



REVISTA  
**ESCUELA COLOMBIANA  
DE INGENIERIA**

Año 3    N° 7    Vol. 3    Enero-Marzo 1992

**Proyecto  
Hidroeléctrico  
del Guavio**  
Una visión diferente

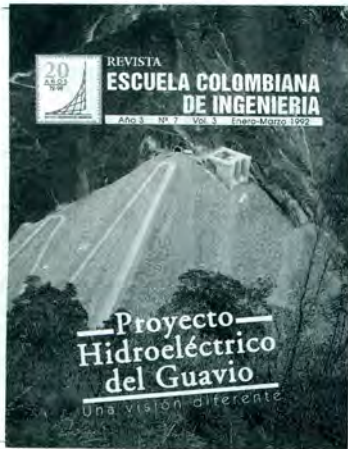




REVISTA  
ESCUELA  
COLOMBIANA  
DE INGENIERIA

Año 3 No. 7 Vol. 2 - Enero-Marzo - 1992

Licencia Mingobierno No. 1595 del 6 de Mayo de 1991  
ISSN 0121-5132



Nuestra Portada  
Hidroeléctrica El Guavio  
Cortesía. Claudia Hernandez  
Ingetec S.A.

## S U M A R I O

2 EDITORIAL - FORMACION MATEMATICA DEL INGENIERO  
*ARMANDO PALOMINO INFANTE*

4 LA TASA DE CAMBIO Y EL PROBLEMA FISCAL  
*EDUARDO LORA TORRES*

6 PRIMER ENCUENTRO NACIONAL DE INGENIEROS DE  
SUELOS Y ESTRUCTURAS - UNA RESEÑA  
*PEDRO NEL QUIROGA S., DANIEL SALASAR F.*

9 ACTITUDES MENTALES  
*ANDREW R. COOPER.*

14 TRANSPORTE E IMPACTO AMBIENTAL EN LAS  
CIUDADES COLOMBIANAS  
*EMILIO LATORRE ESTRADA*

18 PROYECTO HIDROELECTRICO EL GUAVIO -  
UNA VISION DIFERENTE  
*JUAN ANTONIO ACOSTA GEMPELER*

22 CONCEPTOS SOBRE FRACTURAMIENTOS  
HIDRAULICOS PARA DISEÑO DE TUNELES  
A PRESION - PRIMERA PARTE  
*RAMIRO GUTIERREZ R.*

27 SISTEMAS DE EXCAVACION PANTALLAS -  
PRESENTADO EN EL PRIMER ENCUENTRO NACIONAL DE  
INGENIEROS DE SUELOS Y ESTRUCTURAS  
*AUGUSTO ESPINOSA SILVA.*  
*ARMANDO PALOMINO INFANTE*

31 NOTICIAS

DIRECTOR  
ING. GERMAN RICARDO SANTOS G.

CONSEJO EDITORIAL  
MAT. CARLOTA LOPEZ ARANGO  
ING. RICARDO LOPEZ CUALLA  
ING. MARIA CRISTINA CORREAL  
ING. RAMIRO CABAL SANCLEMENTE  
FIS. JAVIER BOTERO ALVAREZ

EDITORA  
ING. BLANCA VILLAMIL DE ALVAREZ

DIRECTOR COMERCIAL  
ALDO G. VILLAMIL A.

ASESOR ESPECIAL  
ING. HERNANDO ALVAREZ RINCON

DIRECTORA DE PUBLICIDAD  
TERESA VARGAS FERIA

DISEÑO  
LUIS EBER ROJAS D.

TRANSVERSAL 6A. No. 51A-43  
TEL: 2871005  
SANTAFE DE BOGOTA, 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 REPRODUCCION TOTAL  
O PARCIAL DE LOS ARTICULOS DE LA REVISTA CITANDO LA  
FUENTE Y EL AUTOR.

CONSEJO DIRECTIVO DE LA ESCUELA COLOMBIANA  
DE INGENIERIA

PRESIDENTE  
ING. IGNACIO UMAÑA DE BRIGARD

VOCALES  
ING. LUIS GUILLERMO AYCARDI BARRERO  
ING. JORGE EDUARDO ESTRADA VILLEGAS  
ING. MANUEL GARCIA LOPEZ  
ING. ALVARO GONZALES FLETCHER  
ING. ALBERTO MANTAÑES PEÑA  
ING. ARMANDO PALOMINO INFANTE  
ING. RICARDO QUINTANA SIGHINOLFI  
ING. ARTURO RAMIREZ MONTUFAR  
ING. JAIRO ROMERO ROJAS  
ING. RICARDO SALAZAR FERRO

RECTOR  
ING. EDUARDO SILVA SANCHEZ

SECRETARIO  
ING. ALBERTO SALAMANCA PINZON

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



# FORMACION MATEMATICA DEL INGENIERO

POR : ARMANDO PALOMINO INFANTE

**H**a sido tradición en las facultades de Ingeniería, la dedicación casi exclusiva a la Física y a la Matemática a lo largo de los cuatro o cinco primeros semestres de la carrera, como producto del convencimiento de que la Física es la base de cualquier área de la Ingeniería, y por la creencia en la disciplina mental que la matemática imprime en el futuro ingeniero.

No cabe la menor duda sobre la primera afirmación y aún más, la mayor preocupación del profesor de Física debe ser la de cerciorarse que los principios básicos sean aprendidos por sus estudiantes con la máxima claridad y sencillez. Las fallas que queden en esos niveles, serán posteriormente irremediables. La calidad de la enseñanza sólo podrá medirse por el entusiasmo que se logre sembrar en el estudiante por aprender y profundizar más allá de lo que se cubra en los cursos regulares.

En cuanto a la matemática, deben cuidarse en extremo los procedimientos que se empleen en la transmisión del conocimiento, procurando no tratarla como un ente independiente y abstracto, sino por el contrario manejarla como un ordenamiento lógico de pensamientos, siguiendo un método

definido que conduzca a una verdad.

No sobra recordar que los precursores de la Ingeniería como Tales de Mileto, Pitágoras, Platón, Aristóteles, Euclides y Arquímedes, por mencionar unos pocos, nunca independizaron la filosofía de las matemáticas y menos de las ciencias físicas.

Es preocupante reconocer que un factor común dentro de los estudiantes de Ingeniería, es la alegría que sienten cuando terminan sus cursos de matemáticas. No podríamos estar seguros de que la gran satisfacción se deba al acervo de conocimientos adquiridos, sino a la salida de un camino que en muchas oportunidades pudo haberse convertido en la causa de abandono de la carrera.

Vale la pena reflexionar sobre cómo podríamos cambiar esa imagen siendo conscientes de que la matemática es la principal herramienta de la ingeniería y por lo tanto durante su enseñanza nunca debe separarse de ella. No debe olvidarse que la Ingeniería se basa en una profunda observación lógica, fundamental para resolver problemas que la naturaleza presenta. Las dos ciencias deben estar unidas, una sirviendo de base a la otra, de tal forma que no es factible pensar en el desarrollo de la Ingeniería sin un avance de la matemática. ■



# LA TASA DE CAMBIO Y EL PROBLEMA FISCAL

**POR : EDUARDO LORA TORRES**

ECONOMISTA, UNIVERSIDAD NACIONAL. POSTGRADO EN ECONOMIA, LONDON SCHOOL OF ECONOMICS. DIRECTOR EJECUTIVO FEDESARROLLO. EDITOR DE COYUNTURA ECONOMICA, REVISTA FEDESARROLLO.

**E**n la mayoría de los países del mundo, se considera que un nivel adecuado de reservas internacionales es aquél equivalente a unos tres o cuatro meses de importaciones. En Colombia, el Banco de la República dispone actualmente de reservas suficientes para pagar cerca de dieciséis meses de importaciones de bienes.

Nadie discute ya que esta situación fue creada por un manejo bastante desafortunado de la política económica durante los primeros siete meses de 1991.

Como puede demostrarse con la ayuda de modelos económicos formales, la Junta Monetaria aplicó la combinación de políticas que mayores entradas de divisas podía producir. Simultáneamente se mantuvo una situación de encaje marginal y represión crediticia interna, operaciones masivas de mercado abierto y reducido ritmo de devaluación.

Como resultado, se crearon diferenciales de más de 20 puntos entre los rendimientos financieros en el país y en el exterior que asentaron la acumulación de reservas a niveles totalmente insospechados.

Si bien es cierto que diversos factores exógenos estaban propiciando de todas formas el ingreso de capitales al país, incluido el apaciguamiento del narcotráfico y el deterioro de la situación financiera de Estados Unidos, es obvio que justamente en estas condi-

ciones la política errónea de supuesto control monetario estaba destinada a magnificar el problema.

La abundancia de divisas ha dado origen a un abaratamiento relativo de la tasa de cambio, que tuvo que ser inducido en varias oportunidades en 1991 por diversas decisiones de política económica, en especial la introducción de los Certificados de Cambio de maduración diferida, para evitar desequilibrios aun mayores en el mercado cambiario. Estas decisiones eran necesarias dada la situación que se había creado, y a mi juicio, fueron la mejor alternativa frente a otras opciones que se discutieron en su momento, incluyendo la revaluación directa del tipo de cambio oficial y, peor aún, la flotación total de la tasa de cambio.

Lo anterior no quiere decir, por supuesto, que la revaluación del tipo de cambio efectivo por necesaria que haya sido en su momento, sea justificable, porque había podido evitarse con un manejo adecuado de las políticas monetarias y financieras.

Mirando ya hacia el futuro, la Junta Directiva del Banco

de la República ha llegado al convencimiento de que si se quieren evitar nuevas revaluaciones del tipo de cambio en 1992, debe corregirse completamente el déficit fiscal o, incluso, debe alcanzarse un superávit en las cuentas del sector público en ese mismo año.

La relación entre el déficit fiscal y la tasa de cambio real no es obvia a primera vista, pero puede explicarse sin dificultad. Puesto que, por Constitución, el gobierno no puede endeudarse con el Banco de la República, el déficit fiscal debe ser financiado, bien sea a través del mercado de capitales doméstico o con recursos de financiamiento externo. En el primer caso necesariamente tenderán a elevarse las tasas de interés domésticas, lo cual, a fin de cuentas, elevará aun más las reservas internacionales, porque aparecerá nuevamente el atractivo de traer capitales

al país para beneficiarse de los mayores rendimientos financieros y para evitar los costos del crédito interno. En buena medida, es lo mismo que si el gobierno directamente se financiara en el exterior, trayendo más divisas.

De ahí el dilema: o se de-





fiende el tipo de cambio y por consiguiente a las exportaciones del país, o se defiende el gasto público, especialmente el de inversión. Esta escogencia no es fácil, ya que aunque puede alegarse que hay muchas ineficiencias en el gasto público, se reconoce que los recortes fiscales terminan siempre afectando a la inversión pública, y que con ello se sacrifican las posibilidades de un mayor crecimiento futuro de la economía, que depende de la infraestructura física y de la satisfacción de las necesidades básicas de salud, educación y vivienda de la población.

Por otro lado, también puede argumentarse que hay margen para mejorar la eficiencia en el sector exportador. Al fin y al cabo el excelente desempeño de las exportaciones menores en los últimos años, incluyendo el año pasado, ha sido más el resultado de los aumentos del tipo de cambio real que tuvieron lugar entre 1985 y 1990, que de mejoras en la productividad. No es

deseable de forma alguna que se pierdan los logros recientes del sector exportador, y por lo tanto deben evitarse las revaluaciones abruptas.

Sin embargo, la supervivencia del sector exportador no tradicional en los próximos años dependerá de las mejoras que logre en materia de productividad, ya que gradualmente tendrá que darse paso a niveles mayores de inversión pública a través de una revaluación gradual del tipo de cambio real, que de todas formas ocurrirá una vez empiecen a ingresar al país las divisas que generarán los nuevos yacimientos petroleros.

**E**ste artículo fue presentado al seminario sobre política Macroeconómica y acumulación de reservas internacionales organizado por Analdex y Fedesarrollo en Enero de 1992.

Si el país no se prepara desde ahora para ese momento, logrando una revaluación gradual del tipo de cambio, e induciendo a todos los sectores productivos a elevar en forma continua su productivi-

dad, se verá necesariamente enfrentado a un exceso repentino de divisas y a una depresión abrupta del tipo de cambio cuando se inicien las nuevas exportaciones de hidrocarburos, que le acarrearán daños irreparables no solo al sector exportador sino a toda la estructura económica del país, conformándose así el cuadro clínico que se conoce con el nombre de "enfermedad holandesa".



■ INGENIEROS CIVILES

■ CONSTRUCCIONES CIVILES Y URBANISTICAS

■ INTERVENTORIAS

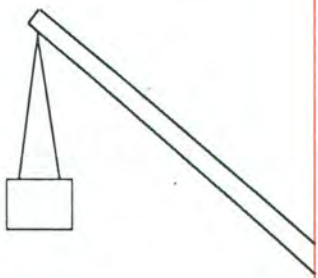
# Ingecron Ltda.

INGENIERIA CONSTRUCTORA NACIONAL

Calle 88A No. 25-57 Of. 101 • ☎: 2189913 - 2183276  
Fax: 2186466 Santafé de Bogotá, D.C.



DESARROLLOS CIVILES  
INGENIEROS CIVILES



- Especialidad en ejecución de obras civiles en zonas rurales.
- Construcción y mantenimiento de vías.
- Construcción de estructuras especiales en concreto
- Alquiler de maquinaria

Edificio MASTER CENTER  
Calle 100 No. 41-40 of. 419 Tel: 2710840  
Fax: 2710840 Santafé de Bogotá D.C., Colombia



# Primer Encuentro Nacional de Ingenieros de Suelos y Estructuras

POR : ING. PEDRO NEL QUIROGA S., ING. DANIEL SALAZAR F.

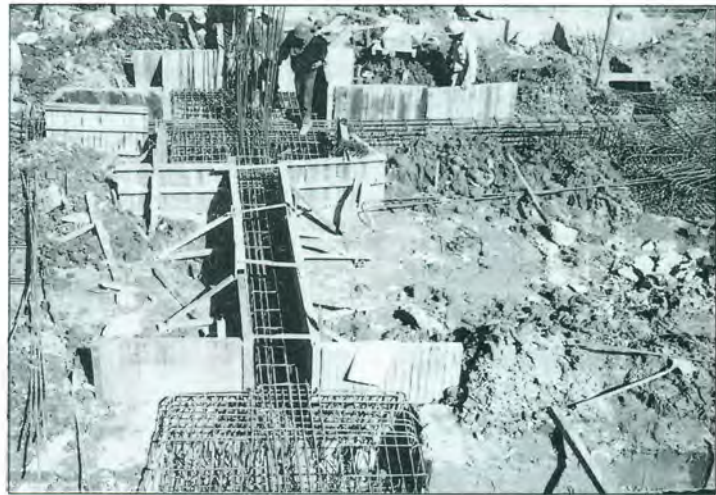
PROFESORES ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA

**E**l Primer Encuentro Nacional de Ingenieros de Suelos y Estructuras realizado el pasado mes de Septiembre en las instalaciones del Gimnasio Moderno de Bogotá, reunió a algunos de lo más notables profesionales de las dos especialidades del país y a reconocidos constructores, para propiciar un acercamiento entre dos áreas de la ingeniería que a pesar de tener orígenes y objetivos comunes, se han venido distanciando, han perdido puntos de contacto y ya no hablan el mismo lenguaje.

El Encuentro fue motivado por la necesidad sentida de redescubrir aquellos aspectos que requieren de la competencia conjunta de ambas disciplinas, entendidas como un equipo de trabajo y no como especialidades independientes o autónomas. Por eso se organizó de tal manera que permitiera aclarar aquellos puntos y resolver aquellas preguntas que comúnmente se plantean cuando se diseñan cimentaciones y sistemas de contención, dar respuesta a interrogantes tales como las que señaló Luis Guillermo Aycardi en su elocuente Introducción:

Existe realmente un método de cálculo para las cimentaciones continuas y compensadas, y si existe, cuál es el mejor desde el punto de vista estructural?

Los ingenieros geotecnistas están dando las características del suelo que se necesita para diseñar la estructura?



En cuanto a cimentaciones profundas, están todos de acuerdo en la manera de calcular la capacidad portante de los pilotes, ya sea por fricción, por punta o combinados? Existen los métodos de cálculo, y son uniformes, para analizar su comportamiento, por ejemplo, ante eventos sísmicos?

Se siguen usando las cimentaciones profundas hechas a mano y tienen las mismas características de comportamiento que las hechas con máquinas?

Cómo es el comportamiento dinámico de las estructuras y que métodos hay para diseñarlas cuando están sometidas a vibraciones debidas a movimientos sísmicos o causadas por máquinas colocadas sobre ellas?

En los sistemas de excavación y de contención hasta dónde debe llegar la responsabilidad de los ingenieros de suelos y estructuras para evitar que se

dejen asuntos poco claros para los constructores?

En los sistemas de contención se da al constructor la suficiente explicación sobre como apoyar y cuidar los muros? Estudian los ingenieros la contención de las pantallas durante su excavación o se deja esto a criterio del maestro de la obra?

Existen métodos para dimensionar y establecer las características de rigidez y resistencia que deben tener las vigas de amarre? Se pueden llamar métodos de cálculo a cierto tipo de recomendaciones que algunos ingenieros de suelos hacen actualmente en sus informes? No influye para nada la estructura en el comportamiento de la cimentación?

Cómo es el comportamiento de los suelos expansivos y qué métodos de análisis existen para diseñar adecuada-



mente las estructuras cimentadas sobre ellos?

Cuál es la responsabilidad de los ingenieros de suelos y estructuras en el efecto de la construcción sobre las edificaciones vecinas?

A lo largo del evento no sólo se dieron respuestas a estos interrogantes sino que se indicaron otros aspectos en los cuales se requiere mayor interacción entre ingenieros geotecnistas y estructurales.

Se acordó la información adecuada y completa para efectuar mejor su trabajo, se mostraron nuevos desarrollos y métodos y los resultados de recientes investigaciones que desvirtúan algunas prácticas tradicionales. Más aún, se llegó a una gran conclusión:

El trabajo debe ser conjunto. A partir del Encuentro no se podrá pensar en la solución de cimentación óptima para un proyecto que no cuente con el concurso del ingeniero estructural, del ingeniero geotecnista y de ambos con el ingeniero constructor.

A continuación se resaltan brevemente algunos de los puntos tratados durante la reunión.

En éste y en próximos números de la revista se publicarán artículos más extensos sobre algunas de las conferencias.

**CIMENTACIONES COMPENSADAS, PROFUNDAS Y SISTEMAS PLACA-PILOTES.** Para la cimentación de edificios en suelos blandos, como los que cubren extensas áreas de la Sabana de Bogotá, se han venido utilizando diferentes alternativas, entre las cuales se destacan las cimentaciones compensadas, los pilotes y los sistemas placa-pilotes.

El análisis y evaluación de estas alternativas da lugar a la selección del sistema de cimentación más apropiado de acuerdo con los diferentes factores limitantes, tales como capacidad portante, asentamientos, costo, tiempo y métodos de construcción, disponibilidad de materiales, etc.

Es así como las grandes profundidades de excavación que se requerirían para compensar totalmente las cargas de los edificios altos ha llevado a adoptar por soluciones profundas (pilotes)

o combinadas con compensación parcial (sistemas placa-pilotes) en la casi totalidad de los edificios altos de Santafé de Bogotá.

El desarrollo de un proyecto con cimentación compensada es un problema relativamente complejo, porque las edificaciones con este tipo de cimentación son particularmente propensas a sufrir ladeamientos y asentamientos diferenciales. Por eso se debe tener gran cuidado en la caracterización del suelo, en la ejecución de las excavaciones para evitar rebote del fondo, corrimiento de las paredes y afectación de estructuras vecinas, y en la velocidad y secuencia del proceso constructivo. Además, debe prestarse especial atención a la distribución de las cargas y a la forma de la edificación para disminuir al máximo las excentricidades.

El análisis y diseño de las losas de cimentación se ha tratado tradicionalmente mediante aproximaciones y modelos que van desde los muy burdos hasta los más refinados. Buscando subsanar las deficiencias de modelos tales como los de Winkler, Zeevaert y Bowles, se ha propuesto una metodología enfocada a edificios de baja y mediana altura cimentados en la zona de suelos blandos de Bogotá, considerando la interacción estática y dinámica suelo - cimentación - estructura y los efectos de deformación debidos a consolidación, la cual permite también determinar la respuesta de la estructura ante deformaciones elásticas y ante sismos.

La combinación placa-pilotes de

fricción es una solución que puede resultar económicamente atractiva comparada con la exclusiva de pilotes. Sin embargo, de algunos estudios e investigaciones se puede concluir que no siempre tiene un mejor comportamiento que la placa de cimentación sola. Aunque se han tenido experiencias positivas como la de la Torre Latinoamericana de México, que tuvo un excelente desempeño durante el terremoto de 1986, o como la de algunos edificios construidos en Santafé de Bogotá, el funcionamiento de este tipo de cimentación aún no se conoce suficientemente, por lo cual es recomendable adelantar labores de instrumentación y registro para afinar los modelos actuales.

### **DINAMICA DE SUELOS - CIMENTACION DE EQUIPOS VIBRANTES.**

Un análisis más realista del comportamiento de edificaciones ante sismos exige la determinación de la respuesta integral del sistema suelo-estructura y no la de cada una de sus partes.

En esta clase de estudios se hace necesario conocer las propiedades dinámicas del suelo en un amplio intervalo de deformaciones. Además, se debe tener en cuenta que el comportamiento en ensayos drenados no refleja el comportamiento bajo condiciones no drenadas, el cual puede ser crítico en ciertas circunstancias.

El buen comportamiento de los sistemas cimentación-equipos vibrantes depende casi exclusivamente de que se proporcionen adecuadas condiciones de anclaje. Son muy comunes





las prácticas basadas en métodos aproximados y diseños conservadores. En la actualidad hay disponibles metodologías basadas en análisis dinámico que pueden dar lugar a soluciones más racionales y económicas. Esto, no obstante, exige el conocimiento de las características dinámicas del equipo, las cuales no siempre son suministradas por los fabricantes.

**SISTEMAS DE CONTENCIÓN Y CONTROL DE EXCAVACIONES.** En la construcción de todo tipo de edificación se requiere la ejecución de excavaciones. La magnitud del movimiento de tierras variará desde un simple descapote hasta volúmenes mayores en aquellas construcciones con restricciones de altura o problemas de parqueo de vehículos.

A la ejecución de excavaciones, particularmente en suelos blandos, se debe prestar adecuada atención, anticipando las medidas pertinentes para su desarrollo y control.

En los estudios geotécnicos se debe establecer la profundidad crítica o límite de la excavación para evitar la falla del fondo, los sistemas de contención, la secuencia constructiva y, en general, todos los factores y parámetros que conduzcan al funcionamiento satisfactorio durante la construcción y durante la vida útil del proyecto.

Para el planteamiento y estudio teórico del problema se insiste en la conveniencia de efectuar los análisis en términos de esfuerzos efectivos y no de esfuerzos totales, ya que con éstos no se puede establecer adecuadamente la evolución de la estabilidad en el tiempo, la deformabilidad ni la variación de las presiones de poros. Desde este punto de vista los análisis y evaluaciones de estabilidad, deformabilidad y permeabilidad de las excavaciones no son confiables en términos de la resistencia no drenada,  $C_u$ .

El empuje real sobre muros y sistemas de contención depende de muchos factores como la cantidad de desplazamiento o rotación que pueda aceptar la estructura de contención, el tipo de material que va detrás de éste y su grado de compactación y saturación, el efecto de la sobrecarga, el efec-

to sísmico, la posición de la fuerza resultante, los cambios de presión con el tiempo y el efecto de las fuerzas de fricción. Para la determinación del empuje activo se requiere evaluar el coeficiente de empuje activo,  $K_a$ . Sin embargo, debe tenerse en cuenta que los valores obtenidos mediante algunas teorías que aún se utilizan, pueden dar lugar a valores totalmente diferentes a los reales ya que no consideran los factores antes mencionados.

**VIGAS DE AMARRE Y ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES.** Los efectos, negativos, de los asentamientos diferenciales sobre la superestructura y simultáneamente la capacidad de ésta junto con las vigas de amarre para controlar la magnitud de los primeros se deben analizar mediante metodologías que consideren el conjunto suelo-estructura-cimentación, entre las que se pueden señalar métodos iterativos, el método de Chamecky y análisis de interacción suelo-estructura.

Las vigas de amarre, que cumplen otras funciones importantes entre las que se pueden señalar el control de desplazamientos laterales en caso de sismos, la rigidización de la cimentación y la atención de excentricidades no consideradas, tradicionalmente se han diseñado en forma poco racional. Para su análisis, además de los métodos ya señalados y del de la "viga portante de amarre", el cual considera a las vigas de amarre como elementos de soporte, se propone una alternativa que tiene en cuenta la relación entre la rigidez de las vigas de enlace y los asentamientos diferenciales.

**CIMENTACIONES EN SUELOS EXPANSIVOS.** El estado actual del conocimiento acerca del comportamiento de suelos con alto potencial contracto-expansivo en condiciones de saturación parcial permite identificar y cuantificar el potencial de expansión y hacer predicciones teóricas de los movimientos diferenciales que causarán en cimentaciones superficiales y dar soluciones tanto de carácter geotécnico como estructural para evitar daños progresivos a las edificaciones.

Factores ambientales o cambios ge-

nerados por la actividad humana que afecten las condiciones de humedad del suelo expansivo así como su composición mineralógica y química, y sus características físicas definen y limitan la magnitud de la expansión real que sufrirá dicho suelo.

En muchos casos los movimientos de los cimientos se manifiestan en descensos de los bordes de las construcciones próximos a zonas verdes. Con menor frecuencia se manifiestan levantamientos de los bordes y/o del centro, debidos a la saturación del subsuelo en épocas de lluvia, fugas de tuberías, etc.

En el diseño de estructuras cimentadas en arcillas expansivas se deben considerar expresamente las deformaciones diferenciales. En algunos casos se puede contemplar la posibilidad de llevar previamente el suelo a una humedad cercana a la de equilibrio y mantener un control posterior sobre sus condiciones de humedad.

**RELACION DE LAS CONSTRUCCIONES CON LAS EDIFICACIONES VECINAS, FALLAS Y RESPONSABILIDADES.** En la construcción de cualquier tipo de estructura que involucre movimiento de tierras, v.g. excavaciones, así como la imposición de esfuerzos al terreno de cimentación y en general cambios en el ambiente, se deben tener previstas las incidencias tanto a corto como a largo plazo sobre las estructuras contiguas al proyecto.

En todo estudio geotécnico, especialmente cuando se trata de suelos blandos, arcillosos, con nivel freático alto o superficial y muy compresibles es necesario prever (técnica y económicamente) la construcción de obras adicionales que protejan las edificaciones vecinas.

El constructor junto con el ingeniero geotecnista deben tratar de predecir el comportamiento de la construcción durante y después de la obra y su efecto sobre las estructuras aledañas. Para evitar conflictos posteriores se deben hacer las provisiones necesarias tales como tomar una póliza contra daños a terceros o verificar el estado de las edificaciones vecinas antes de iniciar la construcción. ■



# ACTITUDES MENTALES

**POR : ANDREW R. COOPER - MIEMBRO IEEE**

TRADUCIDO DE POWER ENGINEERING REVIEW POR: LUIS JORGE AGUDELO, CON PERMISO EXPRESO DEL AUTOR.

**C**ualquier hombre que haya vivido cincuenta años o más (el autor tiene ahora 83) está sujeto a sufrir ataques de locuacidad rememorativa.

No soy una excepción a la regla, y, en el caso presente, me propongo entrar a considerar aquellas cosas que, en retrospectiva, parecen haber sido importantes en la vida.

Me veo a mí mismo como el scout enviado por sus jóvenes compañeros de tropa a realizar un reconocimiento veinticinco años adelante (ahora 55 años adelante) y que se esté reportando hacia atrás.

Al pensar sobre mis experiencias, me veo forzado a concluir que una de las cosas más importantes para todo hombre es la actitud mental con la cual él se enfrenta a la vida. Lo que él piense puede ser mucho más importante que lo que él realmente haga, pues la calidad de lo que haga puede estar afectada por muchas causas fuera de su control, pero sus pensamientos son los suyos propios. Lo que él realmente sea, queda determinado por la manera como piensa.

Por esta razón, me propongo, tomar las actitudes mentales como tema general, e indicar hasta donde me sea posible las maneras como ellas pueden influir en la vida futura de un joven ingeniero, de 25 a 30 años, que tenga el propósito de fijarse una meta en su vida.

Si él traza una curva, auto estima-

ción/tiempo, probablemente encontrará que esta curva tiene un pico hacia los 30 años, luego cae gradualmente hasta los 40, si es persona correcta, para aplanarse hacia un saludable y razonablemente cuidadoso bajo nivel desde los 45 hacia adelante. Así es como creo que debe ser, pues la humildad está relacionada con nuestra confesión de ignorancia. Si utilizamos una esfera para representar la suma de nuestros conocimientos, vemos que su área superficial, la cual representa nuestro contacto con lo desconocido, aumenta a medida que nuestros conocimientos totales crecen.

En otras palabras, un crecimiento intelectual saludable conducirá al aumento de la humildad, y un hombre que se dé cuenta de que se está volviendo más vanidoso a medida que envejece, debe buscar la causa de esta falla.

**LA PROMOCION.** Probablemente la actitud mental dominante de nuestro hipotético hombre joven sea la ambición personal. El se ve a sí mismo en el brumoso futuro sentado en la silla de un director ejecutivo, o montado en una grande y reluciente limusina, rodeado de obsecuentes servidores listos a satisfacer sus mínimos caprichos. El no capta que la misma imagen la tienen delante de sus mentes casi todos sus contemporáneos. Ni siquiera ve el frasco de tabletas de bismuto en el cajón superior derecho de su escritorio de caoba.

Examinemos más en detalle esta

situación. Toda organización numerosa de personas, sea en el gobierno, en las fuerzas armadas o en los negocios, está montada en forma de pirámide con un jefe ejecutivo en la cima y gran número de gentes de bajo nivel en la base. Supongamos una empresa que tenga un presidente y tres vicepresidentes, cada uno de éstos últimos está, consciente o inconscientemente, esperando que algo le pase al Presidente. Este sentimiento no es necesariamente mal intencionado; ello puede significar, por ejemplo, que el Presidente debe retirarse y entrar a disfrutar de una mejor vida mientras pueda, o, de hecho, cualquier otra circunstancia que lo saque del camino y le permita a un joven más viril y más progresista subir y dirigir los negocios.

Pero también hay tres vicepresidentes y solamente una vacante. Ellos pueden ser los mejores vicepresidentes en el mundo, pero si los tres han puesto su corazón en la promoción, dos de ellos se van a encontrar desilusionados.

Por debajo de los tres vicepresidentes están los jefes de sección, todos deseando ser vicepresidentes y, lo mismo que antes, si la promoción es el fin de sus íntimos deseos, la mayor parte de ellos se van a sentir defraudados. Y así continúa el proceso hacia abajo en la pirámide administrativa.

Los competentes y conscientes trabajadores se sienten inconformes y amargados ante su impotencia para ascender sin darse cuenta de que la



mayoría son derrotados por la sencilla matemática de la situación. Se sigue que, si todos nuestros hipotéticos hombres jóvenes se consideran fracasados al terminar en posiciones inferiores a la del Gerente-Director, habrá por todos lados una gran infelicidad.

**-Miremos más allá en materia de promociones.** Para obtener un mejor trabajo, el hombre debe dar pruebas de su adaptabilidad. Adicionalmente a su competencia técnica, deben ser considerados muchos otros factores: sus maneras, su apariencia personal, aún su modo de vestir pueden ser atributos significativos. Pero, además de tener en cuenta estas variables, existe un factor que escapa completamente a su control, y que puede fácilmente eclipsar a los otros. Este factor es la suerte, sencillamente la suerte: el hecho de que se hubiera presentado en el momento preciso; el que algo bueno que él hizo hubiera sido notado, y el que algo mejor hecho por otro no lo hubiera sido. Por lo general no hay escapatoria a este componente, si bien alguien levantado por sí mismo afirma que una persona emprendedora puede crear su propia suerte. Nuestro hombre hipotético, llamémosle Bill Smith, debe desarrollar una actitud mental, una filosofía si se quiere, que va a tomar a su cuidado esta situación en caso de presentarse, pues si él sufre desengaño, se hará daño a sí mismo y, probablemente, a sus proyectos futuros. Muchos empleadores consideran que la mejor ocasión para juzgar a un hombre es cuando éste tiene una frustración.

Miremos ahora desde otro ángulo el problema de la promoción: es Bill el mejor operario en el taller de ajuste. De hecho, es tan bueno que cuando el puesto de Jefe de Taller queda vacante, se ve automáticamente seleccionado. Pero como Jefe de Taller, resulta un completo fracaso. Si bien él era experto en controlar el trabajo manual, no tiene la menor idea de cómo controlar a la gente. No puede apreciar las diferentes personalidades, no sabe cuando debe ser estricto ni cuándo indulgente; se encuentra con que ha perdido sus antiguos amigos sin saber cómo hacer nuevos. Su promoción fue

lo peor posible que le pasó tanto a él como a la empresa.

Casos como éste pueden ocurrir a todo lo largo de la escala administrativa. Las personas tienen características diferentes, y por naturaleza se adaptan a diferentes tipos de trabajo. Hay líderes naturales y súbditos naturales, gentes que prosperan y se crecen con la responsabilidad y otras que decaen y mueren bajo ella. Creo que fue David Lloyd George quien dijo que sería de gran ayuda el que los hombres fueran como motores de camiones que pudieran ser cargados con la máxima carga que soportarán dentro de los límites de seguridad.

Todo esto me lleva a la conclusión general de que un hombre debería tener una sana ambición de llegar a su nivel apropiado, nivel por encima del cual él se hallaría miserablemente infeliz e inseguro en su trabajo, y por debajo del cual él sentiría que, de alguna manera, ha fallado. A casi todo hombre le llega el momento en que da con su cabeza contra el cielo raso de su promoción. Esto puede llegar tarde o temprano en la vida y si no se tiene cuidado en afrontar esta situación con cierta actitud mental, el sabor de la vida puede cesar y aparecer en ella el decaimiento mental.

**EL EXITO.** Todo hombre que progresa en su profesión está expuesto a encontrar que hay muy pocos aplausos para él en su ascenso. En los círculos superiores a los cuales él ha llegado, se le puede considerar como un intruso atrevido durante un tiempo largo, posiblemente hasta cuando otro "muchacho nuevo" venga después que él, mientras que las personas que el ha dejado atrás o ha sobrepasado en su ascenso, en una actitud poco humanitaria, no tratan de explicar su propio estancamiento en forma imparcial.

Todo esto es parte del precio que se debe pagar para lograr lo que se puede llamar "éxito", o si se prefiere, "realización". No se puede mirar hacia atrás. Las personas que se resienten cuando usted logra progresar, serían las primeras en despreciarlo si usted no hace nada. Lo esencial es manejar tales situaciones con dignidad y autorespeto. El

tiempo es el remedio para ciertos agravios y uno no debe estar seguro de lograr resultados muy rápidamente. Esta actitud mental podría parecer cínicamente pesimista, pero pienso que es necesario ser realista porque descubrir al comienzo que en razón aparente uno es mirado mal, puede constituirse en un golpe duro.

Hay, por supuesto, otra faceta del problema; la cantidad de experiencias que producen dolor y desilusión en algunas personas, pueden también revelar hombres grandes y de gran corazón que habrían sido pasados por alto bajo otras circunstancias. Algunas cosas que valen la pena raramente aparecen en forma fácil, y la amargura es más probable encontrarla en el hombre que se procura una existencia cómoda que en aquel que ve la recompensa sólo como resultado del esfuerzo.

Uno de los mayores obstáculos del progreso de cualquier hombre joven es el temor a aparecer como un tonto. Esto lo inhibe de pararse y hacer preguntas en una reunión técnica, de aprender de aquellos que lo rodean, de decir algunas palabras después de una cena o a dar alguna conferencia; la idea que siempre lo inhibe es que la gente se reiría, o que el estaría exponiendo indebidamente su ignorancia. Todo hombre tiene que librar esta batalla, y si persiste en aplazar la decisión, verá hombres de menos talento pero de mayor coraje personal escalar por encima de él. Es fácil refugiarse en frases mañosas tales como: "tiene el don de convencer", o, "tiene piel como un rinoceronte", pero pienso que es seguro que, en promedio, cualquier hombre que es capaz de expresarse por sí mismo, ha tenido que hacer un esfuerzo personal y que en algunos casos nunca deja de ser esforzado.

En los momentos críticos de la vida es común encontrar que en lo que concierne a las asociaciones humanas, no nos sentimos bien solos, y depende de nuestra habilidad el estar bien con nosotros mismos durante esos momentos, los cuales a la larga determinarán los patrones de nuestro desarrollo futuro.

Emerson puede decir a menudo las palabras adecuadas para la ocasión, y la



siguiente es una cita de su ensayo "Auto Confianza":

"Es fácil vivir en el mundo con las ideas del mundo; es fácil vivir consigo mismo en soledad; pero el hombre grande es aquel que en medio de la multitud es capaz de conservar con perfecta entereza la independencia que él posee cuando está solo".

Nada hay reprochable en desear el éxito. Desearlo bastante es una fuerza encauzadora y coordinadora de recursos. (puede darle metas a la propia existencia). El peligro radica en concebir el éxito únicamente en ciertas dimensiones tales como la opulencia, o la fama, o el poder. Todas estas dimensiones son relativas y el éxito de unos pocos se hace posible por la falla de los muchos. La única forma saludable de ambición, como yo la veo, es aspirar a vivir exitosamente. Cuando esto ocurre, la meta en la vida del hombre ya no está en conflicto y el trabajador tiene la misma oportunidad de alcanzar sus objetivos tanto como el estadista, el médico, o el Director de una empresa.

Este tema, como ustedes podrán suponerlo, es mi caballito de batalla, pero siempre me ha sorprendido que los hombres están dispuestos a aprender acerca de todas las cosas, excepto de cómo vivir sus propias vidas. El trabajo es considerado como un fin en lugar de un medio para lograr un fin, y el curso evolutivo propicia la formación tanto de una raza laboriosa de insectos como una batería de máquinas calculadoras.

**RELACIONES PERSONALES.** Uno de los problemas con los cuales se tropezará casi siempre nuestro hipotético Bill Smith es el de trabajar con otras personas. En el mundo de los negocios, estas personas se dividen en tres clases; aquellas inmediatamente arriba de él, las que están en su mismo nivel, y las que son sus subordinados; sea cual fuere la posición de Bill dentro de la jerarquía, estas relaciones deberán ser consideradas. El impacto sobre él puede ser tan fuerte e inmediato que afectaría la armonía de su vida laboral. Bill Smith, inevitablemente desarrollará ciertas actitudes mentales hacia

estas personas, que si las examinamos bajo una perspectiva desfavorable, podemos establecer una referencia para detectar progresos.

Llamemos A al Jefe de Bill, C a sus subordinados, y B a aquellos que están en su mismo nivel. ¿Cuán incapaz considera Bill a su jefe; en otras palabras, en qué nivel están sus relaciones con A?

El jefe es un mal líder, carece de empuje, no delega funciones, tiene favoritos, roba méritos y nunca aprecia lo que se hace por él. Las relaciones con B muestran que éstas personas son exhibicionistas, entrometidos, aduladores, egoístas y no se prestan para trabajar en grupo. Por otro lado el subordinado C es agresivo, inmaduro, frívolo, no digno de confianza. No es apto para asumir responsabilidades, es impetuoso e inescrupuloso en su trabajo. Tampoco es bueno para trabajar en equipo. Esta situación debe considerarse como el peor de los casos.

Existen dos méritos en éste ejercicio. Primero, se pueden deshogar emociones reprimidas con tan solo ponerlas por escrito, más aún si estas emociones no son sino para enorgullecerse.

En segundo lugar, si Bill Smith desea saber cómo está él en relación con sus colegas, puede analizar la contraparte. En otras palabras, poner el caso de lo que pensará un subordinado acerca de Bill así como él lo hace con su jefe, lo que pen-

sará el jefe acerca de Bill así como el lo hace con su subordinado, y lo que pensará un igual a Bill del modo como él lo hace en forma recíproca. No hay necesidad de hacer una introspección pesimista al continuar el análisis; sin embargo Bill se puede cuestionar ocasionalmente en el sentido de que todas estas críticas se hicieran en contra de él y repasar la validez de ellas.

**LA "SEGUNDA INTENCION".** Yo estoy a favor de las decisiones rápidas por regla general; ellas conducen a la acción y en la mayoría de los casos son tan sabias como si fueran tomadas antes o se meditaran por semanas o meses.

Esta regla de conducta es, sin embargo inapropiada cuando se aplica al trato con personas, y en especial con personas que están sometidas a una disciplina.

En casos de esta naturaleza, es mejor

hacer uso de una "segunda intención". Un jugador de visión pobre, es un hombre de "primera intención". El está completamente concentrado en la maniobra de acertar a una bola roja. Si esta operación es exitosa, entonces dará un vistazo a la mesa con la esperanza de que la bola coloreada haya quedado en una posición apropiada para el próximo tiro. El jugador con "segunda intención", a la vez que acierta a

**U**n viajero interpelló a un extraño y le preguntó: "¿Qué tipo de personas hay en el próximo pueblo?"

"Cómo encontró a las personas en el pueblo que usted abandonó?" preguntó el extraño.

"Encantadoras, yo me alegro de haberlas conocido"

"Así es exactamente como las va a encontrar en el próximo pueblo" dijo el extraño.

Otro viajero se encontró al mismo extraño y le preguntó lo mismo que el primer viajero y recibió a su vez, la misma pregunta de éste.

"Oh, eran personas desagradables, me alegro de haber salido de allí" dijo el viajero.

"Así es exactamente como usted las va a encontrar en el próximo pueblo", le replicó el extraño.



la bola roja, está pensando cómo combinar esta operación con la de colocar su propia bola blanca de tal forma que quede en una posición conveniente para su próximo tiro.

Dicho con otras palabras, su mente no está dominada por la situación inmediata sino que mira más lejos antes de actuar.

Cuando se está llevando a cabo una acción disciplinaria, la situación inmediata es usualmente aquella en la cual el empleador está irritado por la negligencia o mala voluntad de un empleado.

La "primera intención" aconsejaría castigar al individuo, en parte con la esperanza de que ello disuadirá al empleado de asumir ese comportamiento de nuevo, y en parte para disipar el enojo causado en el empleador.

La "segunda intención le recomienda al empleador mirar más allá de la situación inmediata y descubrir si es posible, que es lo que ha llevado al individuo a comportarse de ese modo en particular.

Esta visión del problema, cuando puede aplicarse, tiene dos ventajas principales; primero disipa completamente y en forma inocua la explosión inicial de ira, desviando la mente del empleador lejos de la irritación inicial.

El encuentra que su propia concentración está en lo que casi es un problema clínico (el desarrollo de las manifestaciones emocionales retorna a sus verdaderas causas).

Si él puede tomar esta actitud mental, encontrará casi imposible sentir enojo al mismo tiempo y su criterio será gobernado por la razón en lugar de la emoción. La segunda ventaja de este método es que es más propenso a producir una solución limpia y concluyente del problema.

He conocido casos en los cuales un hombre amable y bien intencionado ha tomado decisiones crueles y totalmente injustas, no porque sea una persona intrínsecamente mala, sino porque no pensó suficientemente acerca de una situación. También conozco otros casos en los cuales la "segunda intención" ha conducido a que un hombre haya sido colocado en un pue-

to más apropiado con beneficio para él mismo y para la Empresa.

Esta técnica de la "segunda intención", puede ser aplicada a menudo en forma provechosa lo mismo en la escala descendente que en la ascendente de la jerarquía administrativa.

El Jefe despótico llega a ser mucho menos pesado si tratamos de descubrir qué lo hace comportarse de ese modo. Si observamos que padece de alta presión sanguínea o de úlcera, o si está condenado a soportar una esposa agresiva en casa, su proceder puede ser justificado y tolerado más fácilmente. Es posible también que podamos descubrir en nuestra investigación, que nosotros somos a la larga la causa de la presión y de la úlcera y que nos merecemos el trato que el jefe nos ha dado.

**EL IMPACTO DEL TRABAJO.** Otra actitud mental que siempre me ha interesado es aquella relativa al hombre con su trabajo. Es épocas pasadas, existía una relación persona a persona en el trabajo, y así como los hombres terminan pareciéndose bastante a sus perros, en la misma forma un hombre y sus compañeros de trabajo tienden a desarrollar aquellas cualidades que tienen en común.

Con el auge de la mecanización, las relaciones personales tienden a desaparecer, y en el caso extremo en el cual un hombre encuentra que su única compañía durante sus horas de trabajo es una máquina, terminará pareciéndose a ella. (a menos que se dé cuenta del peligro y tome las medidas necesarias para evitarlo). En consecuencia, ¿qué se puede hacer con respecto a nuestra automatización cercana, con el fin de conservar una actitud mental humana y saludable?. Se me ocurren dos cosas, la primera relacionada con el trabajo y la segunda, relacionada con uno mismo.

En lo concerniente al trabajo, yo pienso que sería provechoso si Bill Smith hace un ejercicio concienzudo de vez en cuando para establecer el impacto del trabajo que él hace sobre la vida de otras personas. Si él está trabajando con un turbo-alternador, sus pensamientos no deben centrarse ex-

clusivamente en revisar la marcha de la máquina o en la misión que le han encomendado sino que también debería pensar en la luz, el calor y la energía del hogar, la oficina y la fábrica y en el hecho de que, gracias a lo que él está haciendo, un cierto número de personas está en capacidad de vivir más plenamente.

El segundo correctivo, aquel que el hombre aplica a sí mismo, es organizar un camino para escapar a la mecanización.

Yo sugiero tratar de cultivar actividades en el tiempo libre, en las cuales el apremio no tenga cabida. Cosas como la literatura, la música y las artes llegan a la mente de tal modo que todo hombre puede profundizar sobre su propia existencia, con la idea reconfortante de que la ciencia es incapaz de establecer lo que es bueno en literatura o bello en arte, y de que aún los mejores críticos pueden estar en desacuerdo.

Yo pienso que el golf debería ser definitivamente incluido en esta lista de actividades, aunque existe la teoría de que los golfistas juegan contra fantasmas y a que se ha comprobado que, en efecto, juegan contra ellos mismos y contra las mañas e inhibiciones que lo hacen tan caprichoso como es.

**MANO DE OBRA.** La mano de obra es evidentemente mucho menos de lo que fue hace una generación o aún más y ya que esto se debe en gran medida a la adopción de la técnica de producción en masa, yo pienso que es a causa también en algún grado, de una concepción mental diferente del trabajo manual.

El trabajo de alta calidad de cualquier tipo solo puede producirse con gran concentración. Un trabajador manual o un artista debe pensar en parte en lo que está haciendo en el momento y en parte en lo que está tratando de hacer en conjunto. El ritmo acelerado de la vida moderna y la urgencia de resultados rápidos lo inducirán a pensar más en la creación final y menos en el martillar o en el movimiento inmediato del pincel. La imagen mental que yo tengo del antiguo trabajador manual lo representa con un 90% de su



mente concentrada en el corte inmediato de la sierra o la actividad que él está ejecutando, y un 10% concentrada en la relación de este trabajo con el artículo acabado.

El ve una acumulación de acciones perfectas para llegar a un producto final perfecto.

La tendencia actual es a invertir estos porcentajes con el resultado de que la velocidad, la cual domina el proceso, obliga al trabajador a pensar la mayor parte del tiempo en el artículo final y muy poco en las actividades que el está desarrollando.

De este modo corremos el riesgo de lograr un trabajo que funciona pero carente de perfección (una herramienta con mal acabado, un cojinete pobremente instalado, el alineamiento que no es perfecto pero que es casi suficiente).

Yo pienso que esta situación puede ser mejorada si, en la enseñanza de la ejecución del trabajo de nuestros estudiantes, inculcáramos algún conocimiento de cómo pensar en la labor que está ejecutándose.

La habilidad para concentrarse puede perfeccionarse con la práctica y con el ejercicio, el cual puede ser desarrollado en los momentos libres. Puede ser un ejercicio de control mental y puede ser el caso de un estudiante que decide pensar tanto como sea posible exclusivamente acerca de una cosa, (un frasco de tinta, por ejemplo).

El puede encontrar una vez que comienza a pensar intensivamente en el frasco de tinta, que empiezan a filtrarse pensamientos irrelevantes y distractores.

El tendrá que deshacerse de ellos y volver a su frasco de tinta de vez en cuando, pero eventualmente descubrirá, si es suficientemente paciente y tiene fuerza de voluntad, que es capaz de tomar control de la situación mental y concentrarse en cualquier imagen durante el tiempo que desee. El puede pasar de esta condición a una en la cual puede retener la imagen mental mientras se desarrolla una conversación a su alrededor y mientras un programa de radio o aun dos, están al alcance de su oído.

El siguiente paso puede compren-

der la ejecución de tareas más y más complicadas con el mismo tipo de distracciones bombardeándolo. Un ejercicio de 15 minutos durante la semana sobre lo dicho aquí debería incluirse en el currículo educacional, ejercicio que aportaría ventajas y capacitaría al estudiante para hacer sus tareas en una casa llena de niños gritones sin alterarlo.

**GERENCIA.** Muchos de ustedes indudablemente, llegarán a ser gerentes de empresa, y en un futuro podrían tener control sobre sus propias industrias. Menciono este tema a causa de la idea que tengo de que cualquier jefe de labores es responsable inevitablemente de dos productos: Uno es el artículo o servicio que la Firma realiza para el consumidor; el otro es el hombre que ella está produciendo en sus instalaciones.

La existencia de este segundo producto y la responsabilidad por su calidad son raramente reconocidas, pero debería ser obvio que cualquier hombre que consume la mayor parte de su vida activa en una fábrica, no puede permanecer incólume frente a esta situación.

El llegará a ser peor o mejor, más feliz o más infeliz, más sano o menos sano, más sabio o menos sabio a causa de su desenvolvimiento en el medio, ya que nada por naturaleza permanece estático en el transcurrir de los años.

La fábrica debe producir un artículo de alta calidad para el consumidor si quiere permanecer dentro del mercado. Esta relación entre calidad y mercado es obvia o debería serlo para todo hombre en su trabajo.

Nosotros sabemos por experiencia que una fábrica que se preocupa únicamente por la producción de materiales de alta calidad, puede producir al mismo tiempo hombres de baja calidad.

Supongamos sin embargo, que tenemos una firma fabricante de cables de alta calidad y que también reconoce su responsabilidad en la calidad del personal trabajador. Si nosotros alteramos las prioridades y nos consideramos una organización productora de hombres de buena calidad y que, además, produce cables, entonces no per-

demos, ya que un hombre de calidad pobre bajo ciertas circunstancias puede producir un cable de calidad alta, y en cambio un hombre de calidad alta, por definición, nunca producirá un cable de calidad baja.

Yo he exagerado este argumento con el fin de que al menos algunos de sus puntos claves sean aprendidos, pero pienso que, en esencia, representa una actitud mental que debe ser tenida en cuenta si el trabajador y la gerencia trabajan juntos para el bien común.

**CONCLUSION.** Finalmente, hay la necesidad de mantener, como una actitud mental básica, el propósito saludable de forjarse un puesto en el esquema de las cosas. Veo a un ingeniero joven y bien preparado como una moneda acuñada recientemente puesta en circulación.

Una cara de ella representa su educación y formación técnica, y es brillante y nítida como debe ser ya que han sido expertos quienes trabajaron, diligentemente en su pulimento durante diez o quince años.

El otro lado de la moneda representa la formación con respecto a los demás y se refleja en su relación con cualquier persona, desde el hombre que barre el piso hasta el gerente.

A pesar de su experiencia acumulada, el podrá ser una persona mediocre egoísta, mezquina e intolerante, e inferior en muchos aspectos a cierto número de las personas más humildes a su alrededor, y existe a menudo el caso en el cual su futuro en el mundo humano será juzgado más por estas cosas que por el rendimiento académico que ha adquirido durante su formación. ■

## Suscribase!

A la revista  
**ESCUELA  
COLOMBIANA DE  
INGENIERIA**

Por sólo

**\$ 8.000 anuales**



# Transporte e Impacto Ambiental en las Ciudades Colombianas

POR : EMILIO LATORRE ESTRADA

INGENIERO ELECTRICISTA, MAGISTER EN INGENIERÍA DE TRANSPORTE Y DOCTORADO EN PLANIFICACIÓN REGIONAL Y URBANA. PROFESOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE, CALI, COLOMBIA.



**INTRODUCCION.** Las vías, el tránsito y el transporte a nivel urbano son aspectos que se identifican mucho con el "progreso" de una ciudad. Pero mu-

chas veces su construcción desmedida y el sacrificio de otros valores urbanos, en aras de una rápida movilización, llevan a poner en duda los atractivos de la vida urbana.

En efecto estos tres elementos (las vías, el tránsito y el transporte) tienen un impacto ambiental significativo, no solo por la transformación del espacio natural, sino por las actividades que genera y por los efectos de la circulación de los automotores.

Es indispensable que se miren con mayor cautela las inversiones y los incentivos para que este sector se amplíe y se reconsidere su papel en la sociedad.

Hay que tener presente que la tasa de crecimiento de los vehículos en nuestras ciudades y con ellos los insumos necesarios para su funcionamiento, la necesidad de construcción de nuevas vías, de estaciones de servicio, y de otros elementos de apoyo, traen como consecuencias el aumento en el nivel de contaminación ambiental, de la accidentalidad, de la congestión y en general del deterioro de la calidad de la vida urbana a expensas de la movilización.

En este artículo se analiza el im-

pacto ambiental producido por los diferentes agentes ligados al transporte y al tránsito en las ciudades de Colombia y se plantean algunas soluciones para minimizar este impacto.

## 1. TRANSPORTE URBANO E IMPACTO AMBIENTAL: CONSIDERACIONES GENERALES.

**1.1 Agentes de impacto ambiental y elementos vulnerables de la ciudad asociados al tránsito y al transporte urbano.** El impacto ambiental del transporte urbano es producido por cinco agentes generadores que son los siguientes:

- a) Los asociados a los vehículos, su existencia y su desplazamiento.
- b) El transporte colectivo de pasajeros.
- c) El transporte de carga.
- d) La construcción y conservación de vías.
- e) Los peatones (en menor grado que los demás agentes).

Se entiende el medio ambiente como conformado por los elementos de la ciudad susceptibles de recibir un impacto positivo o negativo como consecuencia de la acción directa o indirecta de los anteriores cinco agentes.

Estos elementos del medio ambiente pueden tener, a su vez, un impacto sobre el ser humano o sobre otros componentes de la ciudad que indirectamente afectan a la sociedad.

Ellos son once, así:

- a) Los cursos de agua y la escorrentía,
- b) El suelo,
- c) La atmósfera,
- d) El ruido,
- e) La accidentalidad,
- f) El peatón,
- g) El espacio público,
- h) La arborización urbana y las zonas verdes,
- i) El paisaje urbano,
- j) Los aspectos psicológicos,
- k) Los aspectos socioeconómicos.

**1.2 Caracterización general de impactos ambientales asociados a los agentes.** Este análisis se hace dentro de una perspectiva más amplia que la simplemente referida al resultado ambiental del desplazamiento de vehículos a lo largo de las vías.

A continuación se hace una breve descripción de los impactos asociados a los agentes ya señalados, teniendo como referencia tres aspectos:

- a) Las actividades indirectas o directas que anteceden a la acción del agente,
- b) Los impactos directos asociados a la propia actividad del agente,
- c) Los impactos que están asociados a actividades resultantes de la acción del agente.

**1.2.1 Impactos asociados a los vehículos.** Debido a las actividades



que anteceden a la operación de vehículos se tienen los siguientes impactos:

**a) Impactos que anteceden:**

Industria del petróleo,  
Industria minera asociada a la producción de elementos metálicos para los vehículos,

Industria automotriz,

Almacenamiento, transporte y distribución de combustible,

Industria de llantas.

**b) Impactos directos de la actividad:**

Contaminación atmosférica,

Ruido,

Accidentalidad,

Aceite y combustible que se vierte al alcantarillado y al suelo,

Consumo de espacio para tránsito y estacionamiento,

Stress sobre conductores y peatones.

**c) Impactos resultantes**

Residuos sólidos asociados a la operación y desechos de los vehículos (chatarra, cementerios de autos, llantas usadas, tarros de aceite y combustible),

Talleres automotores,

Quema de llantas.

### 1.2.2 Impactos asociados al transporte público de pasajeros.

Dado que en el punto anterior se ha hecho referencia al impacto de los vehículos, en este numeral se concentra la atención en el impacto ambiental directamente atribuido a la operación del sistema de transporte público colectivo.

Los principales efectos están asociados con los siguientes puntos:

Localización y operación de terminales,

Estrés, hacinamiento e incomodidad de los pasajeros en los paraderos y en el viaje (frenadas, velocidad),

Incertidumbre de los pasajeros sobre lugares de parada del vehículo,

Gases de escape en los vehículos y su efecto sobre los pasajeros,

Comodidad, dotación interna de los vehículos,

Accidentalidad,

Ruido en el interior de los vehículos,

Tratamiento y posibilidades para ancianos, niños, mujeres embarazadas, enfermos y minusválidos.

**1.2.3 Impactos asociados al transporte de carga.** Los efectos ambientales asociados a la operación del transporte de carga y sus actividades complementarias son los siguientes:

Localización y operación de los terminales de las empresas de carga, tránsito y cargue y descargue,

Impacto del tránsito de vehículos pesados y de su cargue y descargue en plazas de mercado,

Transporte de productos peligrosos,

Afectación de las vías y el alcantarillado por exceso de peso,

Materiales de construcción que caen a la vía desde los vehículos.

### 1.2.4 Impactos asociados a las vías.

**a) Impactos que anteceden a la construcción y/o conservación de vías:**

Explotación de canteras,

Industria del cemento,

Industria petrolera y plantas de asfalto.

**b) Impactos directos en construcción y conservación:**

Impacto de los vehículos involucrados en la construcción y conservación de vías (volquetas, mezcladores),

Preparación de materiales in-situ,

Trabajadores del proyecto, seguridad industrial y medidas sanitarias y su impacto sobre la zona,

Contaminación atmosférica por polvos y combustible,

Ruido,

Tala de árboles y destrucción de áreas verdes (bosques relictuales o secundarios),

Destrucción de fauna asociada la vegetación (aves especialmente),

Materiales de desecho (escombros) y su disposición intermedia y final,

Obstaculización del tráfico y congestión en vías aledañas.

Riesgos de accidentalidad,

Escorrentía y drenajes en la zona del proyecto (inundaciones y charcos) y en áreas naturales de escurrimiento,

Posibles afectaciones de zonas históricas (arquitectura urbana) o arqueológicas,

Estabilidad de suelos,

Contaminación de cauces (combustible, erosión),

Afectación de los servicios públicos, Paisaje y estética urbana,

Consideraciones sobre el peatón.

**c) Impactos resultantes**

Segmentación y aislamiento de vecindarios,

Impacto económico de los cobros por valorización,

Actividades inducidas por el proyecto que puedan ser incompatibles con los usos actuales o previstos,

Usos del suelo inducidos y no deseados en la zona de influencia del proyecto,

Posible accidentalidad generada,

Subsidio del Municipio a los autos (directo e indirecto).

### 1.2.5 Impactos asociados a los peatones.

Estos impactos se pueden entender en dos sentidos. Por un lado el deterioro que el flujo peatonal pueda causar al ambiente y por otro, el que otros entes urbanos diferentes de los vehículos puedan causar al flujo peatonal.

En el primer caso el impacto de los peatones puede darse por arrojar basuras a la vía pública, por deteriorar las zonas verdes y los árboles o por atentar contra el ambiente urbano.

En el segundo caso pueden tener influencia en el desplazamiento de los peatones los siguientes elementos:

El polvo en las vías (ya sea por causa del viento o de otros agentes),

El ruido (altoparlantes, pregoneo, actividades industriales),

El libre desplazamiento por:

Falta de andenes,

Andenes angostos,

Obstáculos en el andén (postes, avisos, huecos, diferencia de niveles),

Vendedores ambulantes,

Vehículos estacionados en los andenes,

Falta de facilidades para minusválidos.

## 2. PROPUESTAS DE MITIGACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

Las propuestas aquí presentadas se organizan desde los elementos más globales hasta los más específicos. Ellas se refieren no solo a la mitigación de los impactos posibles resultantes de la construcción de vías, del transporte y



del tránsito, sino a la disminución de los impactos actuales en las ciudades colombianas.

**2.1 La solución de la NO-MOVI-LIZACIÓN.** Esta propuesta está relacionada con acciones en elementos diferentes al sistema de transporte. Su aplicación puede ser una solución no temporal sino estructural a los problemas del sector. Se trata precisamente de evitar los desplazamientos de personas mediante los siguientes instrumentos:

Manejo de los usos del suelo para permitir y promover la localización de actividades complementarias a las zonas residenciales, especialmente en trabajo, comercio, instituciones (educación y salud) recreación y microempresas no contaminantes. Se busca así conformar zonas autosuficientes.

Descentralización de Actividades Terciarias del sector público y privado para evitar grandes desplazamientos [1]. Pagos de servicios públicos, bancos, notarias, servicios profesionales y similares,

Impulso a las comunicaciones urbanas, mediante el mejoramiento de las redes telefónicas y ampliación de la cobertura, mejoramiento del correo urbano [2] (buzones en zonas residenciales, mejoramiento de la frecuencia de recolección, ampliación de las ventas de estampillas), establecimiento y promoción masiva de los pagos por correo y de otras modalidades de pago (por tarjeta de crédito) compras por teléfono y demás actividades que busquen evitar los desplazamientos de las personas,

Escalonamiento de horarios para evitar al máximo las horas pico y la implantación de la jornada continua.

**2.2 La Legislación y su Aplicación.** En áreas muy específicas, de competencia, tanto del nivel nacional como local se requiere ampliar y aplicar la legislación. Entre otras las más relevantes parecen ser las relacionadas con:

Normas de contaminación atmosférica para fuentes móviles (vehículos) y su control y sanción por parte de las autoridades de tránsito,

Perfeccionamiento de las normas sobre ruido automotor y su control y sanción por parte de las autoridades de tránsito,

Normas sobre parqueo en espacios públicos,

Normas mínimas sobre andenes y sus características,

Normas sobre tránsito pesado, fijación de rutas y horarios de cargue y descargue,

Normas más estrictas sobre localización y operación de terminales de transporte público y de carga.

**2.3 Aspectos Institucionales.** Es de vital importancia la creación en los organismos de Planeación de las ciudades importantes, de una dependencia encargada de realizar los estudios y promover las acciones para recuperar la calidad ambiental de la ciudad y prevenir los futuros deterioros.

**2.4 Participación Ciudadana y Control Ambiental.** Unos de los mecanismos más descentralizados y efectivos para controlar el impacto ambiental es la participación ciudadana en los asuntos ambientales en general y, en particular, en los asociados al sector que aquí se trabaja. Por un lado se debe promover la creación de instancias que permitan a la comunidad acudir para denunciar o promover acciones protectoras del ambiente, que tengan efectivamente respuesta de la administración y por el otro impulsar la fiscalización y la formulación de propuestas en las Juntas Administradoras Locales.

**2.5 Prevención y Disminución de los Impactos Vehiculares.** Promover acciones ante el gobierno central para lograr mayor eficiencia en el consumo de combustible de los vehículos fabricados en Colombia y de los importados.

Promover acciones para establecer normas sobre emisiones de contaminantes atmosféricos y producción de ruidos en los automotores y establecer los mecanismos (compra de equipos y su montaje) para que el Centro de Diagnóstico Automotor incluya obligatoriamente estos aspectos en la re-

visión periódica realizada.

Establecer y aplicar normas para el funcionamiento de los talleres de reparación de automotores y evitar la invasión de los andenes y vías públicas y los deterioros ambientales por su operación en su área de influencia.

Reforzar las normas sobre requisitos mínimos de áreas de parqueo fuera de vía en las nuevas construcciones residenciales (especialmente en edificios y multifamiliares).

Promover el reciclaje de los residuos sólidos asociados a los vehículos, en particular las llantas, repuestos, envases vacíos de lubricantes, filtros de aceite y similares.

Crear un sistema de información permanente de registro, análisis y acciones relacionados con la accidentalidad vial, que permita no solo promover acciones viales para su disminución sino la información al público.

Realizar un proceso gradual para controlar las infracciones de tránsito y reforzar los controles, con miras a prevenir la accidentalidad.

Facilitar y promover el uso de modos alternativos de transporte no contaminante, especialmente el uso de la bicicleta y del transporte peatonal. En algunas ciudades colombianas este transporte es muy importante, Valle del Cauca o Costa Atlántica.

La Bicicleta. Las acciones en este sentido pueden ser varias. En primer lugar promover la organización de estacionamientos de bicicletas, empezando por las instalaciones del sector público, de acuerdo con estudios específicos de generación y atracción de viajes por este modo; en segundo lugar evaluar la factibilidad de implantar una ciclovía permanente o de carriles exclusivos con separación física (sardinel o estoperoles) en los corredores arriba mencionados, en tercer lugar promover el respeto al ciclista por parte de los conductores de vehículos y de los peatones y en cuarto lugar promover el cum-

{1} En este sentido los CALIs son uno de los instrumentos pioneros en Colombia y sus servicios pueden ser incrementados.

{2} Es inclusive posible promover la creación de una empresa mixta o privada de correo municipal.



plimiento de las normas de tránsito y de la correcta conducción entre los ciclistas.

**El Movimiento Peatonal.** Como mecanismos para promover este tipo de movilización se tienen varios:

Ampliar las normas sobre ancho de los andenes,

Promover la arborización en un espacio para la zona verde en el andén,

Eliminar al máximo los cruces a desnivel para peatones (puentes peatonales) y promover las movilizaciones más directas posibles,

Promover la conformación de Vías peatonales,

Campañas para controlar y evitar la invasión de andenes por vendedores ambulantes, especialmente en las esquinas,

Sancionar la invasión de espacios verdes y andenes por vehículos automotores y en especial por las motocicletas;

Generalizar la colocación de semáforos peatonales e instalar semáforos accionados por el peatón que desea cruzar la calzada, [3]

Evitar los cambios de nivel y las pendientes en los andenes,

Establecer "rutas peatonales" que puedan conformarse entre sitios de generación y atracción de viajes representativos y que permitan la utilización de andenes bien conformados, áreas verdes y parques,

Sancionar las infracciones de vehículos contra peatones y promover la prioridad de los peatones sobre los giros a la derecha de los automotores.

**2.6 Prevención y mitigación de los impactos del Transporte Público Colectivo de Pasajeros.** Mejoramiento de las condiciones de los terminales y eliminación de los impactos en su área de influencia.

Promover el mejoramiento de la operación y estado de los vehículos haciendo obligatoria la revisión periódica de los vehículos.

Esta acción debe hacerse reforzando los criterios de rechazo por malas con

[3] Por ejemplo en el cruce de la Avenida 2N entre el CAM y el Conservatorio, en Cali.

diciones de los automotores y las medidas de presión para lograr que los vehículos tengan un adecuado mantenimiento.

Promover la adquisición de nuevos vehículos con mejores características.

**2.7 Prevención y mitigación de los Impactos del Transporte de Carga.**

En cuanto a terminales se sugiere reforzar los proyectos de la Central de Carga, para evitar al máximo los flujos de tráfico pesado en la ciudad. Igualmente fijar ciertas vías para uso del tráfico pesado e informar de ello a las empresas, y mediante señalización informativa en las vías.

**2.8 Prevención y mitigación de los Impactos Viales.**

Para la prevención de los impactos de la construcción de vías y de proyectos grandes de infraestructura de transporte (terminales, sistemas de transporte férreo), se propone la obligatoriedad de la realización de un ESTUDIO DE IM-

PACTO AMBIENTAL, cuyos parámetros debe ser fijados por Planeación Municipal, la cual lo evaluará y conceptuará sobre la conveniencia o no de la construcción de la vía o sobre las medidas de mitigación que se hace necesario implantar.

Estos estudios serán elaborados por la entidad responsable del proyecto, o podrá establecerse un grupo en Planeación que haga esta tarea o contratarse con firmas especializadas en casos muy significativos.

**BIBLIOGRAFIA.** LATORRE, Emilio.

Evaluación Ambiental del Plan Vial y de transporte de Cali. Planeación Municipal de Cali. Cali, Agosto de 1991.

SCHAEFFER, K.H. Y SCLAR, Elliot. Access for All. Transportation and Urban Growth. Penguin Books, Middlesex, England, 1975.

THE INDEPENDENT COMMISSION ON TRANSPORT. Changing Directions. The Ecological Foundation. Coronet Books. Wawinck, England, 1974.



**plinio navarro  
y cia. Ltda.**

ingenieros

s.c.i.

**instalaciones hidráulicas, sanitarias,  
vapor y gases.**

**acueductos y alcantarillados.**

**carrera 43.A no. 21-35 Int: 4 .**

**tel: 2-682311 fax: 2695391**

**santafé de bogotá - colombia**



# PROYECTO HIDROELECTRICO EL GUAVIO

**POR : JUAN ANTONIO ACOSTA GEMPELER**

INGENIERO MECÁNICO, UNIVERSIDAD NACIONAL. INGENIERO ASOCIADO INGETEC S.A., ESPECIALISTA EN MÁQUINAS HIDRÁULICAS.

**S**i usted, posible lector de este corto artículo, está esperando encontrar en él una nueva versión de los innumerables documentos que se han publicado en los últimos años sobre el controvertido proyecto que se menciona en el título y, una nueva defensa o crítica sobre la planeación y/o desarrollo del mismo, le aconsejo pasar de largo y aprovechar su tiempo con la lectura de otros artículos que seguramente le resultarán más interesantes.

El autor conoce de cerca las experiencias y sucesos que se propone relatar y tuvo la fortuna de participar como pocos en la concepción, diseño y montaje de algunos de los equipos que harán que el proyecto del Guavio sea una realidad en un futuro cercano y por lo tanto se propone únicamente transmitir a los lectores de esta revista algunas de sus impresiones al respecto.

En primer lugar, deseo destacar que un Proyecto hidroeléctrico nace no solamente de la necesidad de producir energía para un país, cuya demanda siempre creciente es una señal esperanzadora de desarrollo industrial y social, sino de la visión, entusiasmo y dedicación de muchas personas que como usted o yo amable lector, trabajan, luchan y se esfuerzan por mejorar cada día este país en el que vivimos y quieren lograr que sus hijos tengan un

futuro mejor. En efecto, es relativamente fácil (la retrospectiva, como todo el mundo sabe, es una de las pocas ciencias exactas) mirar hacia atrás y darse cuenta de los errores cometidos y disertar con seguridad y displicencia sobre lo que se debería haber hecho para que las cosas resultaran mejor, pero es comparativamente difícil reconocer los aciertos, el intenso trabajo y el esfuerzo consumidos en la concepción y desarrollo de una obra de tan gran magnitud como la que nos ocupa.

Si bien es cierto que los costos del Proyecto de producción de energía más grande del país han sido excepcionalmente altos, también es cierto que sus beneficios serán extraordinarios no solo en el campo del progreso económico sino en el de la experiencia y capital humanos que son en gran medida la base del desarrollo integral de un país.

Para entrar en el tema de mi especialidad (como ingeniero mecánico conozco muchos aspectos de las demás disciplinas que intervienen pero sin la suficiente profundidad para tratarlos) quiero destacar que los equipos mecánicos son un elemento fundamental de un Proyecto Hidroeléctrico, sin los cuales serían inútiles las gigantescas obras de ingeniería civil como la presa, los túneles y las cavernas que son lo que destaca normalmente por su tamaño, dificultad y costos de construc-

ción (y porque se pueden mostrar al ministro o presidente de turno para impresionarlos).

Para los legos en el tema, considero necesaria una breve explicación sobre lo que se considera como equipos mecánicos en un proyecto hidroeléctrico -que no tienen nada que ver con la mecánica de rocas, tan familiar para los MSc en geotécnia- los equipos mecánicos son pues aquellos que mueven los generadores de energía (Turbinas), cortan o regulan el paso del agua (válvulas y compuertas), ayudan al desmontaje y mantenimiento de grandes piezas (Puente-Grúas), suministran aire fresco y regulan la temperatura ambiente (ventiladores, ductos y unidades acondicionadoras) y suministran agua y aire comprimido para diferentes usos (bombas y compresores).

En esta ocasión voy a limitarme a hablar sobre los equipos mecánicos instalados en la Presa y obras anexas del Proyecto

Guavio, los cuales estarán en operación cuando este artículo sea publicado (al menos eso espero).

En la monumental Presa del Río Guavio (Presa Alberto Lleras Camargo), que todos los que tienen directorio telefónico habrán visto fotografiada en su portada alguna vez, se encuentran instalados los equipos necesarios para su protección y para la conducción de las aguas almacenadas hacia



los túneles de la Central Hidroeléctrica. Dichos equipos son, las Compuertas del Rebosadero, las Válvulas del Túnel de Carga, las Válvulas de la Descarga de Fondo y la Compuerta de Rodillos en la galería del "By-pass".

Las compuertas del Rebosadero, (ver foto No. 2) únicas en su género en Colombia, son dos, de tipo radial y se encuentran situadas en la parte superior de la presa en su estribo derecho; tienen una altura de 17 metros y ancho de 10 metros cada una y poseen la característica particular de ser contrapesadas, o sea que en caso de emergencia se abrirán solas por efecto de contrapesos en su parte posterior, para proveer así una máxima seguridad contra posibles crecientes extraordinarias.

Para la operación de cierre, las compuertas están provistas de servomotores hidráulicos operados por una central oleodinámica que se diseñaron para vencer la diferencia de peso entre el escudo de la compuerta y su contrapeso. Adicionalmente, las compuertas son capaces de regular el nivel del embalse en toda la altura de las mismas, ya que pueden ser detenidas en cualquier posición intermedia por medio de los servomotores.

Como características adicionales se pueden mencionar, en primer lugar, que las compuertas están provistas de deflectores en su parte superior, lo cual permite pasar una lámina de agua de hasta 3 metros por encima de las mismas, en su posición cerrada. En segundo lugar su peso de alrededor de 400 toneladas, y en tercer lugar que poseen bombas de emergencia a gasolina y manuales en caso de falla en el suministro de energía.

Si algún lector curioso desea saber cuál es el caudal que puede pasar por el rebosadero, le puedo decir que no lo sé pero, (como decía mi Santa Abuela "Doctores tiene la Santa Madre Iglesia que os podrán responder") con mucho gusto se lo podré averiguar.

Para la adquisición de las Compuertas del Rebosadero, entre otros equipos, la Empresa de Energía de Bogotá abrió la licitación G-013B en el Año 1984 y le adjudicó el suministro al "Consortio Colombo-Argentino IMPSA-FERTECNICA", liderado por

una prestigiosa firma Argentina con gran experiencia en este tipo de equipos (no solo futbolistas exporta la Argentina, como se suele creer).

Los diseños fueron revisados y aprobados por otra prestigiosa firma Colombiana cuyo nombre no quiero mencionar para no pecar de presuntuoso (ya que se trata de la mejor firma de Consultoría del país), y los equipos fueron fabricados por Compañías Argentinas, Alemanas y Colombianas.

Es necesario mencionar que durante el montaje de las compuertas del Rebosadero hubo que resolver numerosos inconvenientes como la dificultad

Para la operación de cierre del embalse, se diseñó un "by-pass" o derivación en el túnel de desviación, por el cual pudiera circular el agua del río mientras se construía el tapón de concreto que obturaría dicho túnel; en este by-pass se instaló una Compuerta de Rodillos, accionada por servomotores hidráulicos, la cual serviría como elemento de cierre definitivo para iniciar el llenado del embalse.

La mencionada compuerta obtura un pasaje (galería del "by-pass") de 4 metros de alto X 2 metros de ancho con una capacidad nominal (a flujo libre) de 30 m<sup>3</sup>/seg, lo cual, teniendo en

### Unidad Hidráulica para control de válvulas-modificaciones por el técnico de VOEST-Alpine



Foto No. 1

de manejo de las enormes piezas de hasta 23 toneladas de peso, el tensionamiento de largos pernos de anclaje para el soporte de los servomotores y el montaje de las delicadas rótulas de giro con ajustes de alta precisión, los cuales fueron resueltos sobre la marcha gracias a la colaboración entre el personal de la Empresa, los Contratistas de montaje y los fabricantes. En el momento de escribir este artículo, las pruebas de las compuertas han sido suspendidas y se está llevando a cabo una revisión exhaustiva por parte de especialistas de los fabricantes para corregir anomalías de funcionamiento que aún no han podido ser resueltas.

cuenta que el caudal promedio del río Guavio es de 59 m<sup>3</sup>/seg, significó que la construcción del tapón del túnel de desviación y el cierre definitivo de la compuerta debían realizarse necesariamente en verano.

La Compuerta de rodillos del "by-pass" se diseñó para soportar una presión equivalente a unos 80 m de columna de agua con el fin de permitir la colocación de un tapón de concreto en la galería del "by-pass" que soportará en definitiva la presión del embalse.

Puesto que la operación de la compuerta de rodillos debía hacerse "a ciegas", se realizaron numerosas pruebas de operación, simulando todas las posi-





Foto No. 2

## Rebosadero compuerta radial-vista aguas arriba

bles circunstancias que pudieran presentarse, incluso el caso de que se atravesara un madero o una piedra mientras se producía la operación de cierre.

El día 31 de enero de 1992 se procedió, con pleno éxito, a cerrar la compuerta de rodillos para iniciar el llenado del embalse del Guavio.

Como anotación adicional, se puede mencionar que la compuerta de rodillos se adquirió bajo el mismo contrato que las compuertas radiales.

Caso curioso, tal vez por ser fabricadas bajo el mismo contrato y ser "hijas" de la misma compañía, tanto las Compuertas del Rebosadero como la de Rodillos resultaron bastante temperamentales y no abrían y cerraban sino cuando les daba la gana, por lo cual tuvieron que ser sometidas a tratamientos especiales (con "psicólogos" (1) importados) para lograr superar

sus complejos y se comportaron debidamente (sin embargo, aún hoy me informaron que una de las Compuertas se está abriendo allí en el rebosadero, por iniciativa propia y sin autorización de la Interventoría).

Aunque no tan espectaculares ni tan vistosas, las válvulas de la conducción principal no dejan de ser unos equipos muy interesantes; en efecto, se suelen proteger las largas conducciones de las centrales hidroeléctricas por medio de elementos de cierre, para que, en el caso de que presenten daños o filtraciones excesivas de agua al exterior, se puedan efectuar las inspecciones y/o reparaciones correspondientes (como dato estadístico, hasta donde yo conozco, siempre se presentan daños en los túneles-con perdón de los expertos en geotecnia).

El túnel de conducción, o túnel de

carga, se divide en dos ramales en cada uno de los cuales se instaló una válvula de 4 metros de diámetro, aguas abajo de las cuales, los ramales se vuelven a unir en un solo túnel. Fue necesario usar dos válvulas en paralelo puesto que la infraestructura vial del país no permitía transportar válvulas de casi 6m de diámetro que sería el equivalente necesario para instalar una sola válvula sobre la conducción.

Como característica única en el país, puedo mencionar que estas válvulas están provistas de doble sello de estanqueidad; uno de servicio y otro de mantenimiento, la razón de esto último es obvia(2), en general los daños internos que sufre una válvula de este

(1). Léase "técnicos extranjeros", los cuales por el hecho de ser extranjeros necesariamente saben más que los nativos.



tipo (llamada válvula Mariposa) se limitan al deterioro del sello de caucho, siendo necesario a veces instalar hasta dos válvulas en serie para efectos de protección y mantenimiento; en el caso del Guavio, basta con aplicar el sello de mantenimiento para poder reemplazar el sello de servicio sin ninguna dificultad.

Además del doble sello, las válvulas de Guavio se caracterizan por trabajar a una presión, que relacionada con su diámetro hace que sean superadas por muy pocos ejemplares en el mundo, soportando una presión equivalente a 195 m de columna de agua (alrededor de 2500 toneladas); cuando están abiertas, permiten el paso de 176 m<sup>3</sup>/seg de agua hacia la central hidroeléctrica.

Las válvulas del túnel de carga son accionadas por servomotores hidráulicos de aceite, para el movimiento de apertura; y para el cierre, son operadas por contrapesos colocados en ambos lados de su estructura.

En el "by-pass" del túnel de desviación, se instalaron, además de la compuerta de rodillo, dos ramales de tubería, cada uno provisto de una válvula del tipo mariposa y una de Chorro Divergente o "Howell-Bunger". Las válvulas Mariposa son fundamentalmente iguales a las del túnel de carga pero más pequeñas (solamente 2.5 m de

diámetro) y sirven para poder hacer mantenimiento a las "Howell-Bunger".

Los dos ramales de tubería con sus válvulas, servirán como descarga de fondo (o sifón) del embalse, con el fin de controlar el nivel de agua y evacuar parcialmente los sedimentos que se van acumulando en el fondo.

Las válvulas "Howell-Bunger" (llamadas así por alguna razón que en el momento escapa a mi memoria), consisten básicamente en una tubería en cuyo extremo se instala un cono de acero, sostenido por unas placas soldadas en forma radial al cuerpo de la válvula; el agua al salir choca con el cono y sale en forma divergente, disipando así en parte la energía que posee el chorro de agua. Como obturador o elemento de cierre, se usa una "camisa" o cilindro que se desliza sobre el cuerpo de la válvula y encaja al final de su recorrido con la base del cono en la cual hay un sello de caucho (esto parece difícil de explicar, y lo es, así que mejor trataré de incluir una foto o un dibujo de la válvula).

Como todo lo que realmente vale la pena en este mundo, las válvulas Howell-Bunger tienen sus grandes enemigos y sus grandes amigos (realmente hay poca gente que conozca el tema para la cual sean indiferentes). Los grandes enemigos son aquellos

que han leído ó que han visto funcionar válvulas de este tipo en forma defectuosa y ya se "curaron" (al perro no lo pelan, dos veces, dicen) y los grandes amigos son aquellos que han estudiado, ensayado soluciones, fracasado y vuelto a estudiar, y que finalmente creemos que ya se han superado las dificultades y se puede garantizar un funcionamiento estable sin contratiempo en estos equipos (hay que volver a subirse al caballo si se quiere aprender a montar, decimos).

Estas válvulas son capaces de descargar hasta 150 m<sup>3</sup>/seg y soportar presiones equivalentes a 216 metros de columna de agua, lo cual sumado a sus 2 metros de diámetro, las convierten en ejemplares muy poco comunes en el escenario de la hidráulica a nivel mundial.

Para la adquisición de las válvulas y sus tuberías asociadas, la Empresa de Energía abrió la Licitación G-013A en el año de 1984 y su suministro fue adjudicado a la firma Austríaca Voest Alpine, no tengo que decir "prestigiosa" porque en este país, el 90% de la gente sabrá que por ser Europea tiene que ser prestigiosa(3). Las válvulas de la descarga de fondo se encuentran operando a la fecha.

Por fin, estimado lector, si es que usted ha tenido la paciencia de llegar a este punto, le puedo informar para su tranquilidad que no es más por el momento y que este artículo termina aquí, ¡Gracias por su atención y hasta una próxima ocasión!

P.D. Como dice la canción "si molesto con mi canto a alguno que ande por ahí..." le pido disculpas de antemano y le aconsejo procure tomar la vida con humor y no tomar muy en serio a los ingenieros que escriben artículos para las revistas.

(2). Como todo el mundo sabe, las cosas son "obvias" únicamente para aquel que dice que son obvias y aún esto último no es tan obvio... Es decir...

(3). Moraleja: si quiere adquirir prestigio, váyase de paseo por Europa o los Estados Unidos.

### Válvula mariposa del túnel de carga-limpieza interior

Foto No. 3





# Conceptos sobre Fracturamientos Hidráulicos para diseño de Túneles a presión

POR : RAMIRO GUTIERREZ R.

ING. CIVIL UNIVERSIDAD JAVERIANA. ING. ESPECIALISTA GEOTECNIA, DEPARTAMENTO TUNELES - INGETEC S.A.

## RESUMEN

**D**entro de los criterios de diseño de túneles a presión aplicados para definir el revestimiento que garantiza la estabilidad de ese tipo de obras durante operación, está el de evitar a toda costa el desarrollo de la fractura hidráulica de la masa rocosa alrededor del túnel, cuando el esfuerzo original insitu menor ( $\sqrt{3}$ ) puede ser inferior a la presión de agua dentro del conducto. El desarrollo de la fractura hidráulica se reduce localizando el conducto bien adentro del macizo rocoso o se elimina completamente utilizando un revestimiento en blindaje de acero que evite la posibilidad de que el agua a presión alcance la masa de roca. En este artículo se presentan en forma resumida varios conceptos relacionados con el fenómeno de la fractura hidráulica y el ensayo para medir el esfuerzo menor original insitu.

**INTRODUCCION.** El incremento de energía eléctrica en nuestros países, ha venido requiriendo un desarrollo de proyectos hidroeléctricos con túneles y pozos con cabezas hidrostáticas de presión cada vez más altas. Esto ha generado un aumento del tamaño de las obras, que por razones económicas se vienen localizando cada vez más cerca de la superficie.

En varios proyectos hidroeléctricos del mundo, construidos en épocas anteriores, se adoptaban criterios de diseño empíricos tradicionales para diseñar los conductos con cabezas hidráulicas de presión bajas, con el fin de ubicar esas obras o definir las cantidades de blindaje para impermeabilizar y evitar la fractura hidráulica. Con el correr de los años algunas de esas obras presentaron fallas, produciéndose grandes filtraciones o pérdidas de agua. Un estudio presentado por Brekke y Ripley (1987), menciona 54 incidentes en túneles con consecuencias mayores, entre más de 160 casos históricos, de los cuales 32 de ellos estuvieron relacionados con pérdidas de agua por deformabilidad de masa de roca, y rasgos específicos geológicos que ocasionaron una alta conductibilidad hidráulica o el fenómeno de la fractura hidráulica de la roca. Esto ha obligado a revisar los criterios empíricos para encontrar la forma más apropiada y práctica para definir el revestimiento en los conductos subterráneos a presión, así como para buscar medidas correctivas y sistemas más eficientes.

**FRACTURA HIDRAULICA DE LA ROCA.** El concepto de la fractura o reapertura hidráulica de la masa de roca se refiere a aquella que puede ocurrir alrededor de un conducto a presión, en cualquier dirección, si el esfuerzo de confinamiento que produce la masa de roca es inferior a la presión interna dentro del túnel. En este caso los esfuerzos tangenciales a tensión que induce la presión del conducto, superan el esfuerzo menor ( $\sigma_3$ ) que está presente en el macizo rocoso, creando una grieta en la pared del conducto, en forma perpendicular a éste o generando la reapertura de las discontinuidades que se encuentran orientadas preferencialmente en el sentido normal al esfuerzo menor. La fractura hidráulica entonces se manifiesta en forma de levantamientos verticales de masas de rocas estratificadas con topografías relativamente planas, o en la reapertura de diaclasas de relajación con movimientos del macizo hacia los valles en sitios con topografías de fuertes pendientes, o en la apertura de bloques de roca o fracturas en masas de roca compresibles, con formación de vías de escape de agua hacia las excavaciones adyacentes o hacia la superficie.

Como consecuencia, las grietas o la extensión de estas pueden incrementarse significativamente, generando un aumento de los caudales de pérdidas de agua, con el desarrollo sucesivo de presiones de agua hacia sectores más alejados, poniendo en peligro instalaciones, obras o poblaciones cercanas.



**CRITERIOS DE DISEÑO.** Diferentes criterios empíricos de diseño se han desarrollado con el correr de los años, para determinar la ubicación de los conductos a presión en forma segura o los requerimientos de un revestimiento de blindaje en el caso de evitar completamente la fractura hidráulica. Todos los criterios se han basado en el concepto de compensar la presión interna con el peso de cobertura de roca por encima del conducto con un margen

en los alrededores o deficiencias locales de la masa de roca como por ejemplo: protuberancias topográficas que ocasionan el desconfinamiento del macizo en diferentes direcciones o zonas de materiales deformables o friables que pueden inducir una variación importante del campo de esfuerzos en cercanías del conducto a presión. Haimson (1989) y Marulanda (1986).

Debido a estos aspectos, los criterios empíricos deben utilizarse con

el otro sistema, en cuanto a que puede ejecutarse en forma sistemática en una o varias perforaciones desde superficie o desde excavaciones subterráneas, orientadas indistintamente. Es un sistema más rápido y presenta mayor facilidad para su ejecución e interpretación, por lo cual ofrece una economía en cuanto a otros métodos.

**ENSAYO DE FRACTURA HIDRAULICA.** El fracturamiento hidráulico clásico

**CRITERIOS DE COBERTURAS**

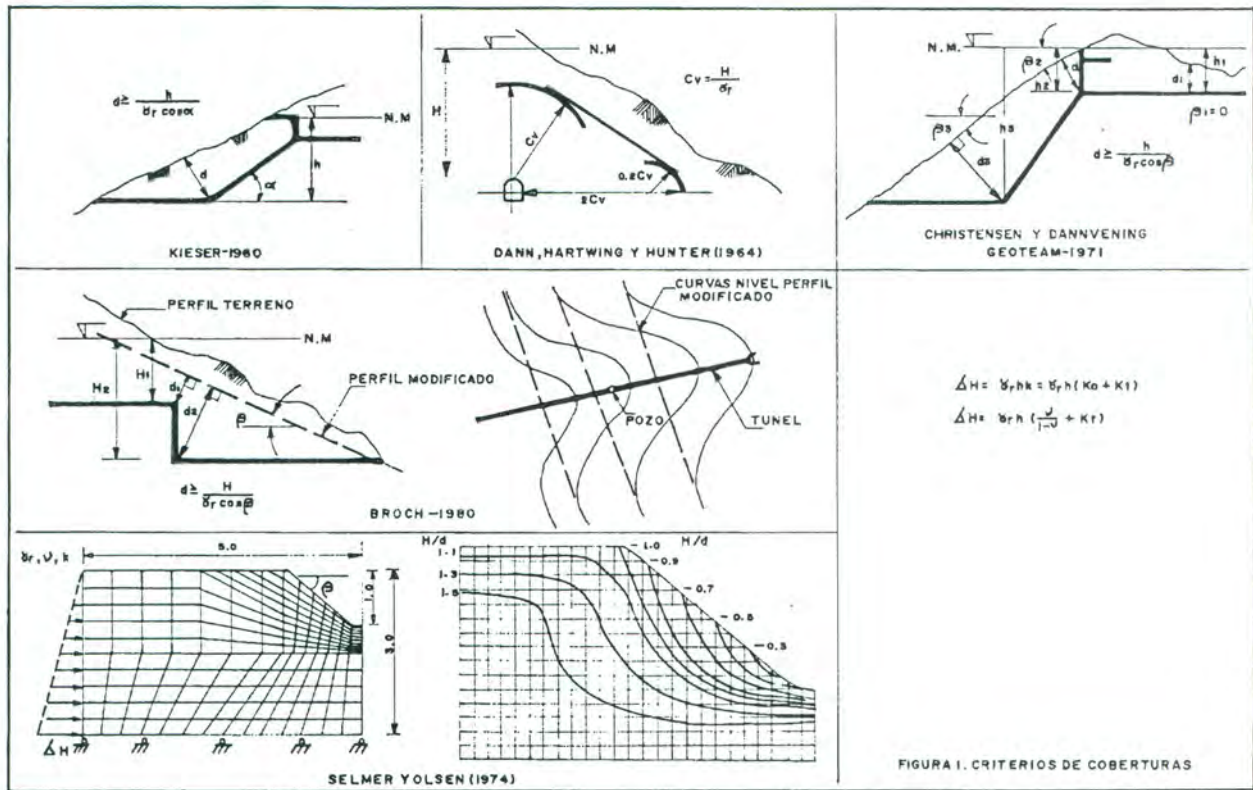


FIGURA 1. CRITERIOS DE COBERTURAS

Figura 1

de seguridad suficiente no menor de 1,3. Kieser (1960), Dann y Hartwing (1964), Christensen y Dannvening (1971), Selmer y Olsen (1974), Broch (1982, 1984). En la Figura 1 se presentan los criterios más utilizados para análisis de coberturas en túneles y pozos a presión.

Sin embargo, el diseño de los conductos a presión basado únicamente mediante criterios empíricos puede ponerlos inseguros, ya sea porque se pueden presentar defectos topográficos

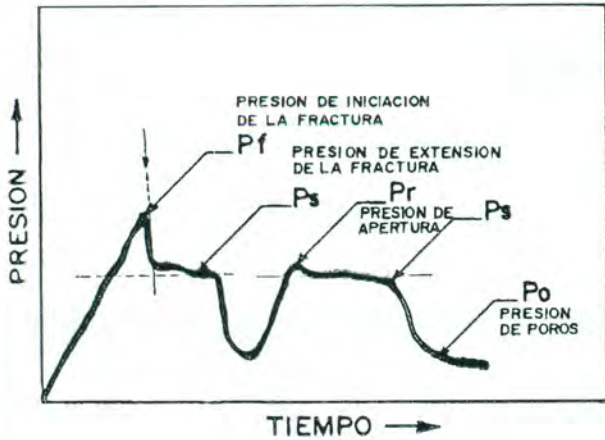
cautela, requiriéndose ensayos in situ sistemáticos para medir el esfuerzo menor en los sitios críticos del conducto a presión. Igualmente se debe tener un conocimiento, lo más completo posible de las condiciones geológicas y geotécnicas de la masa de roca en los alrededores de la excavación.

El esfuerzo menor in-situ original puede medirse con la ejecución de ensayos de núcleos o mediante la técnica del fracturamiento hidráulico. Este último presenta algunas ventajas sobre

sico consiste en la presurización de una sección de la perforación, aislada mediante unos obturadores, donde mediante la inyección de agua a presión se induce y se extiende una fractura de tensión en la pared de la perforación. La presión de agua requerida para generar, propagar, sostener y reabrir las fracturas en la roca, se mide constantemente y se relaciona con el campo de esfuerzos existente. La forma como se analiza esa presión para determinar el esfuerzo menor, corresponde a las dife-



**ENSAYO DE FRACTURAMIENTO CLASICO**



$$P_f = 36h - 6H - P_o + T_o$$

$$P_s = 6h$$

$$T_o = P_f + P_r$$

$$P_r = 36h - 6H - P_o$$

Figura 2

**ENSAYO DE FRACTURAMIENTO HIDRAULICO - CASO TÍPICO**

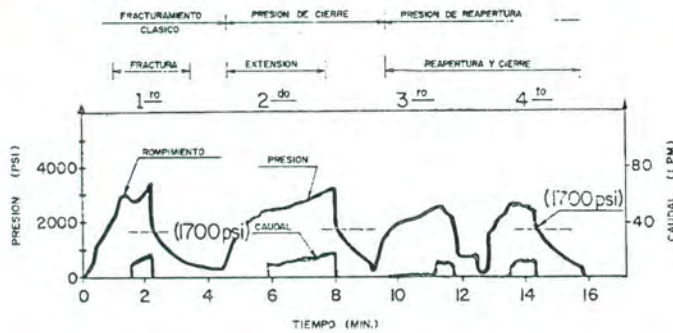


FIGURA 3 ENSAYO DE FRACTURAMIENTO HIDRAULICO - CASO TÍPICO

Figura 3

**CURVA TÍPICA DE REAPERTURA (Q-P)**

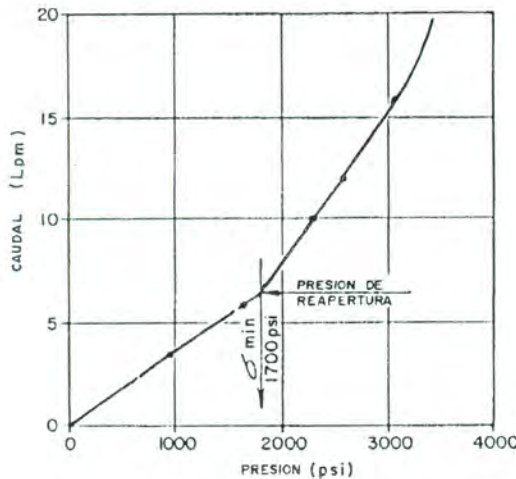


FIGURA 4 CURVA TÍPICA DE REAPERTURA (Q-P)

Figura 4

rentes formas como se ha venido desarrollando la técnica de interpretación del ensayo de fracturamiento hidráulico.

Tres metodologías diferentes en la interpretación del esfuerzo menor se han venido desarrollando ampliamente en el mundo, dentro de la técnica del fracturamiento hidráulico. Estas son: fracturamiento hidráulico clásico, reapertura o gateo de la fractura y presión de cierre de la fractura, las cuales dependen de las características de la masa de la roca y del equipo. Marulanda (1990).

En la Figura 2 se presenta en forma idealizada un ensayo clásico de fracturamiento hidráulico, con el registro de la presión y el tiempo. En esa figura, se observa que la presión en la perforación se eleva hasta una presión máxima llamada ( Pf ) o presión de iniciación de la fractura. Luego mientras se continúa con la inyección de líquido a una tasa constante (preferiblemente) y en forma lenta para permitir estabilidad del sistema, la presión que se mide decae por sí misma y se estabiliza en una presión de extensión o de bombeo ( Pp ).

Posteriormente el bombeo se suspende para observar la presión de cierre ( Ps ), cuando la cámara del ensayo permanece aún sellada.

Finalmente durante el procedimiento se ejecuta un nuevo ciclo o varios ciclos de presurización, para obtener una segunda presión máxima o presión de reapertura ( Pr ), siendo esta más baja que la presión ( Pf ). Con esta presión se determina la presión de cierre mínima de las fracturas.

Hubbert y Willis (1957), además Haimson y Fairhurst (1964) desarrollaron en forma matemática varias expresiones para definir el campo de esfuerzos, teniendo en cuenta que la roca era lineal, isotrópica, elástica e impermeable, además de que uno de los esfuerzos principales estaba orientado en forma paralela a la perforación, mediante las siguientes expresiones:

- ★  $P_f = 3 \sigma_h - \sigma_H - P_o + T_o$
- ★  $P_s = p_h$
- ★  $T_o = P_f + P_r$
- ★  $P_r = 3 \sigma_h - \sigma_h - P_o$



### TENDENCIA TÍPICA PARA MASAS DE ROCA PERMEABLES E IMPERMEABLES

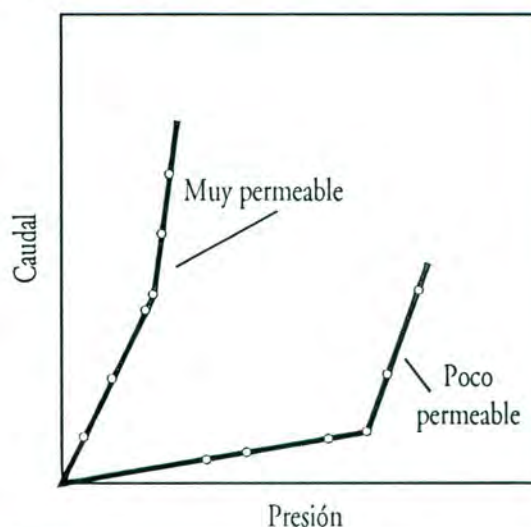


Figura 5

Siendo ( $P_0$ ) la presión de poros medible con el ensayo, ( $T_0$ ) la resistencia de la roca a la tensión, ( $P_p$ ), ( $P_r$ ) y ( $P_s$ ) las presiones de iniciación, reapertura y cierre de las fracturas.

Karfakis (1986), encontró que esa metodología presentaba algunas dificultades para el análisis debido a que al suponerse que la roca era impermeable, en el caso de rocas, porosas o permeables, el fluido a presión penetraba en la roca ocasionando una perturbación del campo de esfuerzos por la reducción de la presión de iniciación de la fractura. Por esa razón, esta metodología para interpretación ha venido siendo abandonada, continuándose con la metodología de análisis mediante la presión de cierre. Esta se define durante el ensayo una vez se efectúa la suspensión del bombeo y el registro de la presión en un ciclo donde ya se ha extendido la grieta y se ha efectuado la reapertura. Para ello se busca el punto de deflexión de la curva de las presiones con el tiempo. Aggson y Kim (1987). Sin embargo este procedimiento también puede, en rocas permeables o fracturadas, arrojar resultados ambiguos debido a que durante el proceso, se pueden registrar presiones falsas de cierre, generadas por pérdidas hidráulicas altas en la grieta ante la toma de agua, o porque pequeños fragmentos de material de roca se pueden desplazar hacia la grieta por dislocación o por el regreso del flujo, resultando una presión de cierre falsa. Marulanda (1990).

El tercer sistema, o metodología que actualmente se viene aplicando por la comunidad tunelera, consiste en encontrar después de varios ciclos de reapertura y extensión de la grieta, el instante en que la grieta o la fisura se abre. Este punto se define por el incremento de caudal con respecto a la presión de inyección. Para este procedimiento se requiere que el ensayo se ejecute en pasos o mediante tasas de presurización lentas, midiendo constantemente las presiones y los caudales. Doe y Korbin (1987).

En la Figura 3 se presenta el registro de presiones y caudales con respecto al tiempo de un ensayo de fractu-

ramiento hidráulico donde fueron ejecutadas las diferentes metodologías mencionadas. En la Figura 4 se muestra una gráfica para la interpretación del esfuerzo menor in-situ según la tercera metodología mencionada, donde se muestra la presión con respecto a los caudales medidos. En esa gráfica se puede observar el punto de deflexión de la curva que corresponde al instante en que se abre la grieta. La presión de reapertura, o esfuerzo menor, en el caso de rocas homogéneas y poco permeables, puede correlacionarse bastante bien con la presión de cierre ( $P_c$ ) del ensayo de fracturamiento clásico.

Durante los procesos de ejecución e interpretación del ensayo debe tenerse claro si el mínimo esfuerzo que se espera medir puede existir en una roca donde la magnitud puede ser pequeña, con una masa que admite altas tasas de inyección de agua, o ser de magnitud alta en roca poco permeable. En la Figura 5 se muestran dos casos extremos típicos. Uno para roca permeable y otro para roca poco permeable. Dependiendo de estos factores se selecciona el tamaño de la cámara del ensayo así como los requerimientos mínimos de caudales y presiones de servicio de la bomba que debe instalarse en el equipo. Marulanda (1990).

El equipo para el ensayo debe ser

suficientemente rígido, para evitar fluctuaciones inesperadas o tasas de flujo de agua inestables, que ocasionen variaciones de la presión. Adicionalmente debe ser hermético para evitar pérdidas de agua. Finalmente debe ser portátil, fácil de instalar, operar y de registrar adecuadamente las variables de medida. En la Figura 6 se muestra un esquema de configuración del equipo.

- **REFERENCIAS.** Aggson, J.R. y Kim, K. 1987. Analysis of hydraulic fracturing Pressure Histories. A comparison of five methods used to identify shutin pressure. *Int J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abst* 24: 1:75-80.
- Brekke, T.L. y Ripley, B.D. 1987. Design Guidelines for pressure Tunnels and Shafts. Research Project, 17-45-17. EPRI. Berkeley, California, USA.
- BROCH, E. 1982. Development of unlined pressure Shafts and Tunnels in Norway. *Rock Mechanics, Cavern and Pressure Shafts*. Rotterdam. The Netherlands. pp 545-554.
- BROCH, E. 1984. Unlined High pressure tunnels in Areas of complex topography. *Norwegian Hydropower Tunneling*, pp 51-43.
- Chistensen, B.J y Danneving, N.T. 1971. Engineering Geology evaluation of the unlined pressure Shaft at Mauranger Hydropower plant. *Geotech A/S. Oslo Norway*.
- Dann, H.E., Hartwing, W.P. y Hunter, J.R. 1964. Unlined Tunnels of the Snowy Mountains Hydroelectric Authority. *Journal of power Division. Proceedings of ASCE*, Vol. 90 Australia.
- Doe, T. W y Forbin, G.E. 1987. A comparison of hydraulic Jacking Stress measurements. 28th US Symposium on rock Mechanics Tucson.



**ESQUEMA DEL SISTEMA**

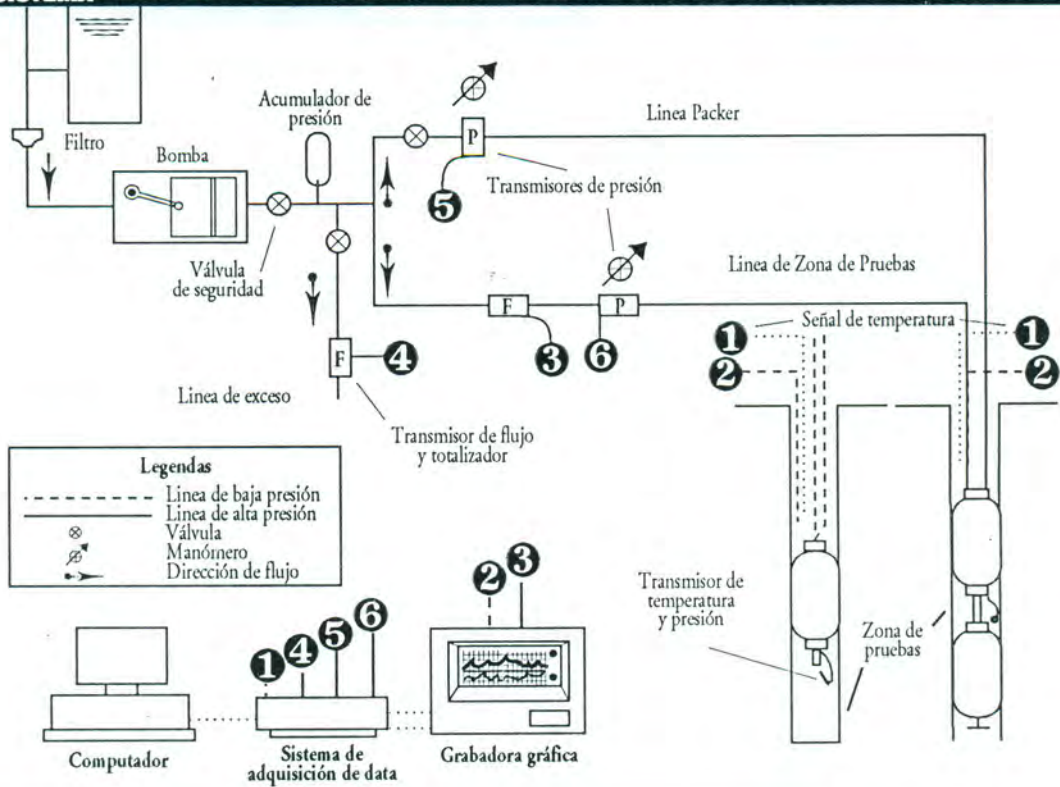


Figura 6

Faithurst, C. 1964. Measurements of in-situ rock stresses with particular reference to hydraulic fracturing. Fels mechanik and Ingenieurgeologic, V.II. 3-4, 129-147.

Haimson, B. C y Lee, M.Y. 1989. Statistical evaluation of hydraulic fracturing Stress measurements parameters. Int. J. rock. mech. Min. Sci & Geomech Abstr. 26:6: 447-456.

Hubbert, M.K y Willis, D.G. 1957. Mechanics of Hydraul.Fracturing Tras. A.M. ins. min. Eng. 210.153-168.

Karfakis. M.G. 1986. Hydraulic fracturing stress measurements inanisotropic rocks. A theoretical analysis proceedings of the inter. Symposium on rock stress and rock stress measurements. Stockholm.

Kieser, A. 1960. Druckstollenbau. Wien Springer Vellag.

Marulanda, A. Ortiz, C. y Gutierrez, R. 1986. Definition of the use of steel liners based on hydraulic fracturing Tests. A case history. Proceedings of the int Simp-on rock stress and rock stress measurements. Stockholm.

Marulanda, A. Gutiérrez. R. y Vallejo, H. 1990. Selection of equipments for Hydrofracturing tests in permeable rocks. Mechanics of jointed and faulted rock. Tech University of Vie-nna. Austria.

Selmer, R. y Olsen, R. 1974. Un-derground openings filled whit high pressure or Air. Eng. Geology. Bullering No. 9.



**OBINCO LTDA.**  
INGENIEROS CONTRATISTAS

Asociados:

- GUILLERMO BENAVIDES RUSSI
- OCTAVIO OTERO PORRAS
- JUAN ALVARO SCHWITZER SABOGAL
- CAMILO HERNANDEZ CAMERO
- LUIS FERNANDO CASTRO LLAÑA

Santafé de Bogotá, D.C.  
Calle 51A No. 6-30  
Tels.: 2877415 - 2879829  
Fax: (91) 2989829

Sincelejo (Sucre)  
Calle 21 No. 16-11 of. 3A  
Tel.: 822517  
Fax: (952) 821159

Bucaramanga (Santander)  
Carrera 14 No. 16-11 of. 404  
Tel.: 332829  
Fax: (976) 336046

Ibagué (Tolima)  
Centro Comercial Combeima  
Oficina: 508  
Tel.: (982) 631873



# 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**

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



**INTRODUCCION.** Los organizadores de este Primer Encuentro de Ingenieros de Suelos y Estructuras han querido que

19 años después del simposio sobre edificios en altura, los ingenieros vinculados a la solución de los problemas urbanos repasen lo aprendido en estas dos últimas décadas, se respondan una serie de preguntas aún sin respuesta formal y analicen si el intercambio de información entre las dos disciplinas se está efectuando al mismo nivel.

Las técnicas modernas de solución de cimentaciones empezaron a conocerse en los comienzos de la década de los 60s. En Colombia sólo se hicieron ampliamente disponibles veinte años después.

En el campo de las estructuras, así suene redundante, la agitación provino de los movimientos sísmicos de Caracas, Venezuela (1967) y de San Fernando, California (1971), que junto con otros movimientos destructivos en esas dos décadas marcaron un cambio drástico en la concepción estructural y en la forma de calcular. A lo anterior hay que agregar, a partir de los años 80s, la aparición masiva de los computadores personales en las mesas de trabajo de los Ingenieros de suelos

y de los estructurales, sobre todo de éstos últimos.

Uno de los temas que quiere el comité organizador que se analice, es el de excavaciones por medio de pantallas. La tecnología correspondiente está hoy día ampliamente asimilada por sus constructores; sin embargo, podría decirse que, sin apelar a estadísticas, es el tipo de obra que más fallas catastróficas registra y cuyo comportamiento deja aún mucho que desear.

**GENERALIDADES.** La aplicación de estas técnicas modernas relacionadas con la construcción en zonas urbanas, puede asignarse en Colombia a los comienzos de la década de los ochenta. De su uso por empresas extranjeras en megaproyectos hidroeléctricos, se pasó poco a poco a la utilización por firmas colombianas, antaño asociadas a los constructores de esos proyectos.

En todo caso, conviene aquí hacer la descripción de la variedad de sistemas que el ingenio humano ha desarrollado en el muy corto lapso de tres décadas (1.2).

**Pantallas.** En los casos de excavación vertical o cuasivertical, es necesario colocar una pared que sostenga el suelo sin remover. En este caso, se han empleado los siguientes sistemas:

- Tablestacas metálicas
- Pilotes de acero, con entibado en madera
- Tableros pre-formados en concreto reforzado
- Pantallas pre-excavadas, en concreto reforzado colocado a través de tubo tremie
- Pantallas en concreto proyectado o lanzado
- Pilotes alineados muy cercanos, tipo cortina ICOS
- Sistemas combinados.

**Anclas.** Según el sistema empleado para su construcción, se conocen las siguientes variedades:

- Ancla cilíndrica sin presión de inyección
  - Ancla cilíndrica con campana ensanchada, sin presión
  - Ancla entubada transitoriamente: inyección mientras se retrae el revestimiento (Ancla Tipo BAUER, 1958)
  - Ancla de bulbos múltiples, inyectada a presión (Ancla de Inyección Múltiple).
- Según el material empleado en el tendón, propiamente dicho:
- Ancla de Varilla
  - Ancla de cable con torones múltiples
- Según la oportunidad de la colocación del tendón:



- Antes de la inyección
  - Después de la inyección
- Según el tensionamiento:
- Anclas activas, pre-esforzadas
  - Anclas pasivas, sin esfuerzo distinto del producido por la masa de suelo al entrar en movimiento.

Según el material que llena el ancla:

- Hormigón
- Mortero
- Lechada de cemento
- Inyección epóxica

**■ PRESION DE TIERRAS.** La presión de tierras en los casos donde se envuelve el tensionamiento del material, o cuando en la medida en que se excava se van colocando apuntalamientos de alguna especie, difiere de las simples formulaciones dadas por Coulomb o por Rankine según se desprende la teoría de falla de Mohr Coulomb.

En efecto, la distribución de presiones y los efectos colaterales como asentamientos y corrimientos, dependen, en primer lugar, de las características de los suelos excavados, y también de manera fundamental del procedimiento de excavación y entibado y de la calidad de la ejecución.

La teoría clásica generalizada, establece que la presión de tierras es del tipo hidrostático (creciente linealmente con la profundidad) y está dada por:  $P_A = \gamma z \tan^2(45 - \phi/2) - 2c \tan(45 - \phi/2) \dots(1)$  donde:

- $P_A$  = presión activa a la profundidad Z
- $\gamma$  = peso unitario del suelo
- $\phi$  = ángulo de fricción interna
- $c$  = cohesión

Para que esta presión pueda ejercerse, basta con que el muro de sostenimiento sufra desplazamientos de 0.001 a 0.002 H, para suelos granulares y de 0.01 a 0.06 H para suelos cohesivos de firmes a blandos.

En los casos reales de grandes excavaciones, estos movimientos no sólo son excedidos, sino que ocurren redistribuciones de carga a través de la estructura de sostenimiento y los puntos de entibado causan un efecto de arco generalizado. Es por esta razón que la presión no puede describirse por medio de las formulaciones de Rankine o Coulomb. Más aún, la influencia del procedimiento constructivo y de la ca-

lidad de la ejecución, han llevado a los investigadores a postular envolventes de presiones o diagramas de presión aparente con base en los cuales puede calcularse la presión esperada en cada uno de los puntos de entibado; estos diagramas, por cierto, llevan implícito un cierto factor de seguridad.

Los más utilizados son:

**Diagrama de Peck.** Peck et al (6) postula, con base en formulaciones an-

teriores de Terzaghi y Peck (5) y de Peck (3), los siguientes diagramas de presión aparente:

★ Arenas  
 $P = 0.65 KA \gamma H \dots\dots\dots(2)$

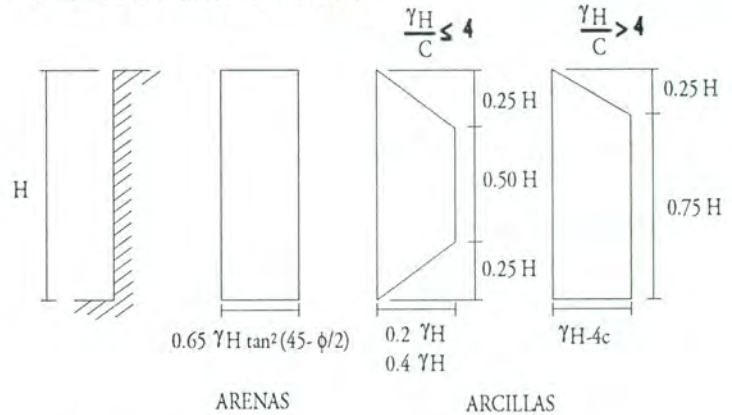
★ Arcillas  
 $P = 0.2 \gamma H \quad \frac{\gamma H}{c} \leq 4 \dots\dots\dots(3)$

$P = \gamma H - 4c \quad \frac{\gamma H}{c} > 4 \dots\dots\dots(4)$

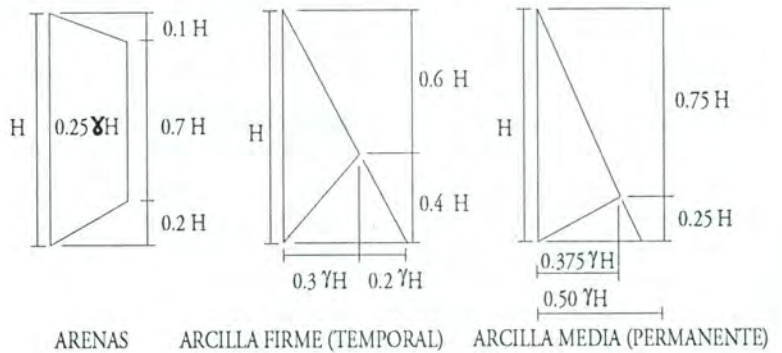
**Diagrama de Tschebotarioff.** Tschebotarioff (4), especialista en

**DIAGRAMAS DE PRESION APARENTE**

**a. Envolventes de Peck**



**b. Envolventes de Tschebotarioff**



**c. Envolventes de Schnabel**

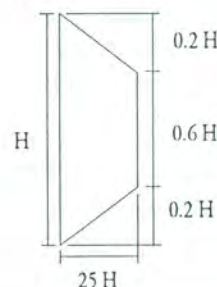
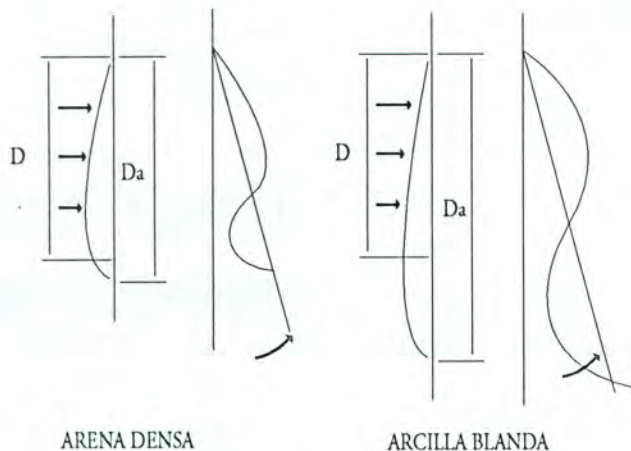


Figura 1

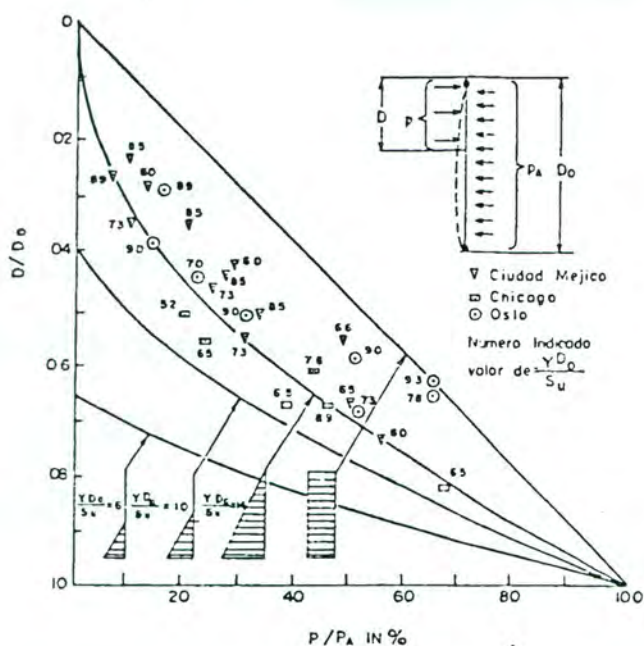


**EFFECTOS DE LAS DEFLEXIONES Y LAS PRESIONES AL EXCAVAR EN EL FRENTE DE UNA PANTALLA**

a. La deflexión de la pantalla y la redistribución de la presión activa, en excavaciones practicadas en arena densa y en arcilla blanda.



b. Comparación de las cargas observadas en los apuntamientos de excavaciones.



(Figura 2)

el tema y polemista connotado, no satisfecho con las anteriores, propuso las siguientes:

- ★ Arena  
 $p = 0.25 \gamma H$ .....(5)
- ★ Arcillas firmes  
 $p = 0.3 \gamma H$ .....(6)
- ★ Arcillas medias  
 $p = 0.375 \gamma H$ .....(7)

En los tres casos se sugieren reducciones de los diagramas en sus extremos superior e inferior.

**Diagrama de Schnabel.** Schnabel (2, en un acto de sobresimplificación del asunto, propone calcular las presiones de todas las pantallas ancladas, así:

$p = 0.4 H$  .....(8)  
donde  
 $p =$  presión en el centro del diagrama, ton/m<sup>2</sup>  
 $H =$  altura de la excavación, z max, m

En la Figura 1 se presentan en forma comparativa los diagramas pro-

puestos.

**Efectos Colaterales.** Cuando se practica una excavación, independientemente del tipo de suelo y de la forma de llevarla a cabo, se producen varios efectos colaterales a la presión de tierras que se genera. Estos efectos son: desplazamiento lateral de la pared, asentamiento en el perímetro de la excavación y levantamiento del fondo de la misma.

Peck (3) ha demostrado que el volumen incorporado en el desplazamiento es muy similar al volumen correspondiente al asentamiento. Más aún, el movimiento de la pared hacia la excavación, es del mismo orden de magnitud que el asentamiento medido en los alrededores (Lambe (8)).

Además, particularmente en suelos blandos, el movimiento del suelo en una excavación no cesa en el fondo de ésta, sino que se prolonga hacia abajo, movilizand o con ello un volumen de suelo del mismo tamaño que el material excavado. Bjerrum (7) ha presentado información concluyente en este sentido; el fenómeno es tanto mayor en cuanto aumenta la profundidad de la excavación y el suelo pasa de un estado elástico a uno de plastificación, previo a la falla de fondo (ver Figura 2).

Es también Bjerrum (7) quien recoge experiencias según las cuales en cortes profundos y a largo plazo, parece cesar el efecto de arco anorado para presentarse una distribución hidrostática de presiones, conforme a la teoría clásica. Este hecho es particularmente cierto en excavaciones angostas.

Peck (3) hace claridad sobre los asentamientos en su relación con la distancia del borde de la excavación; para efectos de su presentación, los normaliza contra la profundidad de la excavación. La Carta de Peck, resultante de este ejercicio, se incluye en la Figura 3. La carta está dividida en tres zonas, así:

Zona	Material	Asentamiento	Max
I	Arena y arcilla firme		0.01 H
II	Arcilla blanda y muy blanda	Limitada en profundidad	0.02 H
III	Arcilla blanda y muy blanda	Excavación profunda	0.03 H



**CARTA DE PECK. ASENTAMIENTOS EN EL BORDE DE LAS EXCAVACIONES**

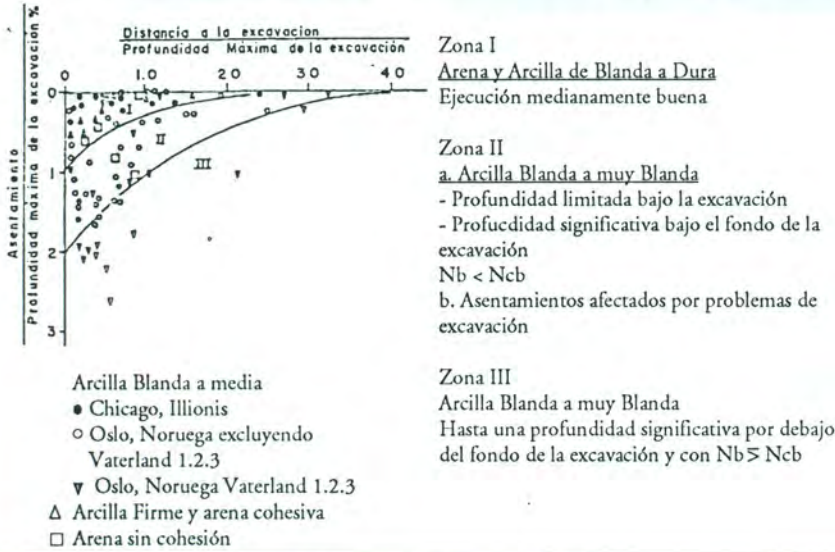


Figura 3

**FACTORES DE CAPACIDAD PORTANTE - EXCAVACIONES**

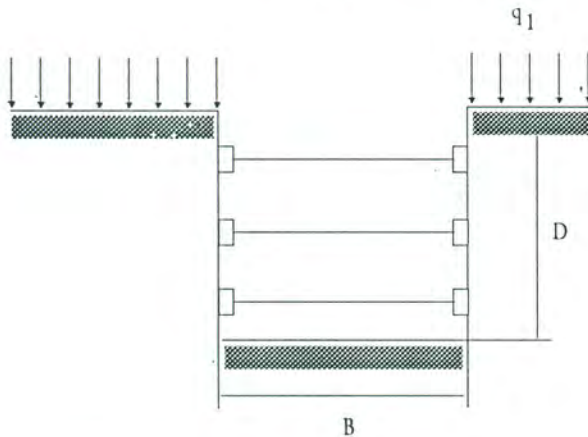
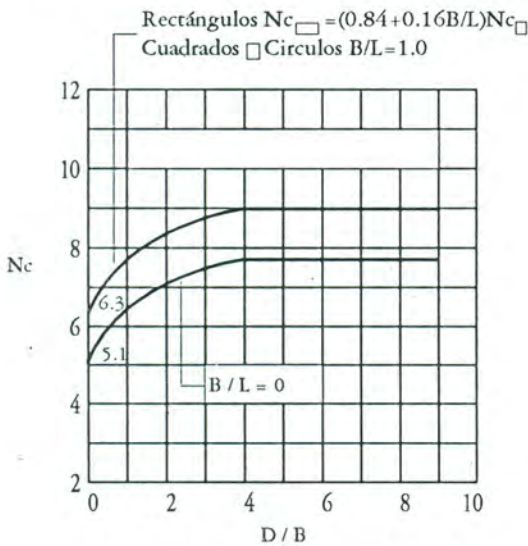


Figura 4

Otro efecto de trascendental importancia, en lo que hace referencia al presente trabajo, es que se ha demostrado que cuando se pre-esfuerzan los elementos de apuntalamiento se logra reducir el desplazamiento del muro o pantalla por un orden de magnitud (3).

**UPEC LTDA.  
INGENIEROS CIVILES**

DISEÑO Y CONSTRUCCION  
DE ESTRUCTURAS

optimice sus  
espacios  
arquitectónicos  
con estructura  
económica

RICARDO PEREZ  
MAURICIO CORTES

Calle 94 No. 15-19 Of. 204  
Tels.: 2565903-2369711  
Fax: 2568639