

CONSTRUCCION DE UNA PANTALLA IMPERMEABLE MEDIANTE TECNOLOGIA  
"JET GROUTING" EN EL DIQUE DE UNA LAGUNA INDUSTRIAL

Gianfranco PERRI A. Ingeniero Consultor  
Profesor de la Facultad de Ingeniería  
Universidad Central de Venezuela

Hugo ARAYA T. Ingeniero de Producción  
TRADICA - CCP de Venezuela

### INTRODUCCION

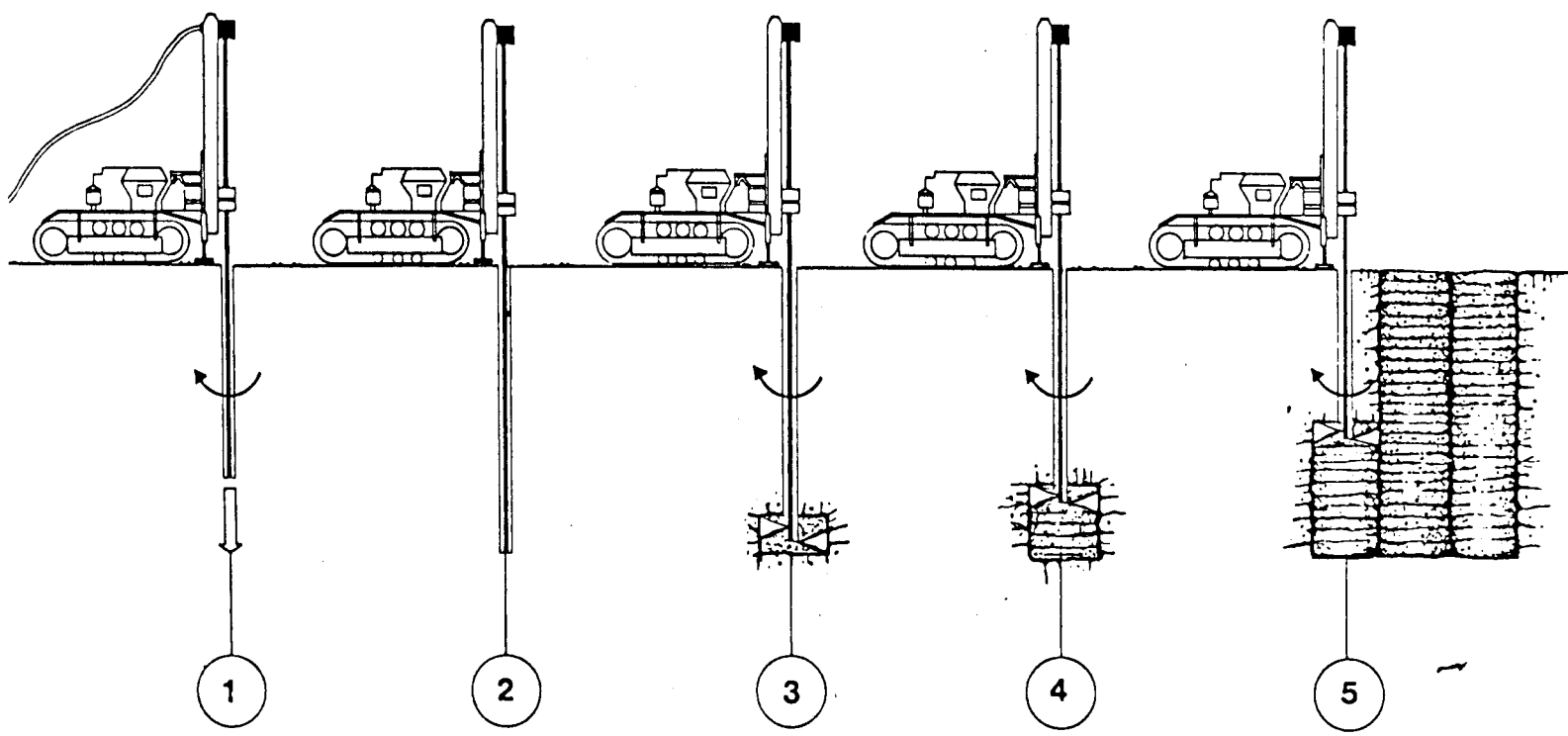
Se describe la tecnología "Jet Grouting" y su aplicación para la construcción de una pantalla impermeable en el dique de la Laguna de Enfriamiento de la Planta de Acido Fosfórico del Complejo Petroquímico Morón. Tal obra es ejecutada con el objeto de corregir filtraciones anormales en dos sectores específicos y a lo largo de un total de aproximadamente 150 metros lineales del dique conformado con terrenos areno-limosos y de aproximadamente 5 metros de altura.

### LA TECNOLOGIA JET GROUTING

El "Jet Grouting" representa una técnica de consolidación del terreno que consiste en proyectar en el medio a tratar, a través de un inyector ubicado en el extremo ascendente de un tubo y con una presión muy elevada, una mezcla estabilizante de manera que el terreno y la mezcla resultan íntimamente agitados y remezclados con lo cual, una vez completada la cementación, se logra una estructura columnar continua de muy elevadas características mecánicas, función esencialmente de la naturaleza geotécnica del terreno además que de los parámetros del proceso.

Evidentemente se trata de una nueva técnica de inyección que, debido a su peculiar capacidad de disgregar el terreno mezclándolo contemporáneamente con el fluido inyectado, permite tratar cualquier tipo de terreno que requiera ser mejorado mecánicamente, evitando que, especialmente en terrenos de composición muy heterogénea, la sustancia inyectada siga vías preferenciales disponiéndose, ineficientemente, en vetas o en capas.

Adicionalmente, y nuevamente en contraposición con las técnicas tradicionales de inyecciones en terreno, con el "Jet Grouting", gracias a su peculiaridad de optimizar la energía de inyección y de garantizar la uniformidad del resultado en el sector tratado induciendo notables incrementos de la resistencia al corte del terreno natural, pueden utilizarse eficientemente espesores y/o volúmenes de tratamiento muy reducidos y selectivamente dirigidos en el espacio.



ESQUEMA OPERATIVO DEL SISTEMA CCP	
1	— FASE DE PERFORACIÓN POR ROTACIÓN
2	— FIN DE PERFORACIÓN
3	— INICIO PROCESO C.C.P.
4	— SUBIR DE NUEVO Y ROTACIÓN A VELOCIDAD PREESTABLECIDA
5	— TERMINACIÓN Y REPETICIÓN DEL PROCESO

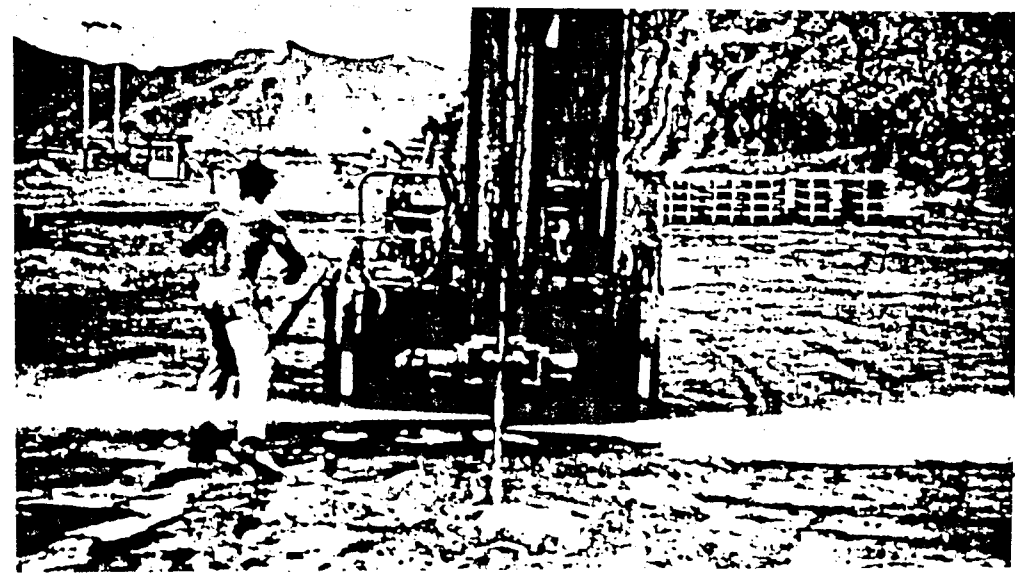


FIG. 1

El procedimiento "Jet Grouting", representado esquemáticamente en la Fig.1, se puede resumir como sigue:

Se introduce en el terreno un tubo de 50 a 60 mm aproximadamente de diámetro, hasta la profundidad requerida. Durante esta operación una válvula que se abre o cierra automáticamente por diferencia de presión permite, desde un inyector ubicado axialmente en la base del tubo, la salida de agua bajo presión proveniente de una bomba, lo cual favorece la penetración del tubo como ocurre en las técnicas normales de perforación. Después de la completa penetración del tubo en lugar del agua se inyecta, desde la misma base del tubo pero perpendicularmente al eje, la mezcla estabilizante bajo presión sumamente elevada.

Puesto que el tubo gira, esta operación de inyección afecta todo el entorno y hasta un radio que depende esencialmente de las condiciones del terreno, de la presión de inyección y de la naturaleza de la mezcla. En este radio queda completamente destruida la estructura original del terreno, el cual queda disgregado agitado y mezclado íntimamente con la sustancia inyectada.

Finalmente, debido a que durante la operación de inyección, el tubo también se eleva gradualmente, el tratamiento afecta sin solución de continuidad, niveles cada vez más altos y así gradualmente se viene conformando en el subsuelo alrededor de la perforación una estructura cohesiva con forma de columna.

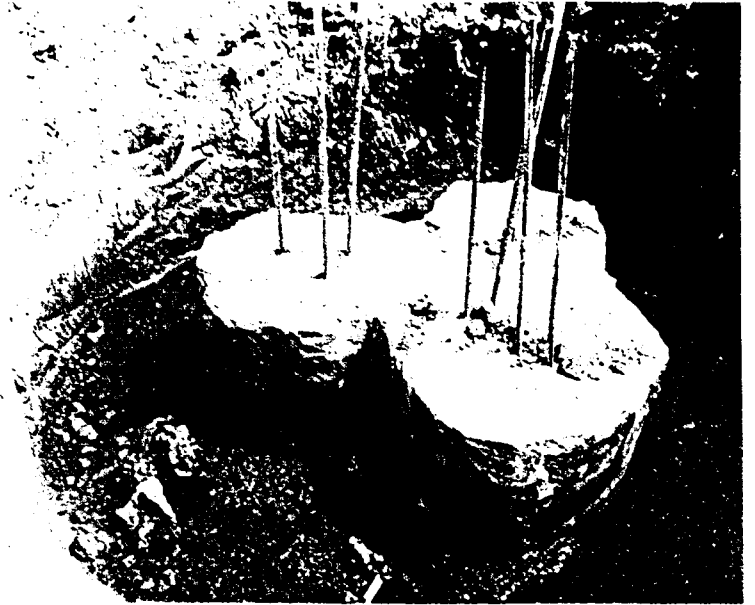
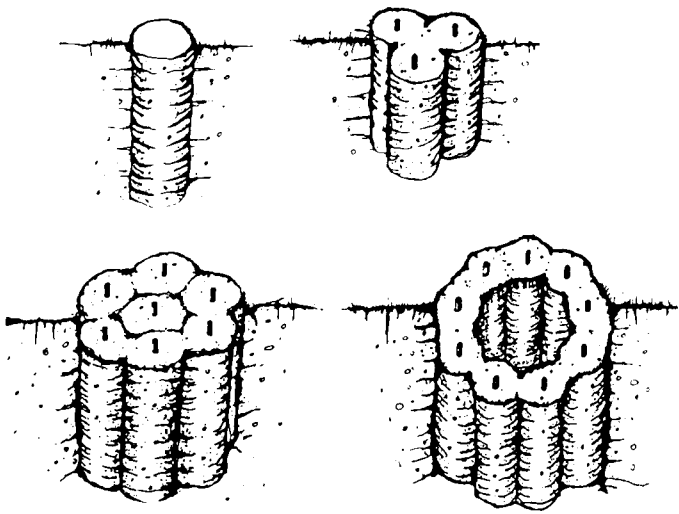
Repitiendo las operaciones indicadas en distintas perforaciones puede ejecutarse, según las exigencias, sea un tratamiento continuo por medio de columnas adyacentes y eventualmente compenetradas entre sí, así como un tratamiento discreto con cualquier distribución requerida en el espacio (Fig. 2).

En las aplicaciones normales, la presión de inyección es de 250 a 500 Kg/cm<sup>2</sup>, el diámetro de las toberas del inyector es de 2 a 4 mm, la velocidad de rotación es de 20 revoluciones por minuto, la velocidad de elevación es de 15 cm por minuto y la cantidad de mezcla inyectada es de aproximadamente 30 litros por minuto de lechada agua cemento en proporción de 1 a 1: 150 a 250 Kg de cemento por metro lineal de columna de 50 a 60 cm de diámetro.

Con el método arriba descrito, según las finalidades del caso, modificando en las mezclas estabilizadoras los porcentajes de los diversos agentes y tomando en cuenta la naturaleza del terreno, se puede obtener un producto final de 40 a 80 cm de diámetro, resistencia media a la compresión libre de 10 a 200 Kg/cm<sup>2</sup> (Fig.3) y coeficientes de permeabilidad de entre 10E-7 y 10E-9 cm/seg.

Uno de los aspectos físicos más interesantes de la técnica descrita es el total agotamiento de la elevadísima presión del chorro inyectado, dentro de un radio limitado a pocas veces el diámetro de la perforación, eliminándose así toda posibilidad de efectos colaterales indeseados sobre terrenos o estructuras próximas.

Intuitivamente lo anterior se explica observando que a pesar de las elevadísimas presiones de inyección (hasta más de 500 Kg/cm<sup>2</sup>), a todo



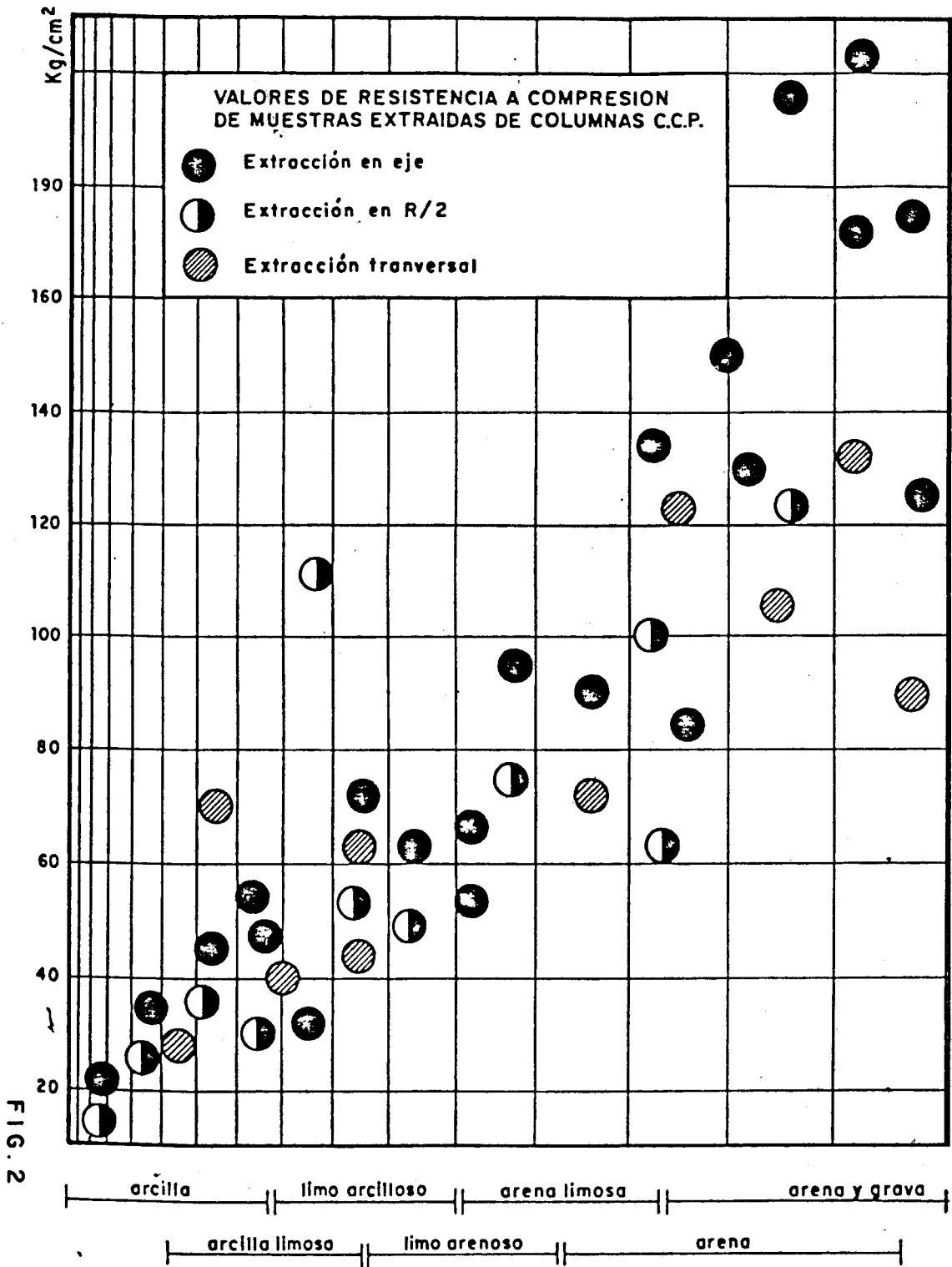


FIG. 2



lo largo de la barra de perforación e inyección, normalmente se produce un reflujó de la mezcla inyectada lo cual permite a la totalidad del volúmen de fluido constituyente el núcleo de la columna en formación de mantenerse a presión hidrostática, exceptuando el efecto dinámico del impacto del chorro, limitado estrictamente al tiempo y porción de terreno afectado directamente.

Adicionalmente y justamente debido a la citada acción dinámica concentrada y limitada en el tiempo y el espacio, se produce en el anillo de terreno que rodea la columna, un efecto "claquage" de compresión y densificación dinámica que resulta siempre altamente beneficioso por cuanto da lugar a un mejoramiento geomecánico de la porción de terreno afectada.

Por otro lado en las aplicaciones que preveen la constitución de columnas contiguas y compenetradas, el resultado es sorprendente positivo en el sentido de la continuidad de la estructura conformada, debido al "efecto pared" con el cual, si un chorro es proyectado contra una pared con fuerza suficiente, no es reflejado sino que se proyecta a lo largo de la superficie de la propia pared. Dicho efecto, cuando el chorro es proyectado contra un cuerpo columnar, hace que el chorro antes de alejarse rodea la superficie cilíndrica por un arco de más de 180 grados.

#### EL PROYECTO DE PANTALLA IMPERMEABLE

El "efecto pared" que se acaba de describir, es una de las propiedades del Jet Grouting que se explota en la construcción de pantallas impermeables enterradas las cuales representan una de las aplicaciones mas clásicas y efectivas de esta tecnología.

En el caso específico que se representa, el objetivo del tratamiento Jet Grouting es el de sanear las filtraciones indeseadas en dos sectores específicos, cada uno a lo largo de aproximadamente 70 m lineales, de un dique de contención de las aguas de la Laguna de Enfriamiento de la Planta de Acido Fosfórico del Complejo Petroquímico Morón.

La sección típica del dique en referencia se representa en la figura 4 en la que puede observarse su altura de aproximadamente 6 m con sus anchos en cresta de 10 m y en la base de 25 m aproximadamente.

El nivel de las aguas en la Laguna se mantiene generalmente a -1 m desde la cresta del dique y las filtraciones se han ido observando en todo lo alto del cuerpo del dique, en los sectores afectados.

Para caracterizar geotécnicamente los materiales constituyentes el núcleo central del dique en el que se construye la pantalla impermeable, se ejecutaron perforaciones diagnósticas con procedimiento de percusión y recuperación de muestras con ensayo de penetración estandar (SPT) a cada metro de profundidad, en toda la altura del dique y en algunos casos hasta profundidades totales del orden de 12 m.

El resultado de tales exploraciones indica un perfil medio típico del subsuelo que puede describirse como sigue:

Hasta 1 o 2 m de material de relleno en cresta, definido como arena fina limo arcillosa con presencia de gravilla. Luego se identifican predominantemente arenas finas poco limosas densas a muy densas con fragmentos redondeados de cuarzo y con valores de  $N=20-40$  golpes/pié.

En la mayoría de las perforaciones se identificó un estrato de entre 1 y 2 m de espesor, ubicado a profundidades erráticas, de turba con fragmentos redondeados de cuarzo con valores de  $N$ , muy bajos en unos casos (5 golpes/pié) y medianos ( $N = 20$  golpes/pié) en otros, a según de la cantidad de fragmentos cuarzosos presentes.

La pantalla impermeable de Jet Grouting se diseñó para ser construída desde la cresta del dique, sobre una profundidad de 8 m a partir de la cota -1 m (esta es otra de las peculiaridades del sistema que permite la ejecución de las columnas a niveles que no deben necesariamente partir desde la superficie).

El intereseje entre columnas adyacentes se estableció en 0.40 m para de tal manera garantizar la compenetración requerida para la continuidad y luego impermeabilidad de la estructura ejecutada, tomando en cuenta el diámetro de 0.60 m a lograr con inyecciones de lechada agua cemento en proporción de 1:1 a presión de 300 Kg/cm<sup>2</sup>.

## REFERENCIAS

- G. Miki: "Jet Grouting" VIII Conferencia Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. Moscú. URSS 1973.
- G. Perri: "La Tecnología 'Jet Grouting CCP' en la Práctica Ingeniería Venezolana" Unión Panamericana de Asociaciones de Ingenieros UPADI. La Habana, Cuba 1988.