y es así como en el año de 1952 se reinician las actividades de la nueva Orquesta Sinfónica de Colombia, actividades que se desarrollan hasta obtener un excelente nivel y sobreviene entonces la muerte del maestro en 1974.

Sin duda muchos de mis colegas y lectores recordarán los habituales conciertos de los jueves y posteriormente de los viernes. Figuras de talla

mundial visitaban regularmente nuestro teatro, bien como parte de la actividad de la sinfónica o bien como parte de la programación habitual del Colón. Recordemos rápidamente a Zino Francescatti, Yehudi Menuhin, Igor Stravinsky, Alfred Brendel, Pierre Fournier, Aram Jachaturian, Paul Badura-Skoda, Jascha Heifetz, para sólo mencionar algunos pocos.

Desde el punto de vista administrativo, el Colón era una entidad independiente y autónoma en sus decisiones y ejecución presupuestal. A pesar de estar adscrito al Ministerio de Educación Nacional, la Dirección del teatro cumplía sus funciones sin obstáculos de tipo administrativo o sindical; recuerdo que por aquellos años, era Directora del teatro Doña Cecilia Fernández de Soto, dama de las más altas virtudes morales, de fino gusto y conocedora del mundo cultural.

Figuras de talla mundial visitaban regularmente nuestro teatro, bien como parte de la actividad de la sinfónica o bien como parte de la programación habitual del Colón.

Bajo la administración de Doña Cecilia Fernández, el Colón vivió sin lugar a duda, una de sus épocas más gloriosas.

Sin embargo, al final de la década de los años sesentas comienza la decadencia. El Teatro es despojado de su carácter independiente y es adscrito a la nueva organización llamada Colcultura, como un inmueble Nacional más que debe figurar entre toda esa burocracia, primer golpe a nuestro teatro bogotano, que pasa a ser un bien de la nación.

En manos de Colcultura, el Colón pierde rápidamente lo que se obtuvo con tantos años de esfuerzo. Además de la indiferencia de la Administración central, los sindicatos de empleados y una programación incoherente y de baja calidad se confabulan para darle el golpe de gracia de manera que, a pesar de algunos esfuerzos aislados encontramos hoy a nuestro Teatro Colón como un recinto que invita a la depresión y al llanto.

A pesar de la situación actual, todavía hay personas que guardan alguna esperanza de recuperar el nivel Cultural del teatro, me refiero a la Asociación de Amigos del Teatro Colón, agrupación de personas que con criterio sano y desinteresado, busca una fórmula que permita resucitar este cadáver viviente y evitar que como en la obra de Navajas, sea enterrado en vida por las Administraciones incoherentes y los sindicatos, quienes a través de estos años han obtenido el resultado que hoy podemos observar. ■