

REVISTA
DE LA FACULTAD
DE INGENIERIA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
AÑO 2 - NUMERO 2 - 1982

DISEÑO GRAFICO INTERACTIVO PARA INGENIERIA DE PROYECTO Y FABRICACION

IMPISA

INDUSTRIAS METALURGICAS PESCARMONA S.A.I.C. y F.

1907

75º ANIVERSARIO

1982



• ESTRUCTURAS METALICAS ESPECIALES • COMPONENTES NUCLEARES • TURBINAS HIDRAULICAS • AUTOPARTES
• OBRAS CIVILES • EQUIPOS SIDERURGICOS • PROYECTOS ESPECIALES • PIEZAS PARA LA INDUSTRIA
• EQUIPOS DE PROCESO Y RECIPIENTES DE PRESION • PUENTES GRUA • ELEMENTOS

CERETTI 244 — 5501 GODOY CRUZ — MENDOZA — REPUBLICA ARGENTINA — TEL. PBX
CARRIL RODRIGUEZ PEÑA S/N — GODOY CRUZ — MENDOZA — R. ARGENTINA — TEL.
VIAMONTE 1526 — 5º PISO — 1055 BUENOS AIRES — R. ARGENTINA — TEL. 498385/453324



0 331688 868080 331

Autoridades

REVISTA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

Año II - Número 2 - Setiembre de 1982

Autoridades de la Universidad Nacional de Cuyo
Rector

Prof. Enrique J.M. ZULETA ALVAREZ

Secretario General
Cont. Roberto VARO

Secretario de Asuntos Académicos
Ing. Félix Segundo OLMOS

Autoridades de la Facultad de Ingeniería
Decano
Ing. Hugo del Carmen OJEDA

Vicedecano
Ing. Francisco SENTINELLI

Secretario de Asuntos Académicos
Ing. Roberto Justo GIOACCHINI

Secretario Administrativo
Sr. Alberto Félix ISLEÑO

Contador
Sr. Salomón SAPPAG

Jefes de Departamentos de Enseñanza
Ciencias Básicas: Ing. Salomón DARWICH
Ingeniería de Petróleos: Ing. Dante HERRERO
Ingeniería Industrial: Ing. José COCCHIA
Ingeniería Civil: Ing. Francisco SENTINELLI

Director del Departamento de Graduados
Ing. Eloy Benjamín SALINAS

Director de Estudios Tecnológicos e Investigaciones
Ing. Jorge Lázaro GONZALEZ

Director del Instituto Superior de Exploración Petrolera
Ing. Emilio SARTI

DIRECTOR DE LA REVISTA
Ing. Jorge Lázaro GONZALEZ
Profesor Adjunto de la cátedra GEOFISICA

La dirección no se responsabiliza
por las opiniones emitidas en los
artículos firmados.

Sumario

Editorial	5
Transportadores de Cinta	
Ing. Roberto Salvadeo	7
El Motor Eléctrico Lineal	
Ing. Roberto De Rossetti	19
Detectabilidad de Acúfferos Profundos Mediante Métodos de Prospección Eléctrica de Resestividad Aparente.	
Ing. Edgardo L. Cebrelli	25
Vibraciones de Terreno	
Ing. Miguel L. Robert - Ing. José A. Salassa	31
Aplicación de Métodos Dinámicos al Estudio de de Macizos Rocosos.	
Ing. Jorge Lázaro González - Ing. Mario Carlos Vacirca	39

Publicación N.º 6

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
BIBLIOTECA CENTRAL
E 23.10.84 N.º de Orden
P. Fac. Ing.
Valor donación



Reg. P.P. 11669



ARGENTINA-CITIES SERVICE DEVELOPMENT
CO. OPERADORA DE PRODUCCION DE PE-
TROLEO EN MENDOZA Y DE EXPLORACION
EN RIO NEGRO, SE ADHIERE A LA FACUL-
TAD DE INGENIERIA EN SU BUSQUEDA DE
OPTIMIZAR LOS CONOCIMIENTOS PROFESIO-
NALES DE LOS INGENIEROS DE PETROLEOS
EN ARGENTINA.

Autores

Ing. Roberto SALVADEO

Se ha desempeñado como Profesor Titular de las Cátedras Elementos de Máquinas y Proyecto de Máquinas en la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Juan Agustín Maza.

Ha tenido a su cargo las mismas Cátedras de las carreras de Ingeniería Mecánica y Electromecánica de la Facultad Regional Mendoza de la Universidad Tecnológica Nacional.

En nuestra Facultad es actualmente Profesor Titular de Mecánica Aplicada.

En su actividad profesional se ha encargado del área de Proyectos en Empresas de nuestro medio.

Ing. Roberto M. DE ROSSETTI

Ingeniero Mecánico Electricista graduado en la Universidad Nacional de Córdoba en el año 1955.

Rector de la Universidad Juan A. Maza de Mendoza.

Profesor Titular Efectivo de la Cátedra "Electrotecnia" en la Universidad Nacional de Cuyo.

Profesor Titular Efectivo en las Cátedras "Máquinas Eléctricas" y "Cálculo y Construcción de Máquinas Eléctricas", en la Facultad Regional Mendoza de la Universidad Tecnológica Nacional.

Delegado Titular por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo como integrante de la Comisión Asesora del Consejo de Investigaciones de dicha Universidad (C.I.U.N.C.).

Ing. Edgardo Luis CEBRELLI

Egresado de la Facultad de Ingeniería, Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Cuyo con el título de Ingeniero Geólogo, año 1950, e Ingeniero de Minas, año 1951.

Dedicado a la Geofísica, trabajó en Yacimientos Petrolíferos Fiscales, Gerencia de Exploración, años 1951/62.

Fue Geofísico de Contraparte Argentina en el Plan de Aguas Subterráneas, años 1965/68.

Actualmente es Profesor Titular de la Cátedra de Geofísica en las Universidades Nacionales de Cuyo y de San Luis.

Ing. Miguel LELIS ROBERT

Egresado de la Facultad de Ingeniería de Petróleos de la Universidad Nacional de Cuyo.

Se ha desempeñado como Auxiliar de las Cátedras Álgebra y Electrotecnia I de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo y Física II de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza.

Ha prestado servicios en la Dirección de Obras y Servicios Sanitarios de la provincia de Mendoza.

Actualmente trabaja en el Sector Geofísica y Mecánica de Rocas de la Jefatura de Estudios y Proyectos Región III Mendoza de Agua y Energía Sociedad del Estado.

Ing. José Andrés SALASSA

Egresado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo en el año 1974.

Ha desarrollado su actividad profesional en la Jefatura de Estudios y Proyectos Zona Comahue, provincia de Neuquén, de Agua y Energía Sociedad del Estado y en la actualidad se desempeña como Ingeniero Asistente del Sector Geofísica de la Jefatura Estudios y Proyectos Región III Mendoza de la misma Empresa del Estado.

Ing. Jorge Lázaro GONZALEZ

Egresado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo en el año 1968 con el título de Ingeniero de Petróleos. Dirige su especialización a la Geofísica Aplicada a la Ingeniería. Ha efectuado publicaciones sobre el tema en Congresos Nacionales e Internacionales. En el año 1978 recibe de la Academia Nacional de Ingeniería el premio Ing. Eduardo Baglietto.

Actualmente se desempeña como Profesor Adjunto de la Cátedra Geofísica y es Jefe del Area Estudios Básicos de la Jefatura de Estudios y Proyectos Región III de Agua y Energía Sociedad del Estado.

Ing. Mario Carlos VACIRCA

Egresado en 1971 de la Facultad de Ingeniería de Petróleos de la Universidad Nacional de Cuyo.

Jefe de Trabajos Prácticos de la Cátedra Prospección Geofísica de la Facultad de Ingeniería de la U.N.C.

Jefe del Sector Geofísica y Mecánica de Rocas de la Jefatura de Estudios y Proyectos Región III de Agua y Energía Eléctrica.

También se ha desempeñado en perforación y desarrollo de pozos para extracción de agua.

Editorial

CARTA DEL DECANO:

La Argentina tiene un indiscutido patrimonio cultural humanista y cristiano, inmensos recursos naturales, habitantes de probada capacidad intelectual y vocación de libertad. Desde su nacimiento, ha luchado por realizarse y ocupar el lugar destacado que le corresponde, por esos bienes y cualidades, en el concierto de las naciones. Debemos reconocer que, a pesar de los esfuerzos y sacrificios realizados por innumerables generaciones de argentinos, no se ha alcanzado cabalmente esta meta.

Sistemáticamente se repiten ciclos en la vida política nacional, que comienzan con gran optimismo y esperanza, fijando objetivos claros y precisos para el bien común de la Nación. Con entusiasmo y dedicación se instrumentan métodos para el cumplimiento de los mismos. Transcurre el tiempo, hay resultados positivos; en algunos aspectos, el país avanza. Simultáneamente trascienden signos indicadores de fracasos importantes, que, lenta pero inexorablemente llevan al país al borde del caos o a graves conflictos sociales. Cuando la realidad se torna insostenible, se producen bruscos cambios, revoluciones, golpes de estado, renunciaciones, y un nuevo ciclo comienza con la esperanza de ser el verdadero, que nos va a llevar a la meta deseada por todos.

La Argentina reúne los elementos necesarios, espirituales, morales y materiales, que rectamente dispuestos permiten establecer un orden activo para llegar a ser lo que debe ser: Un país noble, altamente desarrollado, de costumbres sanas, con intensa vida espiritual y cultural, donde sus habitantes gocen de una óptima calidad de vida. Un país líder que señale el camino a las naciones de este inmenso continente, para superar los problemas del subdesarrollo, que las hace débiles frente a los países del Norte.

Las inmensas riquezas naturales de Latinoamérica tienen fijados los valores de intercambio por los centros de poder internacional, contribuyendo, paradójicamente al bienestar de los países ricos, a costa del empobrecimiento de los legítimos propietarios de esos bienes. Esta mecánica de intercambio hace que la dependencia de naciones desarrolladas sea, día a día, mayor; el endeudamiento más abrumador, el nivel de vida decreciente, la educación, la investigación científica y técnica, cada vez más insuficiente.

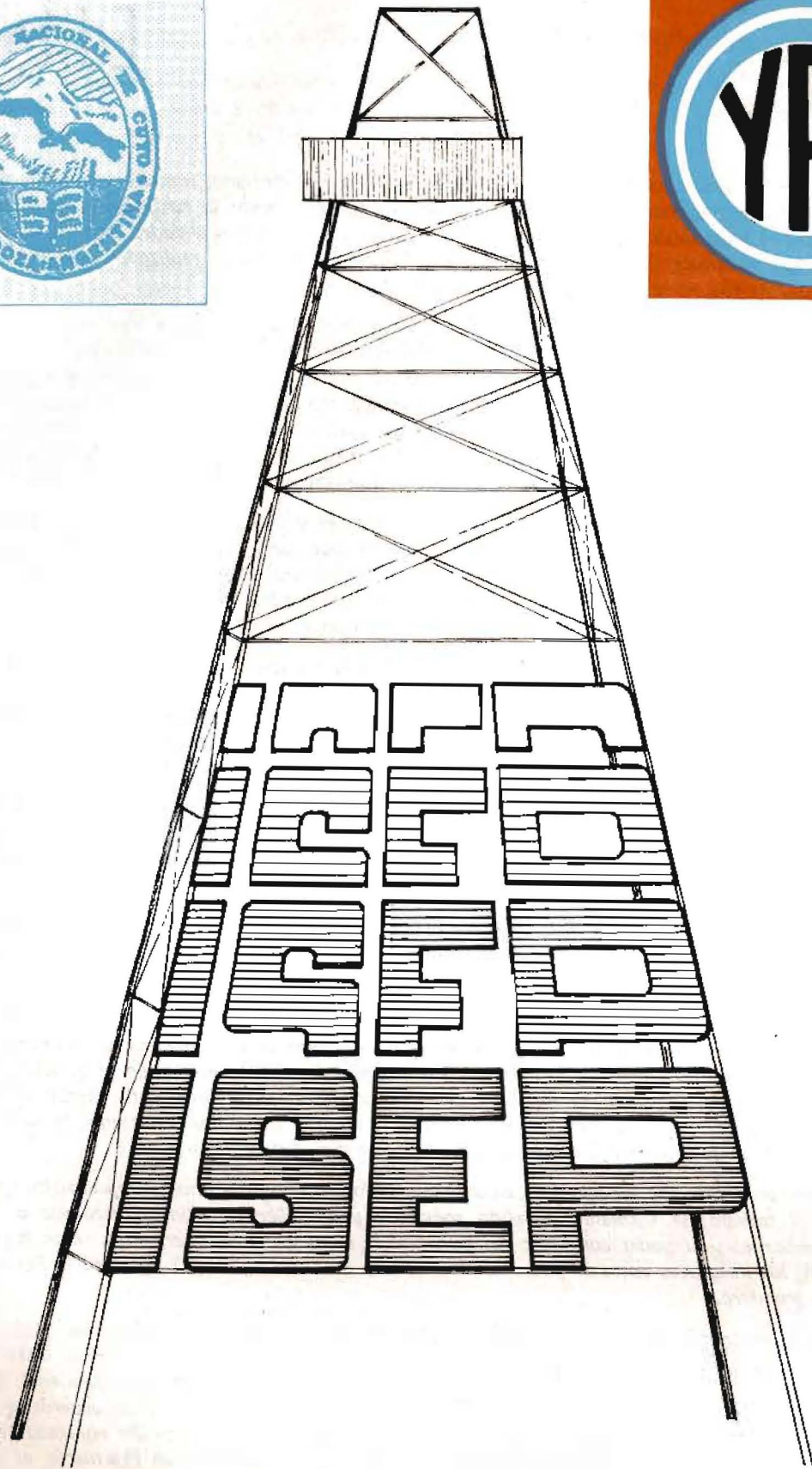
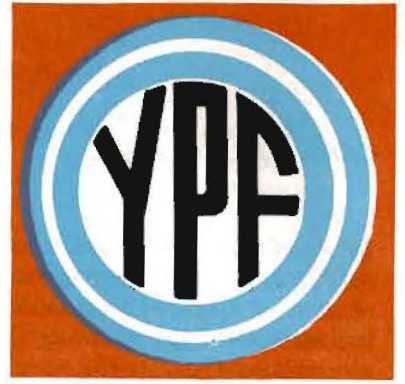
Latinoamérica necesita imperiosamente salir de este estado decadente. Por ser tan grande, en su territorio caben dos Europas o dos EEUU, con 280.000.000 de habitantes; en sí es un mundo, y puede aspirar al autoabastecimiento interno y al intercambio de bienes con el resto de los países del mundo, en condiciones más justas.

Frente a esta situación, la Argentina tiene la grave obligación de ser uno de los principales autores en la transformación de Latinoamérica, y esto la obliga, en forma perentoria e ineludible, a identificarse con su verdadero ser.

Cada argentino debe convencerse que no puede perder horas en conversaciones inútiles, exigiendo al país bienestar individual, sin reparar si le da por lo menos el equivalente que le exige airadamente. Por el contrario tiene en forma insoslayable que canalizar sus energías y potencialidades en el trabajo fecundo y responsable en su normal actividad. El lugar de trabajo tiene que ser un verdadero campo de combate contra la mediocridad, la irresponsabilidad, la inoperancia. El amor al bien común nacional, la austeridad de vida, la disciplina social, la inteligencia creadora son cualidades que debe cultivar.

Si cada argentino se transforma en célula social de elevada vida interior, alta moral, con espíritu inteligente y creativo en el trabajo; se formará un tejido social de gran calidad y solidez, resistente a presiones psicológicas disolventes y al poder corruptor del dinero. Las organizaciones intermedias serán la resultante de esta realidad; los dirigentes aptos surgirán naturalmente y entonces sí, el país avanzará inexorablemente a su destino de grandeza.

Hoy nos toca a nosotros con fe, esperanza y fortaleza, en un clima de unidad nacional, procurar decididamente construir la ARGENTINA ANHELADA. Tiene influencia decisiva en el logro de este objetivo el desarrollo científico y tecnológico ininterrumpido, aplicado a la producción de bienes. Es la alta tecnología de los países industrializados que es necesario asimilar, adaptar, crear de acuerdo a nuestras necesidades. El camino es largo, sinuoso, pero factible de transitar cuando existe voluntad férrea. La educación y la investigación son partes esenciales del mismo. Las Facultades de Ingeniería, al igual que todos los Institutos Universitarios y de investigación científicos y técnicos del país, tienen al respecto una importante misión que cumplir.



INSTITUTO SUPERIOR DE EXPLORACION PETROLERA - I.S.E.P.

TRANSPORTADORES DE CINTA

Ing. Roberto Salvadeo

Primera parte: PREDIMENSIONAMIENTO

1. Introducción

En la fase de diseño de sistemas de cintas transportadoras de materiales a granel, resulta imprescindible una evaluación previa al proyecto definitivo, tal que nos permita anticipar parámetros característicos de las unidades de transporte, como por ejemplo ancho de cinta, velocidad, potencia, características de la banda, compatibilidad con el material y tamaño de los terrones, etc.

Con ello se puede ya intentar un primer análisis crítico del sistema propuesto, tener idea de inversiones a realizar, comparar con otros tipos de transportadores, etc. Ello lo haremos por métodos gráficos en esta primera parte.

En la segunda parte se analizará el cálculo completo de un equipo a fin de afinar los valores provisorios obtenidos, agregando además la influencia de factores no incluidos en los cálculos corrientes.

En la tercera parte se brindarán modelos de pliegos de especificaciones y detalles que permitan realizar pedidos o contratación de fabricación o comparaciones objetivas de distintas propuestas de provisión.

Una cuarta parte estará destinada al diseño por computadora de este tipo de transportadores.

NOMENCLATURA

Símbolo	Designación	Unidades
A_1	Espesor superior de revestimiento de goma	mm
A_2	Espesor inferior de revestimiento de goma	mm
B	Ancho de la banda	m, cm, mm
b	Ancho cubierto por el material	m
C	Coefficiente de relación de resistencias	—
D	Diámetro del rolo o tambor motriz	mm
d_j	Diámetros de rolos secundarios	mm
e	Base de logaritmos naturales	
F_1	Resistencia al avance por rozamiento	Kg
F_2	Resistencia por pendiente	Kg
F_3	Resistencia por dispositivos de descarga	Kg
F_4	Resistencia por inercia y fricción en el punto de carga (zona de aceleración) entre cinta y material	Kg
F_5	Resistencia por fricción entre material con laterales de goma en punto de carga (zona de aceleración)	Kg

F_6	Resistencia por ángulo de convergencia de los rodillos	Kg
F_7	Resistencia por fricción entre material y laterales de contención	Kg
F_8	Resistencia por rascadores o limpiadores	Kg
F_9	Resistencia por rozamiento entre banda y laterales de goma	Kg
F_{10}	Resistencias especiales	Kg
F_i	Resistencia genérica $1 < i \leq 10$	
F_T	Fuerza de tracción resultante	Kg
f	Coefficiente de roce entre rodillo y cinta	—
f_1	Coefficiente de roce entre material y cinta	—
f_2	Coefficiente de roce entre materia y guías	—
f_3	Coefficiente de roce entre rascador y banda	—
f_i	Factor de irregularidad de carga	—
f_5	Factor de servicio en elementos de transmisión	
f_t	Factor de selección T y F_T	
f_β	Coefficiente de corrección por inclinación de rodillos	—
$f_{\beta\delta}$	Coefficiente de equivalencia $f_{\beta\delta} = f_\beta \cdot f_\delta$	—
f_δ	Coefficiente de corrección por talud dinámico	—
f_φ	Coefficiente de corrección por inclinación del transportador	—
G_c	Peso del contrapeso tensor	Kg
$\pm H_m$	Diferencia de altura entre punto de descarga y carga	m
i	Relación de transmisión global	—
K_r	Factor de rascado	Kg/— cm
k_{ad}	Esfuerzo admisible por tele y cm. de ancho	Kg/tele cm
k_z	Esfuerzo de trabajo por tele y cm. de ancho	Kg/tele cm
L	Longitud horizontal del transportador	m
L_m	Longitud horizontal cargada de material	m
L_o	Carrera del tensor	m
M_f	Momento del freno antirretroceso	Kg cm
M_t	Momento torsor en el árbol motriz	Kg cm
N	Potencia de accionamiento del árbol motriz	CV
N_1	Potencia de rozamiento	CV
N_2	Potencia de elevación	CV
N_3	Potencia absorbida por descargadores	CV
N_i	Potencia correspondiente al esfuerzo F_i	CV
N_m	Potencia brindada por el motor	CV
n_m	Velocidad del motor	rpm
n_r	Velocidad del rolo motriz	rpm
p	Presión entre rascadores y cinta (0,3 a 1 kg/cm ²)	Kg/cm ²
Q	Potencialidad de transporte	t/h
Q_p	Potencialidad pico	t/h
q_c	Peso de la correa por unidad de longitud	Kg/m
q_e	Peso de elementos móviles por metro de transportador	Kg/m

q_m	Peso de material por unidad de longitud	Kg/m
S	Sección neta en las condiciones de funcionamiento	m^2
S_0	Sección neta básica	m^2
T	Tensión máxima sobre la correa	Kg
t	Tensión en un punto cualesquiera de la correa o banda	Kg
t_c	Tiempo demorado por la correa en recorrer el trayecto completo (avance y retorno)	min
t_0	Tensión mínima sobre la correa	Kg
v	Velocidad del transportador	m/s
Z	Número de telas	—
Φ	Tamaño medio de los terrones	mm
α	Angulo abrazado sobre rolo motriz	Rad.-Grad.
β	Angulo de inclinación de rodillos	grados
γ_a	Peso específico aparente del material	t/m^3
δ	Angulo de talud dinámico	grados
ϵ	Angulo de convergencia de los rodillos	grados
η_m	Rendimiento de transmisión	—
μ	Coefficiente de fricción correa-rolo motriz	—
ρ	Angulo de talud en reposo	grados
φ	Angulo de pendiente del transportador	grados

2. Procedimiento

- Paso N° 1: Determinación del ancho de cinta, selección de velocidad, compatibilidad entre ancho y tamaño de terrones.

La sección neta de material S_0 (m^2) puede expresarse por la siguiente expresión, válida para un ángulo de rodillos de $\beta = 20^\circ$ y un ángulo de talud $\rho \cong 35^\circ$ en función del ancho de banda B (m).

$$S_0 = 0,00158 (B + 4,6) \cdot B^2$$

Se propone corregir esta expresión tomando en cuenta el hecho de que para favorecer la capacidad se suelen adoptar valores de β superior a 20° compatibles con el ancho y la flexibilidad lateral de la cinta, y la importante influencia del ángulo de talud dinámico δ .

En general $\delta = \rho - (10 \text{ a } 15^\circ)$

Es decir que $S = S_0 \cdot f_\beta \cdot f_\delta$ (m^2)

Como f_β y f_δ son interdependientes, los agrupamos en un único factor $f_{\beta\delta} = f_\beta \cdot f_\delta$

Asimismo influye en la capacidad, el ángulo de pendiente del transportador φ . Esa influencia se hace notar en el coeficiente de corrección por pendiente f_φ cuyo valor es aproximadamente $f_\varphi \cong \cos^3 \varphi$ para φ positivos.

Será por lo tanto:

$$S = S_0 \cdot f_\varphi \cdot f_\beta \cdot f_\delta = S_0 \cdot f_\varphi \cdot f_{\beta\delta} \quad (m^2)$$

La potencialidad media será:

$$Q \text{ (t/h)} = S \text{ (m}^2\text{)} \cdot v \text{ (m/s)} \cdot \gamma_a \text{ (t/m}^3\text{)} \cdot 3600 \text{ (s/h)}$$

Reemplazando:

$$Q \text{ (t/h)} = 57 \cdot \gamma_a \cdot v (B + 4,6) B^2 \cdot f_\varphi \cdot f_{\beta\delta}$$

Si el transportador recibe una alimentación irregular, habrá que dimensionarlo para absorber los picos, tal que:

$$Q_p = Q \cdot f_i$$

El nomograma N° 1 está trazado respetando estas ecuaciones, y nos brinda una serie de soluciones v , B con las que la capacidad solicitada es lograda.

No obstante, debemos trabajar dentro de los campos de velocidad que la experiencia aconseja como compatibles con los materiales, su abrasividad, tamaño, etc.

Esto nos lleva a optar por la solución

$$B = 500 \text{ mm} \qquad v = 2 \text{ m/s}$$

Para el caso propuesto en el nomograma, la parte derecha del mismo nos muestra que el tamaño de los terrones a transportar es inferior al máximo admitido para nuestro caso en función del tipo de granulometría y del ancho de la cinta, por lo que se mantienen los valores propuestos.

Paso N° 2: La potencia consumida en vencer las resistencias principales (rozamiento, elevación, descargadores) resulta en la suma de las correspondientes potencias.

N_1 - Potencia destinada a vencer rozamientos primarios

- Resistencia a la rodadura de los rodillos portantes bajo la carga de material, banda y peso de la parte móvil de los rodillos de retorno en la zona inferior.
- Resistencia al avance de la cinta que deriva de la rodadura de la misma contra los rodillos.
- Resistencia en rolos o tambores motrices, tensores y contrarrodillos.
- Resistencia, que por efecto del rozamiento interno entre los terrones del material transportado (al cambiar la configuración cuando pasa por los sucesivos rodillos portantes) indirectamente afecta el avance.

El cálculo preciso se verá en la segunda parte, no obstante una buena orientación de los valores de N_1 para transportadores medianos puede obtenerse del gráfico N° 1 en función de la potencialidad Q (t/h) y de la longitud del transportador L (m). Es decir:

$$N_1 = f(Q, L)$$

N_2 - Potencia por pendiente

$$N_2 = \frac{F_2 \cdot v}{75} \qquad N_2 = \frac{q_m \cdot H_m \cdot v}{75} = \frac{Q \cdot H_m}{270}$$

Donde:

$$q_m = \frac{Q}{3,6 v} \qquad F_2 = q_m \cdot H_m$$

En el gráfico N° 2 se obtiene:

$$N_2 = f(Q, H_m)$$

La altura H_m , salvada por el material, se tomará positiva para cintas ascendentes y negativa para cintas descendentes.

N_3 - Potencia en descargadores

El uso de descargadores fijos, móviles, etc., crea una resistencia adicional. En los gráficos 4, 5 y 6 se observan valores experimentales para distintos tipos.

$$N_3 = f(B, \text{tipo de descargador})$$

Potencia total: No incluyendo las resistencias especiales (rozamientos de cinta y material con guías y faldones laterales en zona de carga, convergencia de rodillos, limpiadores, rascadores, etc.).

$$N = N_1 + N_2 + N_3$$

La potencia que debe suministrar el motor será:

$$N_m = \frac{N}{\eta_m}$$

El rendimiento global de la transmisión depende del tipo de la misma. Como valores de orientación pueden aceptarse:

- Transmisión por correa 2 etapas $\eta_m = 0,90 - 0,95$
- Transmisión por reductor a engranajes en carter cerrado $\eta_m = 0,85$ a $0,90$.
- Transmisión a tornillo sin fin rueda helicoidal (sólo en pequeños transportadores) η_m es función de la relación de transmisión i .
- Por embragues hidráulicos deducir en 4 a 6% según el deslizamiento.

Con N_m se puede seleccionar el motor de accionamiento. En caso de motor eléctrico será el de potencia normalizada próxima superior.

Paso N° 3: Características de la cinta.

En primer lugar determinaremos la fuerza de tracción útil F_T .

Siendo:

$$N = \frac{F_T \cdot v}{75}$$

$$F_T = \frac{75 N}{v}$$

El cálculo puede realizarse sobre la parte izquierda del nomograma N° 2. La máxima tensión sobre la correa se obtiene en el mismo nomograma.

$$T = F_T \cdot \frac{e^{\mu\alpha} - 1}{e^{\mu\alpha}} = f_r \cdot f_t \quad \alpha \text{ (radianes)}$$

$$T = T(F_T, \mu, \alpha)$$

Los valores de μ a utilizar sobre la cinta revestida de goma sobre rodillo liso de acero con superficies secas y limpias.

$$\mu = 0,35$$

Para otras condiciones agregamos las siguientes tablas de μ aconsejables. La primera de norma UNE 58-204-75, la otra de Zignoli - Transporte Mecánico - Tomo 2 - Pág.1094 - Ed: Hoepli

Condiciones de trabajo	Revestimiento del rolo motriz			
	Acero Torneado Liso	Goma Acanalada	Goma Nervada	Cerámico
En seco	0,35-0,40	0,40-0,45	0,35-0,40	0,40-0,45
Húmedo - Limpio	0,1	0,35	0,35	0,35-0,40
Húmedo - Sucio	0,05-0,1	0,25-0,30	0,20	0,35

Tipo tensor	Revestimiento del rolo motriz	
	Acero, fundición	Engomado
A tornillo	0,22	0,25
A contrapeso	0,30	0,35

En lo referente a α , en tambores normales $\alpha = 180^\circ$, con contrarrodillo 210° a 240° ; mandos tandem 420 a 480° (se aconseja mando individual de cada tambor).

Una vez fijados μ y α , en la parte derecha del nomograma, obtenemos:

$$T = \frac{e^{\mu\alpha} - 1}{e^{\mu\alpha}} \cdot F_T = f_T \cdot F_T$$

es decir la máxima tensión de la cinta en su entrada al rolo motriz. La tensión a la salida será:

$$t_s = T - F_T$$

Finalmente en la parte superior del nomograma se puede determinar el número de telas necesario z .

La tensión media por centímetro de ancho de cada tela será:

$$k_z = \frac{T \text{ (Kg)}}{B \text{ (cm)} \cdot z} \leq k_{ad}$$

$$z \geq \frac{T}{B \cdot k_{ad}}$$

En caso de terrones minerales pesados que caigan de cierta altura, el número de telas debe ser quizá más elevado a fin de tolerar tal situación.

Esesor del revestimiento A_1 y A_2

Para goma calidad común, y según el tamaño y el tiempo de ciclo t_c , se aconsejan los valores del nomograma N° 3.

- 4° Paso - Velocidad de rolos - Relación de transmisión

$$V_T = \frac{\pi D_m n_r}{60 \times 1000} \qquad n_r = \frac{60000 V_T}{\pi D_m}$$

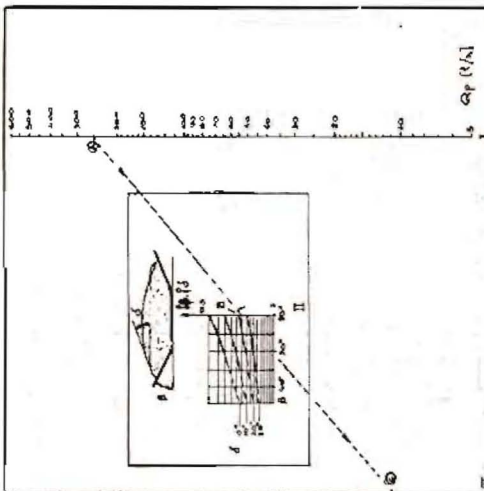
EL nomograma N° 4 da $n_r = f(v, D_m)$ y en la parte derecha se determina:

$$i = \frac{n_r}{n_m} \quad \text{relación de transmisión total}$$

Con esta relación de transmisión y con la potencia de selección

$$N_{sel} = N \cdot f_s$$

puede seleccionarse el reductor y demás elementos de la transmisión.

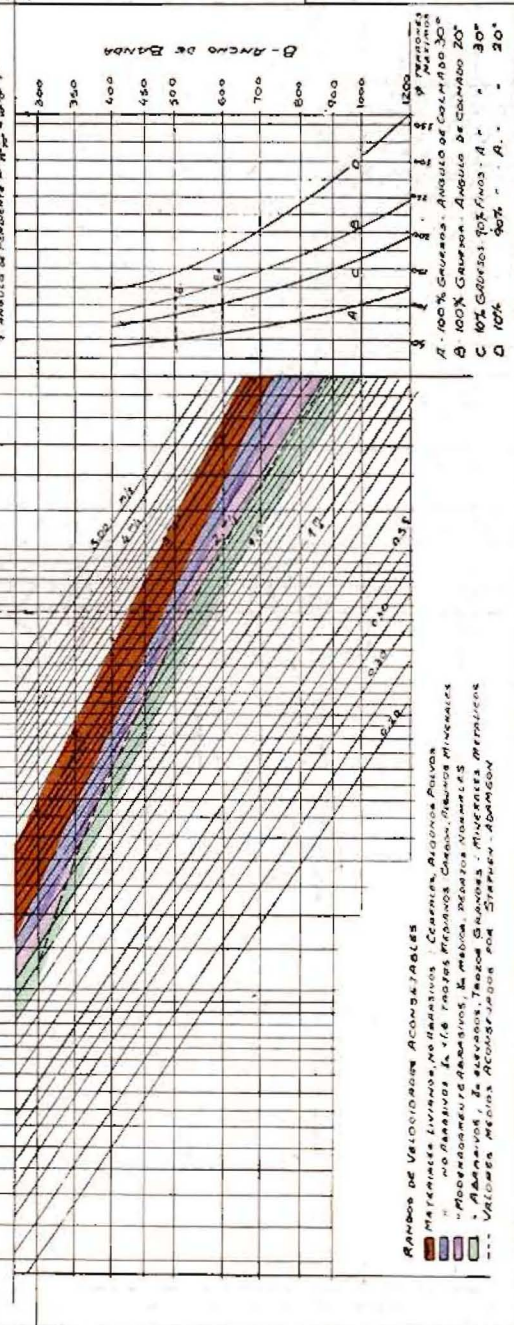
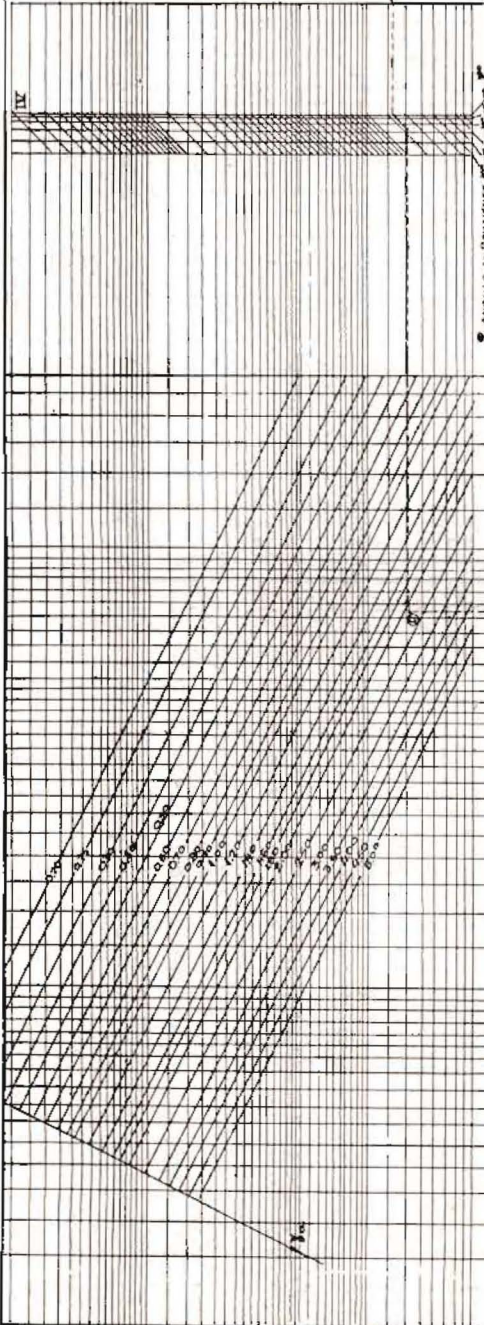


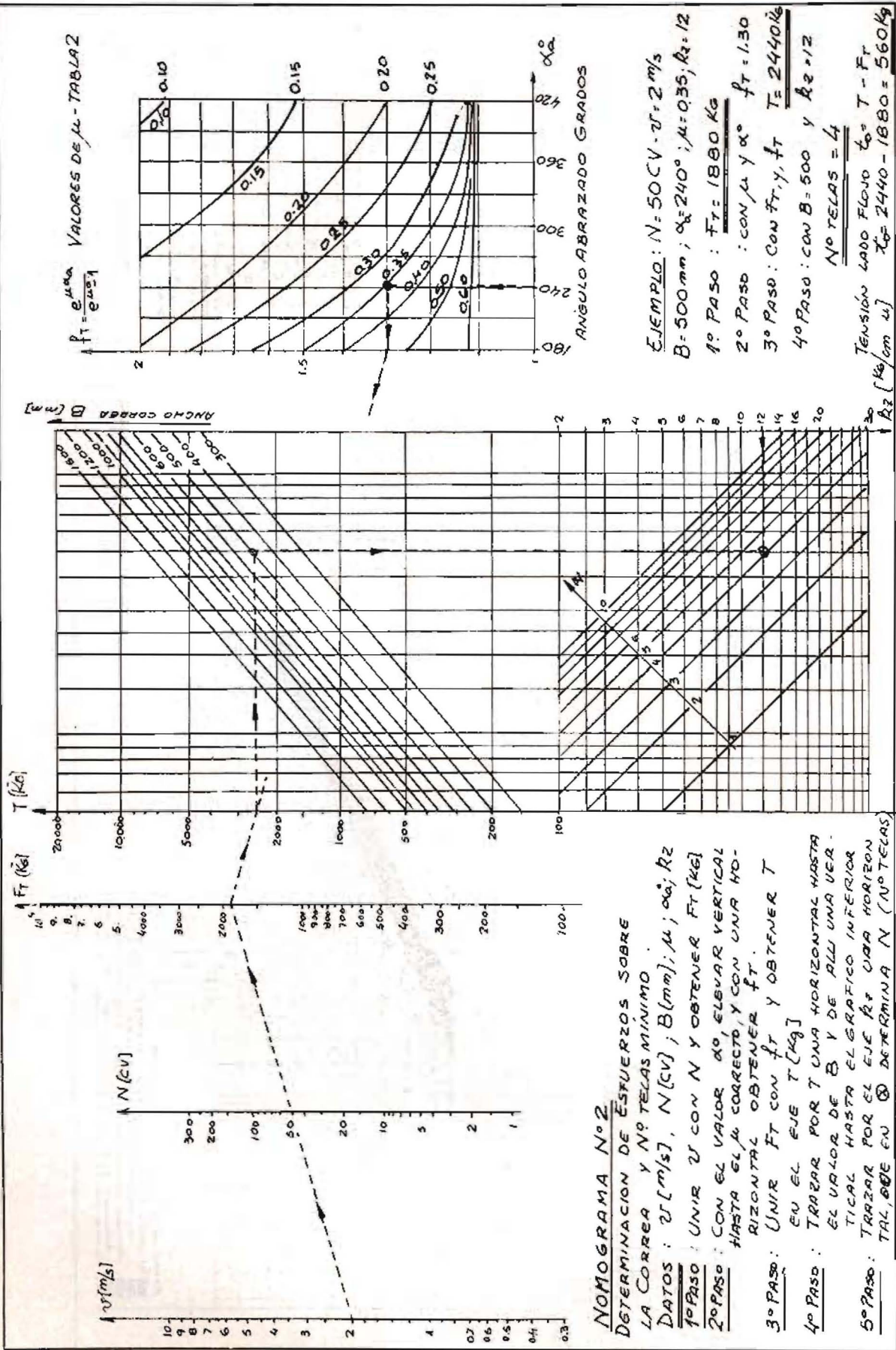
IV - NOMBRAMA SELECCION TRANSPORTADORES DE CINTA - RODILLOS TRINEX DE LEULE LONGSTON

FORMULA: $Q = 57 \cdot D \cdot V \cdot (B \cdot \epsilon) \cdot \rho \cdot f \cdot f_s$

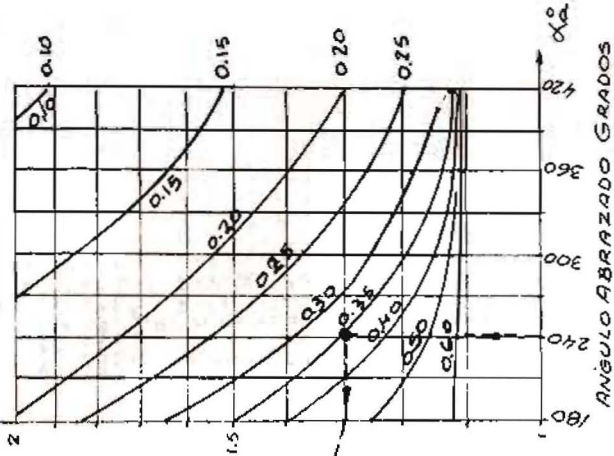
Q: Capacidad Pico (kg/h) $Q = Q \cdot K$
 K: Factor de Inclinacion de Carga
 V: Velocidad Especifica (m/min)
 B: Ancho de CINTA (mm)
 D: diametro de CINTA (mm)
 E: Factor de Correccion por Pendiente
 P: Factor de Correccion por Inclinacion de Rodillos
 f: Factor de Correccion por Velocidad
 f_s: Factor de Correccion por Tipo de Material
 ρ: Densidad del Material (kg/m³)
 ϵ: Ancho de Rodillo (mm)
 ϵ₁: Ancho de Rodillo (mm)

EJEMPLO:
 Seleccionar un transportador de cinta para 1000 kg/h de material con una capacidad de 4000 kg/h. Capacidad 1000 kg/h.
 1° Paso: $A = 20$ a 22
 2° Paso: en este ubicado $Q = 1000$ kg/h
 3° Paso: Una $B = 20$ mm
 4° Paso: Interseccion de $B = 20$ mm y $Q = 1000$ kg/h en la curva de transporte de $Q = 1000$ kg/h.
 5° Paso: De la curva de transporte de $Q = 1000$ kg/h y $B = 20$ mm, se toma el punto de interseccion y se proyecta hacia abajo hasta el eje de D , donde se encuentra el punto $D = 135$ mm.
 6° Paso: El transportador de cinta es el modelo de 135 mm.





$P = \frac{e \cdot \mu \cdot \alpha}{e \cdot \mu \cdot \alpha}$ VALORES DE μ - TABLA 2

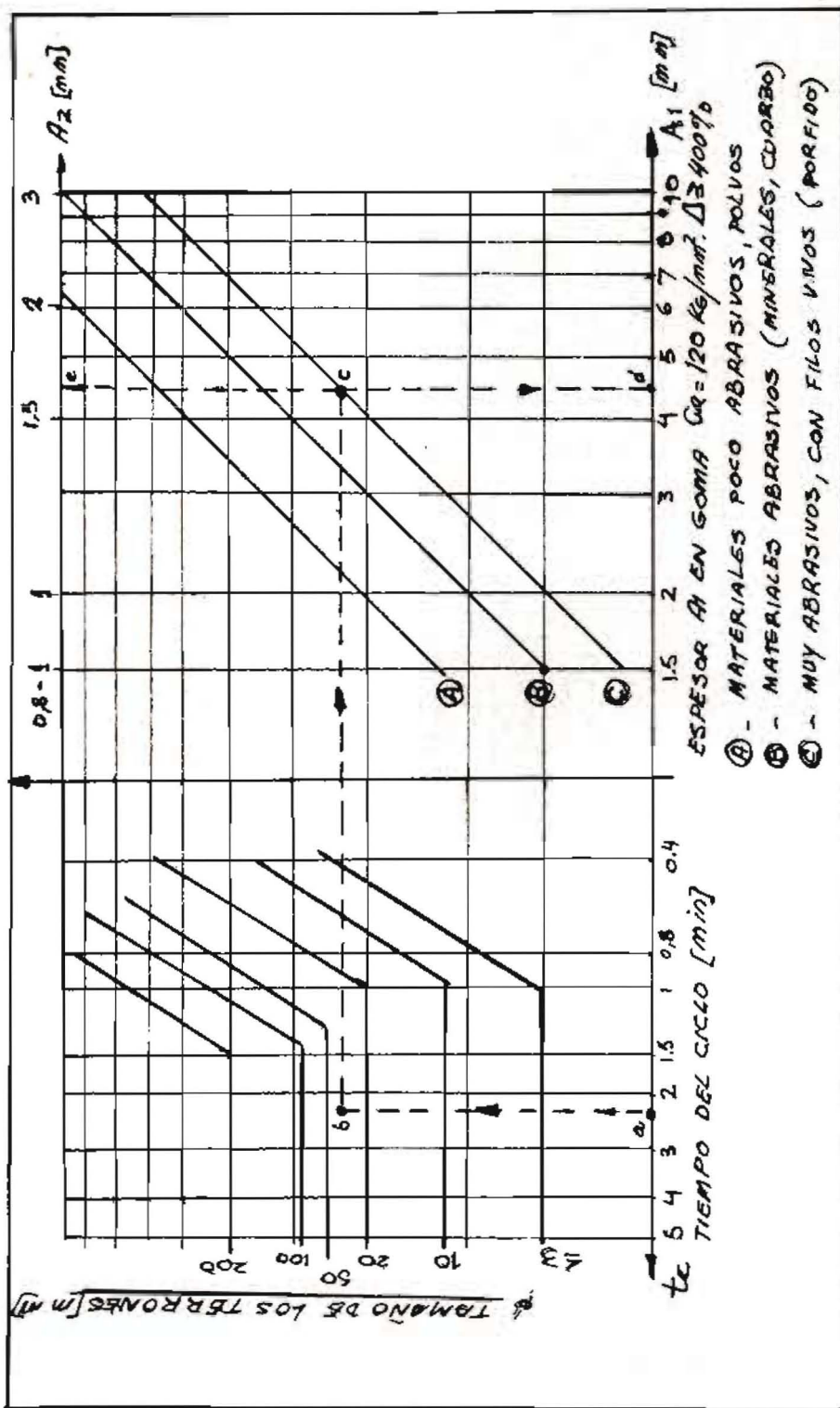


EJEMPLO : $N = 50 CV \cdot v = 2 m/s$
 $B = 500 mm ; \alpha = 240^\circ ; \mu = 0.35 ; R_2 = 12$
 1º PASO : $F_t = 1800 kg$
 2º PASO : con μ y α $F_t = 1.30$
 3º PASO : con F_t , y, $F_t = 2440 kg$
 4º PASO : con $B = 500$ y $R_2 = 12$
 Nº TELAS = 4
 Tensión 4000 FLOJO $t_0 = T - F_t$
 $R_2 (kg/cm u)$ $t_0 = 2440 - 1800 = 560 kg$

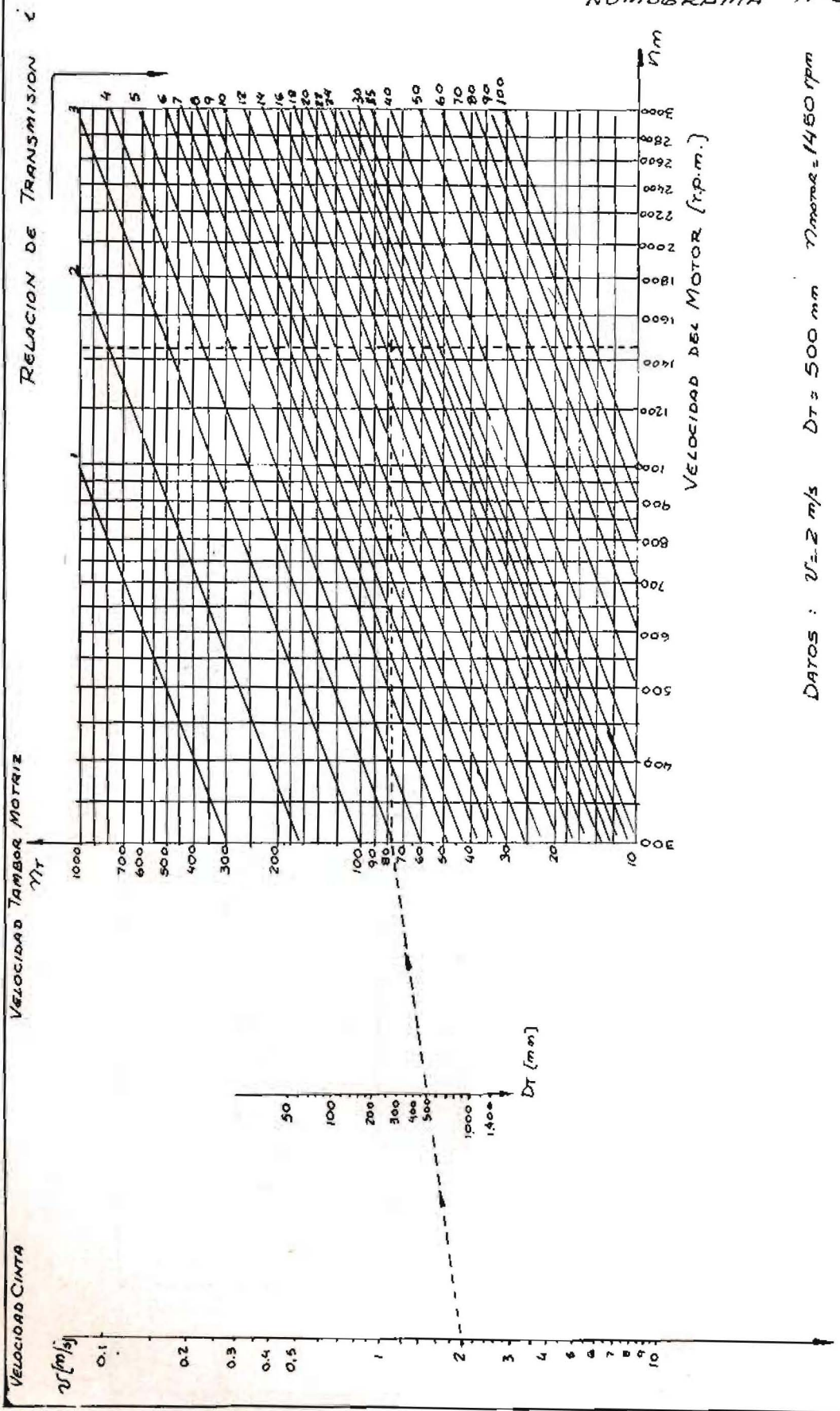
NOMIOGRAMA N° 2

DETERMINACION DE ESFUERZOS SOBRE LA CORREA Y Nº TELAS MINIMO.
 DATOS : $v [m/s]$, $N [CV]$, $B [mm]$; μ ; α ; R_2
 1º PASO : UNIR v CON N Y OBTENER $F_t [kg]$
 2º PASO : CON EL VALOR α , ELEVAR VERTICAL HASTA EL μ CORECTO, Y CON UNA HORIZONTAL OBTENER F_t .
 3º PASO : UNIR F_t CON F_t Y OBTENER T EN EL EJE $T [kg]$
 4º PASO : TRAZAR POR T UNA HORIZONTAL HASTA EL VALOR DE B Y DE ALLI UNA VERTICAL HASTA EL GRÁFICO INFERIOR.
 5º PASO : TRAZAR POR EL EJE R_2 UNA HORIZONTAL, QUE EN \otimes DETERMINA N (Nº TELAS)

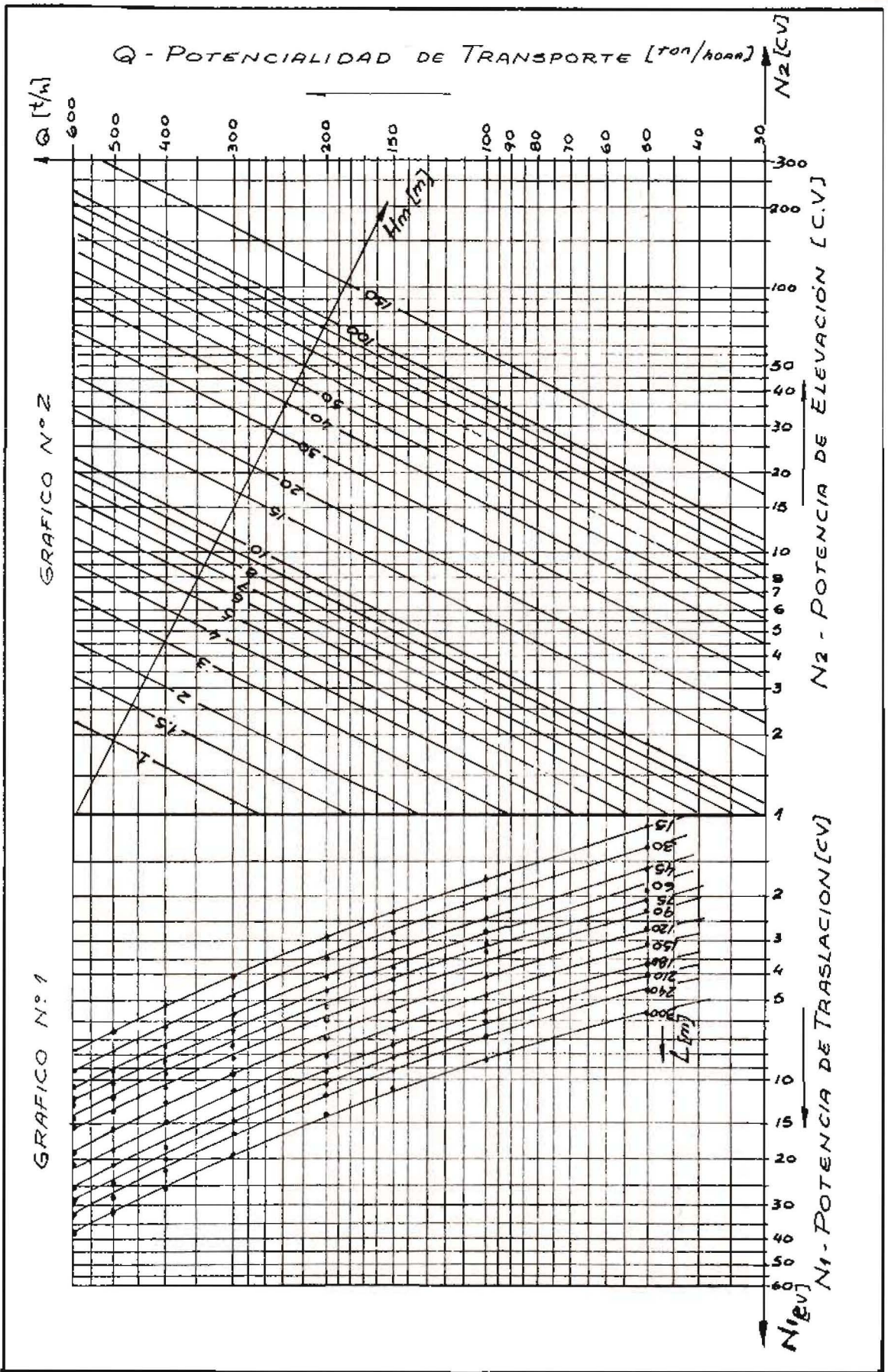
MONOGRAMA No 3



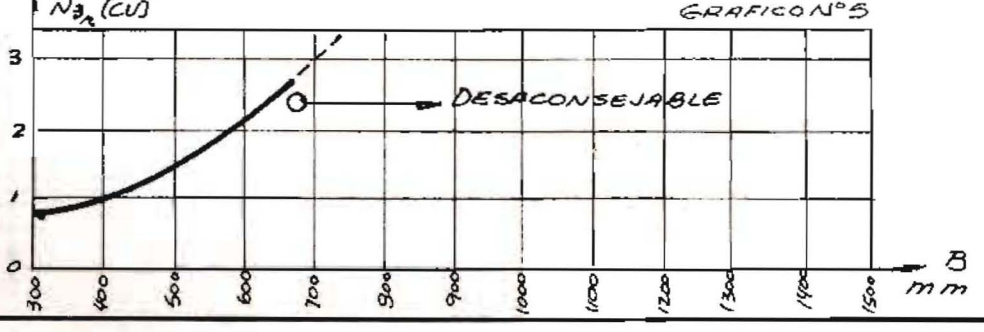
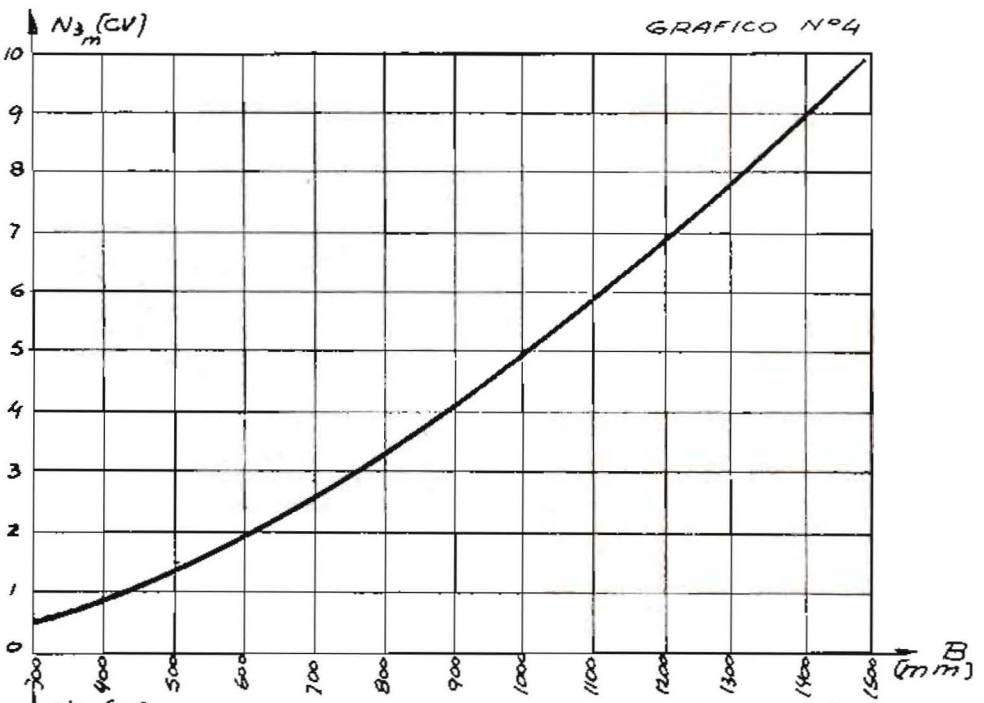
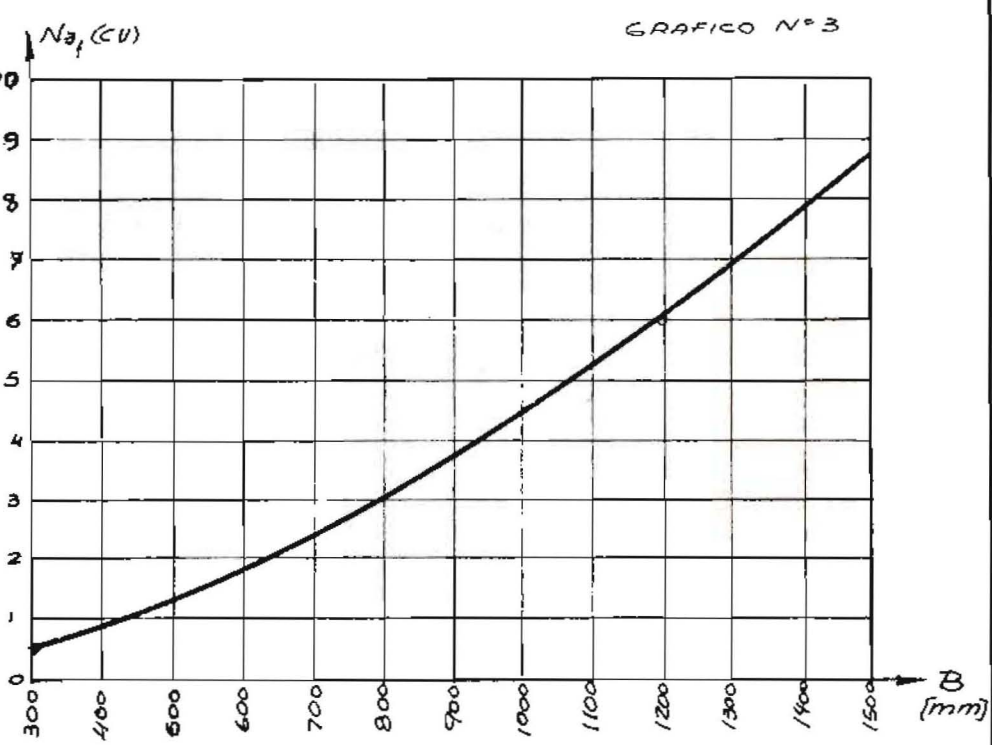
NOMOGRAMA Nº 4



DATOS : $v = 2$ m/s $D_T = 500$ mm $n_{motor} = 1450$ rpm
 $i = 19$



N_3 [CV] POTENCIA CONSUMIDA POR EXISTENCIA DE UN DESCARGADOR
 TIPO FIJO-ROLOS/RODAMIENTOS
 N_3 [CV] POTENCIA CONSUMIDA POR EXISTENCIA DE UN DESCARGADOR
 TIPO MOVIL MORIZADO
 RASCADOR



EL MOTOR ELECTRICO LINEAL

Ing. Roberto De Rossetti

Introducción

Previo a referirse específicamente al motor eléctrico a inducción lineal se hará una breve mención a dos tipos de máquinas convencionales que son las bases que determinan el principio de funcionamiento del motor lineal. Ellas son el motor asíncrono a inducción con jaula de ardilla o rotor en cortocircuito y el motor síncrono a histéresis.

El motor a inducción con jaula de ardilla (fig. 1) está constituido por un estator cilíndrico, ranurado interiormente, en las que se alojan tres bobinados desfasados geoméricamente 120° eléctricos que, al ser alimentados por tres corrientes desfasadas 120° , generan un campo magnético rodante H , que gira en sincronismo n_1 , alrededor del eje de la máquina. El rotor, cilíndrico y ranurado exteriormente, tiene un devanado formado por barras conductoras en sentido axial y cortocircuitadas por un anillo frontal y otro posterior, de esto deriva su nombre de rotor en jaula de ardilla o rotor en cortocircuito. El campo rodante al

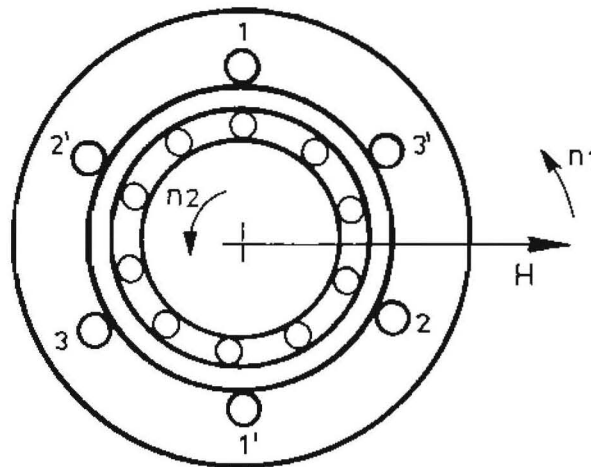


FIGURA 1

cortar los conductores del rotor induce en ellos fuerzas electromotrices, por esto denominado a inducción, que al estar en cortocircuito circulan corrientes que frente al campo rodante producen las fuerzas determinantes del par motor. Indudablemente la velocidad del inducido n_2 , es menor que la del campo, es decir asíncrono, porque si así no fuese no habría variación de flujo y por ende fuerza electromotriz inducida.

El motor síncrono a histéresis (fig. 2) tiene un estator igual al anterior, pero difiere en que su rotor es macizo. Este está constituido por un anillo exterior (1), de material magnético especial, de altas pérdidas por histéresis, tal como cobalto o acero al cromo, sobre un núcleo de material no magnético (2), como por ejemplo aluminio. El motor arranca debido al par producido por las corrientes parásitas y cuando llega al sincronismo, que desaparece éste, continúa girando por el par producido por histéresis. A esta máquina se la puede considerar a inducción ya que las corrientes del rotor son inducidas y no aplicadas.

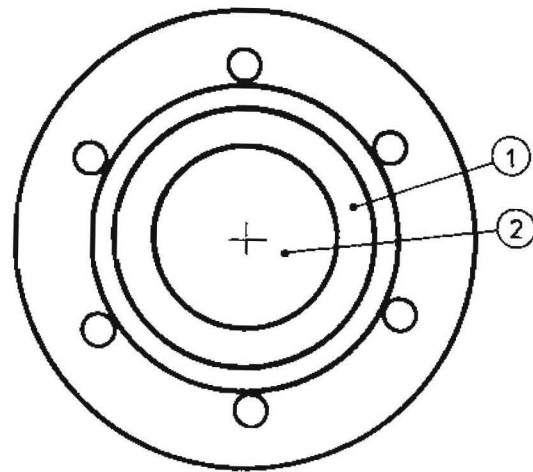


FIGURA 2

Como consecuencia del principio de funcionamiento de este motor se deducen dos tipos derivados del mismo: El motor de taza (fig. 3) que se obtiene separando del rotor de la máquina anterior, la parte exterior conductora y dejando fija la interior que ahora es magnética. La parte exterior cilíndrica, que es la que gira, tapada por un extremo se vincula al eje. La parte interior se fija por el otro extremo al estator. Así la parte móvil es de muy poca masa, poca inercia, lo que le otorga características propias muy particulares de funcionamiento.

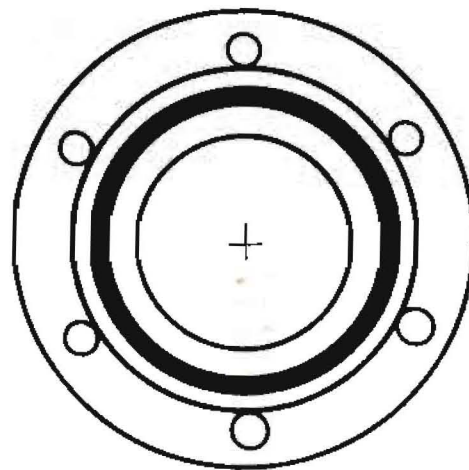


FIGURA 3

El motor de taza a doble inductor, (fig. 4) es una versión mejorada del anterior, ya que elimina el doble entrehierro que aparece en aquél. Consiste en colocar un arrollamiento idéntico al estator en la parte magnética interior.

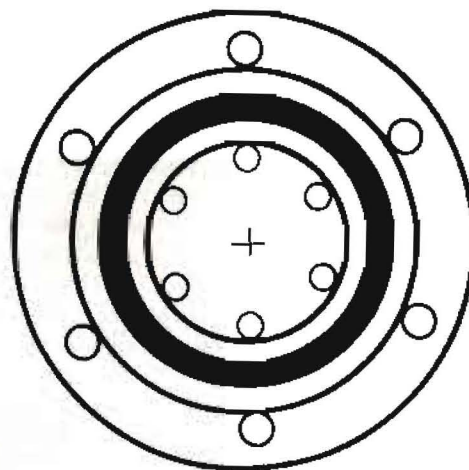


FIGURA 4

El motor lineal

Si a los motores descritos anteriormente se los corta por una generatriz y se los desarrolla sobre un plano, se tendrá en principio un motor lineal. El campo que anteriormente era rotativo, será ahora lineal y se desplazará en sentido transversal respecto a la generatriz de corte. Este desplazamiento generará en el rotor corrientes inducidas que interactuando con el campo producirán fuerzas unidireccionales, originando un movimiento de traslación. Este motor puede presentarse bajo las siguientes formas:

El motor lineal con jaula (fig.5) derivado del motor a inducción con jaula. Las tres bobinas del estator se encuentran ubicadas una al lado de la otra en un mismo plano y la parte móvil contiene la jaula desarrollada. Al aparecer las fuerzas en ésta, desplazan al inducido, móvil, hasta que ya no quede enfrentado con el estator, lo que supone, para la utilidad de este motor, que una de las partes deba prolongarse tanto cuanto sea la trayectoria a recorrer. Por razones obvias de economía conviene que sea el inducido el que se prolongue.

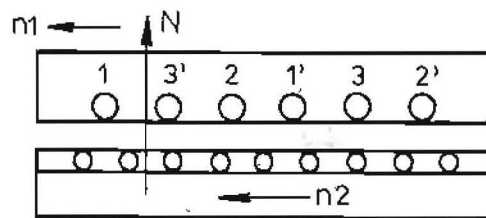


FIGURA 5

El motor lineal con inductor simple (fig. 6) se deriva del motor de taza. Posee un inductor bobinado corto y un inducido formado por una lámina conductora muy próxima al anterior. De esta manera presenta un circuito magnético de elevada reluctancia, por cerrarse principalmente en el aire, lo que lo hace de bajo rendimiento pero de construcción económica. Se puede mejorar el circuito magnético colocando una placa de alta permeabilidad al otro lado del inducido.

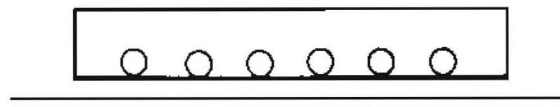


FIGURA 6

El motor lineal con doble inductor (fig. 7) es la versión rectificadora del motor de taza a doble inductor. Consiste en agregar otro inductor bobinado al otro lado del inducido de la máquina anterior. Las bobinas se conectan acopladas, es decir, de forma tal que se suman las fuerzas magnetomotrices, se obtiene así una mejora de la configuración de campo y debido al apreciable entrehierro que poseen estas máquinas, una compensación del mismo. Las bobinas también pueden conectarse en oposición, lo que da origen a un nuevo tipo.

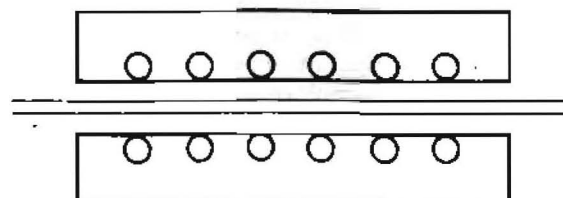


FIGURA 7

El motor tubular (fig. 8) se deduce a partir del anterior. Si se conectan las bobinas de los inductores en oposición se obliga al flujo a cerrarse a través del inducido. Este se construye con dos láminas conductoras sobre ambas caras de una lámina de material magnético. De esta forma constructiva surge la posibilidad de unir entre sí las bobinas de ambos inductores, obteniendo bobinas anulares, y como consecuencia construir el estator en forma de cilindro hueco. Se llega así a una nueva simetría cercana a la del motor convencional.

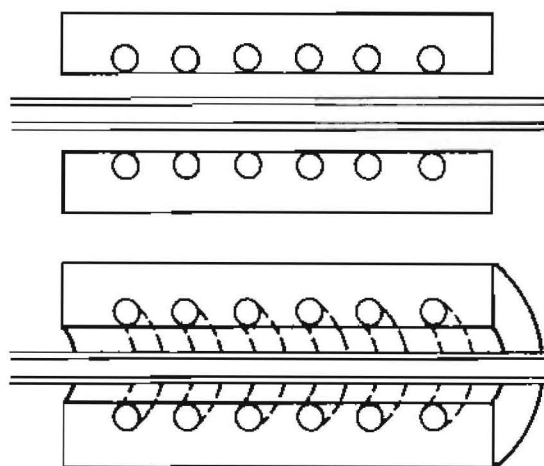


FIGURA 8

Aplicaciones

El motor lineal con doble inductor es el más utilizado en tracción eléctrica. El inductor (3) (fig. 9) con sus bobinas (1) es solidario al vehículo (4). El inducido de lámina (2) solidario al suelo (6). El vehículo está sustentado por un colchón de aire (5). En diciembre de 1968, la Compagnie d'Énergie Lineaire (Lyons, Francia) presentó un monorraíl sustentado por colchón de aire y propulsado por un motor lineal fabricado por

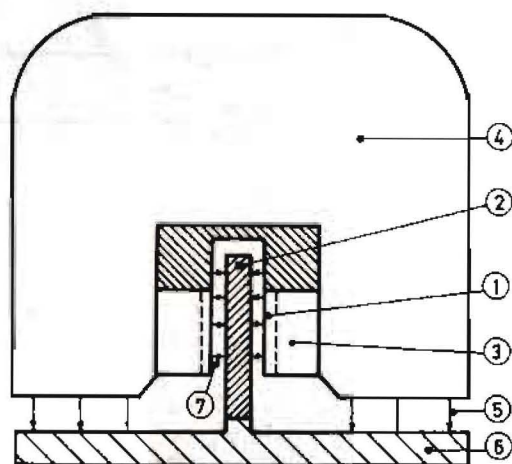


FIGURA 9

Merlin et Gerin. La Société de l' Aerotrain (Francia) ha desarrollado un vehículo con el mismo sistema que el anterior, para transportar 44 pasajeros a 200 Km/h. El motor es Merlin et Gerin de 400 Kw, 1000 V., 50 Hz y pesa 1300 Kg. En Japón también se han aplicado motores de este tipo para la tracción eléctrica.

Otras aplicaciones

Industrialmente se pueden utilizar para el desplazamiento de vagonetas, cintas transportadoras, etc. El motor tubular se usa como bomba para metales líquidos. En los portaaviones se lo utiliza como catapulta. Es muy apto para usarse como freno electrodinámico.

Conclusión

Si bien se está usando en algunos países (Japón, Francia) y no hace relativamente muchos años, la idea del mismo es quizá tan vieja como la del motor a inducción (fines del siglo XIX).

Es probable que haya ocurrido que en su época no se le encontraran aplicaciones prácticas como las que hoy en día tienen.

Su rendimiento, inferior al de unidades rotativas equivalentes, no es óbice cuando la función es lo importante.

Derivadas de estas máquinas, se obtienen además, los motores lineales de corriente continua y los motores oscilantes.

Referencias

- 1º Jornadas Latinoamericanas y 5º Arg. de Ing. Eléctrica, trabajo nº 9-14; Ing. Jorge F. Pujolar, 1972.
- Revista Electrotécnica, mayo-junio 1972; F.F. Madza.
- Revista Air et Cosmos nº 381, 1971, J. Morisset.



UNION OIL INTERNATIONAL EXPLORATION C^o LTD



ALIANZA PETROLERA



INALRUCO S.A.

PROYECTO LLANCANELO - MALARGUE

Unionoil International Exploration Co. Ltd., actuando como operador en sociedad con las compañías argentinas Alianza Petrolera e Inalruco S.A. como contratistas de Y.P.F., está conduciendo un proyecto piloto de inyección de vapor en el yacimiento petrolífero de Llancanelo, próximo a la ciudad de Malargüe en la provincia de Mendoza.

Este proyecto consiste en inyectar a alta presión vapor de elevada temperatura en la napa petrolífera, con el objeto de disminuir la viscosidad de la misma y aumentar la recuperación del petróleo.

Anteriormente varias tentativas para obtener producción en esta área resultaron infructuosas.

Unionoil International Exploration Co. Ltd. lleva adelante este proyecto con personal argentino y aplicando la tecnología que la destacó en los Estados Unidos de Norteamérica como compañía pionera en este campo específico.

DETECTABILIDAD DE ACUIFEROS PROFUNDOS MEDIANTE METODOS DE PROSPECCION ELECTRICA DE RESISTIVIDAD APARENTE

Ing. Edgardo L. Cebrelli

Estos métodos de prospección geofísica han alcanzado, a nivel mundial, una difusión enorme por su gran versatilidad, costo moderado de los equipos necesarios y también de la unidad de área explorada.

En rigor, la detección de un acuífero no se diferencia respecto a la de cualquier otro medio o cuerpo yacente por debajo de la superficie de la tierra. Desde un punto de vista estrictamente geofísico, para que un medio cualquiera pueda ser detectado mediante medidas de una determinada magnitud física tomadas desde la superficie, es necesario que exista un grado de contraste mínimo entre esa formación objetivo y la/s que, inmediatamente, subyace/n o está/n por encima o por debajo.

Es, por lo tanto, necesario precisar algunas definiciones y concretar —o mejor cuantificar— el significado de determinados adjetivos. Por esta razón, comienzo especificando dos conceptos: primero el de acuífero y luego sus entornos probables. Por último, el significado del adjetivo “profundo” para el caso.

El agua en el ciclo hidrológico, luego de precipitada penetra en proporción significativa por debajo de la superficie del suelo y rellena, total o parcialmente, los poros y espacios vacíos que presentan especialmente los suelos sueltos, inconsolidados y, en menor proporción, los que forman rocas de texturas más coherentes, en este caso representados por diaclasas, fracturas y grietas que reconocen como causas comunes variaciones térmicas, efectos mecánicos y, aún, galerías y cavernas provocadas por fenómenos de disolución parcial entre los que el más llamativo es el de karstificación.

Desde un punto de vista general, se define esta aptitud variable de los suelos para almacenar y transmitir agua, mediante dos coeficientes: el de ALMACENAJE, simbolizado por la letra “S” y el de TRASMISIBILIDAD, “T”. El primero puede definirse expresando que es el volumen susceptible de liberarse por causa del campo gravítico terrestre, en cada unidad de volumen de suelo, cuando el potencial hidráulico —es decir, su nivel piezométrico— disminuye en una unidad. Por su parte una forma inmediata de definir a la trasmisibilidad es igualarla al producto del espesor del medio considerado por su permeabilidad, es decir, es el volumen que podría aportar una superficie de b metros cuadrados, correspondiente a un rectángulo de 1 metro de base por el espesor b del acuífero como altura.

Sobre la base de estos dos conceptos todos los terrenos, cualquiera sea su naturaleza, se clasifican en cuatro grandes grupos, a saber:

- 1) acuíferos, son aquéllos que presentan los valores más altos, tanto en lo referente a almacenaje como a trasmisibilidad. Son —desde el punto de vista restringido de la explotación del agua subterránea, los que presentan un mayor interés económico, ya que permiten el suministro del líquido elemento a un costo unitario menor.
- 2) acuitardos, son medios capaces de almacenar proporciones elevadas de agua y su influencia, a escala regional, puede ser significativa en lo referente al transporte de volúmenes de importancia, pero desde el punto de vista de una perforación aislada, su aporte no es importante.
- 3) acuícludos, pueden almacenar, asimismo, cantidades significativas de agua, pero en razón de su permeabilidad extremadamente pequeña, su aporte puede considerarse nulo.

- 4) acuífugos presentan valores demasiado bajos de porosidad, razón por la cual constituyen, real y efectivamente, barreras para la circulación subterránea.

Ejemplos típicos de formaciones de la clase 1) los constituyen los grandes mantos de acumulación reciente —en términos geológicos— formados por bloques, clastos y trozos de tamaños variados de rocas casi siempre afectadas severamente por la meteorización. Si su acumulación se ha producido en un ambiente continental, la clasificación u ordenamiento por tamaños y pesos específicos es muy pobre; coexisten, por lo tanto, trozos de tamaños variados, formados por minerales y rocas diversos.

Esa circunstancia, la clasificación deficiente, determina que, por ejemplo, arcillas, limos y arenas finas, es decir los componentes de tamaños menores, se entremezclen con gravas gruesas, clastos de tamaños diversos y aún, de tanto en tanto, aparezcan bloques cuyo volumen puede ser de varios metros cúbicos, anarquía provocada por el hecho de que los períodos de acumulación más intensa se correspondan —invariablemente— con las grandes crecidas, de forma tal que el régimen torrencial de deposición es su común denominador.

Las formaciones de la clase 2) reconocen un origen similar pero, por tener las corrientes que cumplieron la función de transporte una velocidad menor, hay un contraste más bajo entre los términos mayores y los más pequeños; el mismo medio que hizo las veces de portador provoca una clasificación por tamaños y densidades y, de esta manera, no es difícil observar en los cauces profundos —o cualquier otro sitio donde pueda apreciarse un corte de terreno— verdaderas capas de terrenos, muy aproximadamente homogéneas.

Los horizontes limo-arcillosos que contienen también porcentajes variables de arenas, suelen constituir buenos ejemplos de este tipo de terrenos.

Los acuícludos están constituidos por arcillas y/o limos y, menos probablemente, por otros elementos de granulometría fina hasta muy fina. Frecuentemente están cementados, al menos parcialmente, favorecida esa tendencia por la baja velocidad con que ha circulado el agua salina y por la mayor facilidad de intercambio iónico entre las moléculas formadoras de las arcillas, por ejemplo y algunas de las sales disociadas que transporta el agua.

Los acuífugos, por último, están formados por verdaderas rocas, ígneas o metamórficas y, en la gran mayoría de los casos constituyen una barrera que demarca el límite dentro del que puede considerarse factible la captación de aguas subterráneas, por lo menos en nuestro país y en este momento. Por su constitución los acuífugos aparecen en los sondeos eléctricos como aisladores, es decir, capas de resistividad muy alta.

¿Y los acuíferos secundarios? Es sabido que están constituidos por rocas o formaciones que, originariamente, no tuvieron almacenaje ni transmisibilidad adecuadas como para ser acuíferos, pero que, por alguna razón puramente accidental como movimientos sísmicos de gran magnitud, reacciones químicas con aguas fuertemente salinas (marinas, por ejemplo) que no estaban presentes en la época de su formación pueden adquirir cierta permeabilidad pero, en todo caso, están muy lejos de constituir, ni siquiera aproximadamente, medios homogéneos e isotropos; su detección constituye una tecnología diferente, que no es el objeto de este trabajo.

La magnitud física que se mide

Entre los métodos prospectivos con objetivos hidrogeológicos, indudablemente los que han alcanzado mayor difusión entre los eléctricos, son los que determinan la resistividad, sea mediante la aplicación de campos naturales —como es el caso de los que aplican las corrientes telúricas aisladamente o los que las consideran conjuntamente con las fluctuaciones del campo magnético que las originan— o mediante campos artificiales, creados a ese efecto, exclusivamente.

Es que esta magnitud puede determinarse con precisión adecuada mediante dispositivos, en general tetraelectródicos, que permiten calcularla tan solamente mediante la medición de una intensidad de corriente y la de la caída de potencial que ésta provoca entre dos electrodos ubicados adecuadamente en el terreno.

Como todos los métodos de prospección geofísica, requiere para su aplicación exitosa un grado de contraste adecuado entre las resistividades, en este caso y las de las formaciones vecinas y, por esta razón, se impone un estudio detenido de los valores probables de esta magnitud, tanto para la formación objetivo como para sus más inmediatos vecinos, supra y subyacentes.

La resistividad de los acuíferos inconsolidados: De acuerdo con ARCHIE (1) la resistividad de acuíferos de este tipo puede calcularse en función de la resistividad del agua que satura los espacios vacíos y de la naturaleza y granulometría de los clastos que los forman, por medio de la siguiente expresión:

$$\rho_{aq} = F \cdot \rho_w$$

expresión en la que:

ρ_{aq} representa la resistividad del acuífero como una unidad

F es el llamado factor de formación

ρ_w representa la resistividad del agua que rellena los espacios intergranulares

Esta aproximación es particularmente valiosa para el geofísico. En efecto, casi como una regla, cuando se prospecta un área puede disponerse de antecedentes ilustrativos respecto a la naturaleza de los áridos que forman los acuíferos y, en muchos casos, también referentes a la conductividad eléctrica de las aguas alumbrables mediante perforaciones en la zona. De esta manera, siempre es posible estimar —al menos— un rango de valores probables para la resistividad del acuífero.

Por su parte, la resistividad de las aguas, siempre que sea posible, debe determinarse directamente de muestras obtenidas con todas las precauciones que es de norma adoptar. Puede suceder que no se disponga de ninguna perforación suficientemente próxima y, en este caso, se cuenta con dos alternativas:

a) la estimación de un valor probable de resistividad

b) correlación con algún pozo lejano cuando existe una probabilidad razonable de que sea segura

sin embargo, estos dos caminos, dan siempre una respuesta cualitativamente útil.

Sobre el particular, cabe acotar que lo más importante, con referencia a la calidad química del agua es que, tanto su aptitud para riego como sus condiciones para satisfacer necesidades humanas pueden anticiparse —con ciertas salvedades— mediante la determinación de su conductividad eléctrica.

Para determinar la conductividad del acuífero de acuerdo con la teoría de ARCHIE es necesario, además, conocer el valor numérico del otro factor, por él denominado FACTOR DE FORMACION. Diversos autores han investigado la forma más útil y correcta de su expresión, casi todos ellos vinculados con compañías de servicios en el campo de la industria petrolera.

Hoy se acepta, sin mayores discusiones, que la expresión más adecuada para definir esos valores, es de la forma:

$$F = \frac{a}{\phi^n}$$

donde:

F = factor de formación

ϕ = porosidad volumétrica

a = constante que depende de la naturaleza del medio

n = constante que es función de la litología

es decir, que el Factor de Formación está ligado de manera exclusiva con la porosidad, la distribución de tamaños y la litología de los granos.

Así, por ejemplo, Archie (1) da las siguientes expresiones para los distintos casos:

$$\frac{\rho_t}{\rho_w} = \frac{0,88}{\phi^{1,37}} \quad \text{para rocas integradas por detritos, tales como arenas, areniscas, etc. de edad terciaria con porosidades entre 25 y 45\%}$$

$$\frac{\rho_t}{\rho_w} = \frac{0,62}{\phi^{1,72}} \quad \text{para rocas sedimentarias moderadamente cementadas, incluidas areniscas y calizas con porosidades entre 18 y 35\%, más frecuentemente de la era mesozoica.}$$

$$\frac{\rho_t}{\rho_w} = \frac{0,62}{\phi^{1,95}} \quad \text{para rocas sedimentarias bien cementadas, con un rango de porosidades entre 5 y 25\%, casi siempre de edad paleozoica.}$$

$$\frac{\rho_t}{\rho_w} = \frac{3,5}{\phi^{1,45}} \quad \text{para rocas volcánicas altamente porosas, con porosidades hasta el 80\%.}$$

$$\frac{\rho_t}{\rho_w} = \frac{1,4}{\phi^{1,58}} \quad \text{para rocas con menos del 4\% de porosidad, tales como rocas ígneas y metamórficas, en las que la porosidad por juntas es muy importante}$$

HUMBLE (2), por su parte, da para los distintos tipos de rocas, los siguientes valores:

$$\frac{\rho_t}{\rho_w} = \frac{0,62}{\phi^{2,15}} \text{ o bien } \frac{0,81}{\phi^2} \text{ para formaciones blandas, en general}$$

$$\frac{\rho_t}{\rho_w} = \frac{1}{\phi^m} \text{ para formaciones duras debiendo en cada caso seleccionarse el valor de } m \text{ más adecuado}$$

SHELL, por su parte, ha publicado una fórmula apta para carbonatos de baja porosidad y no fracturados:

$$\frac{\rho_t}{\rho_w} = \frac{1}{\phi^m} \text{ en esta fórmula } m \text{ es también función de la porosidad, por medio de la expresión:}$$

$$m = 1,87 + \frac{0,19}{\phi}$$

No es pequeña la diferencia que existe entre los valores de F cuando se calculan de acuerdo con los criterios de los diferentes investigadores.

Un caso típico lo constituye el cálculo para un caso bien común entre los acuíferos de tipo inconsolidado, aquéllos de alta porosidad que oscila alrededor de 35%.

De acuerdo con Archie s/Humble: 1a. Expresión — 2a. Expresión

$$F = \frac{0,88}{0,35^{1,37}} = 3,707 \quad F = \frac{0,62}{0,35^{2,15}} = 5,92 \quad F = \frac{0,81}{0,35^2} = 6,61$$

es decir que, según Humble, el valor de F en cifras enteras es de 6 para los acuíferos inconsolidados en tanto que para Archie, alcanza solamente a las dos terceras partes.

Ahora bien, si suponemos por ejemplo un agua de saturación con una conductividad de 1000 micro-mohs/cm —es decir 10 ohm-metro de resistividad— que satura un medio de constante de formación igual a 6, la resistividad eléctrica de ese acuífero será igual a:

$$\rho_{aq} = 10 \times 6 = 60 \text{ ohm -- metro}$$

lo que, en otras palabras, significa que acuíferos del tipo inconsolidado con porosidades del orden del 35% , saturados con agua dulce deberán tener, efectivamente, resistividades del orden de 50 a 80 ohm-metro.

Es éste un rango de resistividades que corresponde a las acuíferas de mejor calidad, tanto en lo que hace a su rendimiento específico, cuanto por la calidad química del agua que habrán de aportar.

Sin embargo no existe una relación biunívoca entre acuíferos de buen rendimiento y calidad de agua y su resistividad eléctrica porque, de acuerdo con las expresiones antes consignadas, fácil es ver que las formaciones con baja porosidad —y permeabilidad— tienen un valor de F muy alto y también que aguas de alto contenido salino presentan una conductividad elevada —o, lo que es igual, una resistividad muy baja— y por estas razones un valor aparentemente adecuado para la resistividad del conjunto.

Este peligro, el de confundir formaciones aptas con otras que no lo son, es congénito con el método y no puede ser resuelto con elementos del mismo método prospectivo.

La resistividad de los confinantes

El constituyente más característico, tanto de acuitados como acuíclados, normalmente los confinantes superior e inferior de los acuíferos confinados, lo representan las arcillas, en ocasiones altamente salinas, limos y mezclas de ambos, a veces con alguna adición de arenas, generalmente de grano fino hasta mediano, entre los cuales los dos primeros términos, que son los más abundantes, son de resistividad baja a muy baja —entre 0,5 y 5 ohm-metro, de acuerdo con el contenido salino y la saturación en agua— que contrasta muy bien con la resistividad del acuífero típico que se ha dado más arriba.

Esta situación, dos confinantes de naturaleza conductora y en el medio un acuífero relativamente resistente es la situación más común para el caso de los llamados acuíferos confinados, en especial cuando no se trata de acuíferos basales, y la sucesión de medios eléctricos representable por las letras C · R · C. (conductor - resistente - conductor).

El caso de los llamados acuíferos libres, es decir, que carecen de confinante superior, es diferente y admite algunas variantes en cuanto a la sucesión de medios.

Así, por ejemplo, en la serie más clásica de las zonas pedemontanas, la sucesión de terrenos podría describirse así:

- una cubierta superficial, inconsolidada, formada por mantos de relleno aluvional de depositación reciente (en sentido geológico), de tanto en tanto interrumpidos por la intercalación de formaciones lenticulares de grano más fino que pueden dar origen —o no— a acuíferos “colgados” (perched aquifers)
- un acuífero que, desde el punto de vista litológico, es de la misma naturaleza que la formación anterior, pero que presenta la diferencia fundamental de estar saturado con agua.
- una formación de base que puede tener las más variadas composiciones y naturaleza; por ejemplo puede tratarse de una roca impermeable de alta resistividad (acuífuga), por ejemplo una efusión de pórfidos de edad triásica, o en el otro extremo un horizonte arcilloso-salino prácticamente impermeable, como tantos horizontes de edad terciaria.

Cada sucesión de las indicadas, corresponde a un tipo de curva diferente (de resistividad en función del semiapartamiento entre polos de envío de corriente) y en el ánimo de simplificar las cosas se estudia en esta ocasión el conjunto constituido por el horizonte suprayacente (con características de confinante o no) —el acuífero propiamente dicho— la formación de base o piso.

Si analizamos alguna colección de curvas patrón se puede constatar inmediatamente que la variación mínima de resistividades que se considera para las curvas tipo K y A en las que la resistividad del segundo medio es mayor que la del primero oscila alrededor de 1,5:1. De manera parecida para las curvas H y Q en las que $\rho_2 < \rho_1$ la relación oscila en derredor de 0,66.

Por otra parte la relación mínima de espesores que se considera es $\nu_2 = e_2/e_1 = 0,1$, de donde resulta que el verdadero contraste, tanto para resistencias transversales como para conductancias longitudinales es de alrededor de 15% en más, solamente, para que la inflexión en la curva de resistividades en función del semi-apartamiento de electrodos sea visible.

En la práctica esto significa que formaciones —en este caso acuíferas— con un espesor de sólo la décima parte de la cubierta aparecerán indicadas en la respectiva curva de campo y ello asumiendo que el contraste entre las respectivas resistividades también es el menor posible.

Llegados a este punto en el razonamiento, surgen de inmediato dos preguntas:

- 1) ¿Qué sucede cuando el contraste de resistividades es mayor (caso más frecuente), se reduce en consecuencia el espesor cuando el acuífero contiene agua dulce, su factor de formación es relativamente alto y, en consecuencia su resistividad es mayor que la de los confinantes?
- 2) ¿Es posible que cuando se mantengan las relaciones entre los parámetros de base, puedan variar, dentro de ciertos límites el espesor y la resistividad del acuífero? en caso afirmativo, ¿hasta qué límites?

La contestación a las preguntas anteriores implica, necesariamente, recurrir a la aplicación del principio de equivalencia y sustitución. Un geofísico ruso, Pylaev, estudió en profundidad este problema y dejó un método gráfico sumamente efectivo para determinar estos límites. Lamentablemente, en este caso se está enfrentando el problema de determinar rangos de variación para relaciones de espesores sumamente bajas, 0,1 por ejemplo, y para esa relación de espesores, precisamente, todas las curvas muestran indeterminación.

De todas maneras, la respuesta a la primera pregunta cualitativamente es positiva, pero siempre con el significado de una ley límite; las variables no pueden oscilar, por ejemplo entre menos y más infinito, pero sí es posible, en algunos casos, apartarse hasta un 50% de los valores dados por las relaciones antedichas y lograr una detección correcta.

Ahora es oportuno, en consecuencia, precisar el significado del calificativo “profundo”. Si lo fijamos en 300 metros, acuíferas de 30 metros con un contraste de resistividades de solamente 1,5:1 serán detectables, en condiciones de registración favorables y, con toda seguridad, con un contraste de resistividades del orden de 10:1 acuíferos de sólo 10 metros aparecen en la curva de campo.

Es decir, que la prospección geoelectrica de resistividad aparente tiene una respuesta de detección positiva para la gran mayoría de los casos de interés, pero entonces: ¿a qué factores deben atribuirse los fracasos que se producen?

Pueden citarse muchas causas, pero entre las principales, a juicio del autor son importantes citarse las siguientes:

- 1) la influencia manifiesta de las heterogeneidades superficiales
- 2) la falta de relación biunívoca entre resistividad de la formación y su naturaleza. Efectivamente, acuíferos de buen rendimiento, capaces de aportar agua apta para consumo humano, tienen resistividades del orden de la mencionada al principio pero la recíproca no es siempre verdadera; es decir, una capa de 90 ohm-metro de resistividad no corresponde exclusivamente a un acuífero de Factor de Formación = 6 y con agua de resistividad igual a 15 ohm-metro.

- 3) la falta de verificación de la corrección de la solución determinada para un cierto caso. Es esto lo que se verifica mediante el procedimiento de reconstrucción de la curva de campo, procedimiento que, justo es reconocerlo, es condición necesaria pero no suficiente para asegurar que un determinado perfil "eléctrico" corresponde al litológico que podría lograrse, por ejemplo, con una perforación.

BIBLIOGRAFIA

- (1) ARCHIE, G. E. The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics - Am. Inst. Min. Metal. Petroleum Engineers Tech. Paper 1422.
- (2) HUMBLE, E. R. Petroleum Transactions of A.I.M.E.
- (3) DAVIES S. N. y DE WIEST R. Hidrogeología Ed. Ariel .
- (4) CASTANY, G. Tratado Práctico de las aguas subterráneas Ed. Omega.
- (5) ORELLANA, E. y MOONEY H. P. Curvas Patrón para 2, 3, y 4 terrenos. Editorial Interciencia 1966.
- (5) PYLAEV C. G. Colección de Curvas Patrón para conjuntos de hasta 4 terrenos.
- (6) COMPAGNIE GENERAL DE GEOPHYSIQUE: Serie de Curvas Patrón para 2,3, y 4 terrenos.
- (7) ORELLANA, E. La prospección geoelectrica con corrientes continuas.
- (8) KELLER, G. V. y FRESCHKNECHT, Electrical Methods in Geophysical Prospecting PERGAMON PRESS (1966).

VIBRACIONES DE TERRENO

Ing. Miguel L. Robert
Ing. José A. Salassa

Resumen

En la actualidad se ha desarrollado el control de vibraciones producidas por distintas fuentes. El objeto de esta comunicación es dar una idea general sobre el mencionado control y en particular tratar de introducir en las metodologías que se utilizan cuando las vibraciones son producidas por voladuras, (desmontes, grandes excavaciones y/u obras subterráneas).

El incremento del tráfico vehicular; construcción de edificios en zonas densamente pobladas; el funcionamiento de máquinas herramientas y el uso de explosivos para excavación en roca, provocan efectos indeseables en lo concerniente a ruidos y vibraciones de tierra, por lo que el estudio de vibraciones originadas por distintas fuentes, está dirigido a encontrar relaciones que ligen el origen de aquéllas con las eventuales molestias y/o daños que pudieran afectar a personas, edificios, instrumentos de precisión etc.

Los parámetros involucrados en la medición de vibraciones son:

Amplitud de desplazamiento: (A) medida en mm o μ corresponde a la mitad del desplazamiento pico a pico total.

Velocidad de Vibración: (V) Es el régimen de cambios de desplazamiento (se mide en mm/seg o cm/seg).

Aceleración de la partícula: (a): Se define como el régimen de cambio de velocidad (las unidades son cm/seg² o mm/seg²).

Frecuencia de la onda (f) es el número de veces que un ciclo se repite en la unidad de tiempo (se la mide en ciclos/seg.)

Si la onda vibratoria se supone sinusoidal (este caso se produce con el funcionamiento de maquinarias) los parámetros arriba mencionados están relacionados por las siguientes ecuaciones.

$$V = 2 \pi f A \text{ [mm/seg] o [cm/seg]}$$

$$a = 4 \pi^2 f^2 A \text{ [mm/seg}^2 \text{]}$$

Cuando, además de conocer la velocidad de vibración de la partícula se dispone de la velocidad de propagación sísmica de las ondas elásticas, un excelente parámetro para evaluar el nivel de daños en las construcciones civiles es el cociente entre ambas que se define como "ángulo de cizalladura"

$$\angle c = \frac{V \text{ partícula}}{V \text{ sísmica}} \text{ [m.m./m.t.]}$$

El rango de frecuencias de vibración producidas por una fuente de energía varía entre 5 y 900 Hz, correspondiendo los altos valores a las proximidades de la fuente, disminuyendo éstos a medida que nos alejamos de la misma en función del tipo de terreno que las ondas deben atravesar.

En lo que respecta a voladuras con explosivos en roca, los parámetros involucrados en la operación son:

Cantidad de carga explosiva detonada por unidad de retardo (Q en kg); distancias entre el punto de explosión y el punto de medición (D en metros), factor de Daños (D); constante del lugar (K) y el nivel de energía (Ez).

Para construcciones con fundaciones sobre roca dura, un parámetro llamado Nivel de Carga puede usarse en el planeamiento del programa de cargas

$$\text{Nivel de Carga } N_c = Q \times R^2/3$$

Sin embargo, en áreas de rocas malas, de pobres características de propagación de ondas, estas relaciones no son válidas y una fórmula que da la velocidad aproximada para el desplazamiento de la partícula establece que:

$$A = K.Q.R.^{-1}$$

Aspectos Prácticos de la medición de Vibraciones

Cuando se intenta medir la velocidad de vibración en un punto es necesario hacerlo simultáneamente en tres direcciones definidas para luego componerlos. Es de práctica elegir tres direcciones ortogonales y de las posibles las de mayor uso son una vertical y dos horizontales (una coincidencia con la línea de propagación y otra normal a dicha línea).

Entonces se tiene:

V_z = componente vertical de V_p

V_x = componente horizontal de V_p a lo largo de la línea de propagación

V_y = componente horizontal normal a x

Con estos componentes podemos calcular:

$$V_p = (V_x^2 + V_y^2 + V_z^2)^{1/2}$$

Siendo las unidades usadas de $V_p = [\text{mm/seg}]$

Las mediciones están siempre hechas a nivel de base de las fundaciones de muro o de construcciones (frecuentemente los niveles mayores se obtienen en las zonas más altas de las estructuras).

La obtención de sismogramas comparables requiere el uso de instrumental perfectamente calibrado y confiable.

Algunos instrumentos (como el caso de Vibra Amp de Atlas Copco) son calibrados de modo que las deflexiones leídas en los sismogramas corresponden a la velocidad de partícula en el punto de medición y es posible determinar la amplitud y la aceleración del mismo con el siguiente ábaco en el cual se entra con V_p y la frecuencia (que también se obtiene del sismograma correspondiente).

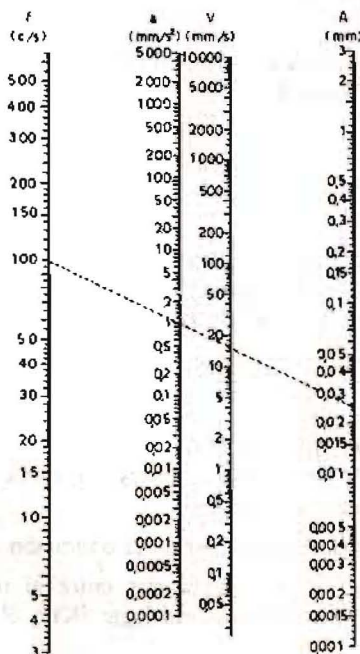


GRAFICO DE LANGEFORS Y KIHLSSTRÖM

DAÑOS:

A continuación se describe la experiencia realizada en la medición de vibraciones ocasionadas por voladuras en la construcción de Túneles y Galerías de ensayo.

En estos casos en la actualidad existen distintos criterios que sirven para cuantificar los efectos producidos por las vibraciones debidas a las voladuras.

a) Criterio Americano

U.S.B. of Mines usa como parámetro más adecuado para estimar el riesgo de daños la velocidad de vibración de la partícula:

$$V = K (D/Q)^{-x}$$

En donde:

V = es el máximo de velocidad de vibración registrado en el curso de la voladura expresado en mm/seg.

K = constante a determinar por ensayo

D = distancia entre el punto de explosión y el punto de medición (en metros)

Q = carga total detonada por unidad de retardo

X = exponente > 0 que se determina mediante ensayos

Las normas establecen un límite de Velocidad como medio de seguridad V = 50 mm/seg.

b) Criterio de Ambraseys y Hendron

La fórmula que utiliza es $V = K \left(\frac{D}{\sqrt[3]{Q}} \right)^{-b}$

V = velocidad de la partícula expresada en cm/seg

D = distancia entre barreno y punto de medición

Q = carga detonada por unidad de retardo

K y b: constantes experimentales

c) Criterio de Langefors y Kihlström

(Criterio Sueco)

$$V_{max} = K \sqrt{\frac{Q}{D^{3/2}}}$$

Los niveles de daños establecidos figuran en la tabla adjunta.

Velocidad de partícula V (mm/seg)	DAÑOS	Observaciones
50	Ninguna fisura	Límite de absoluta seguridad
70	Ninguna fisura aparente	
100	Fisuras insignificantes	
150	Fisuras	
225	Fisuras grandes	
300	Caída de piedras en galerías	
400	Nuevas fisuras en la roca	
1.400	Fisuras de revestim. de túneles	

La relación entre frecuencia, amplitud, daño y velocidad de partícula viene dado por el siguiente gráfico con experiencias realizadas por Langefors y Kihlström:

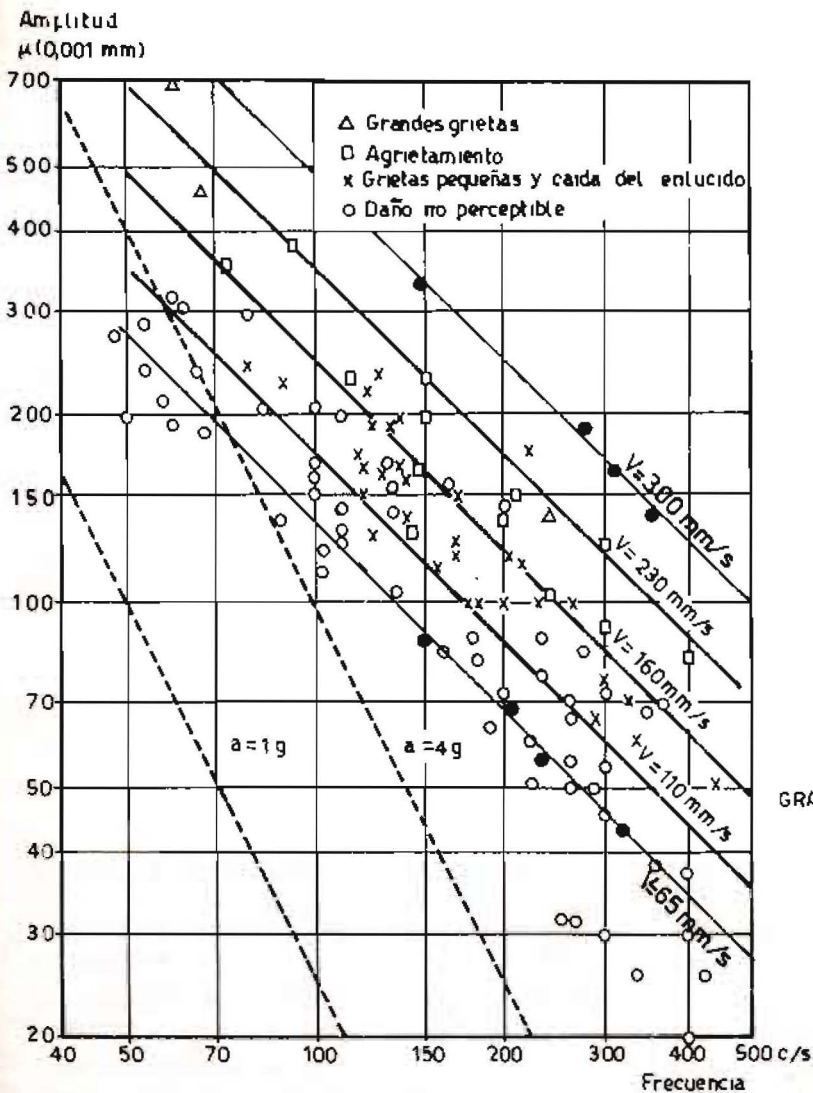


GRAFICO DE LANGEFORS Y KIHSTRÖM
PAG Nº 298

Las líneas continuas dan las amplitudes y frecuencias correspondientes a velocidades constantes $V = 230, 160$ y 110 mm/seg, o velocidades de vibración relativa (ángulo de cizalladura) $v/c = 46, 32$ y 22 mm/m y las discontinuas representan valores de aceleración constante $a = 1g$ y $a = 4$ para rocas con velocidades de propagación de ondas elásticas longitudinales de 5.000 m/seg.

Existe también un gráfico en el que están volcadas las experiencias de Edwards y Northwood que es para bajas frecuencias y las variables que figuran son las mismas que en el gráfico anterior.

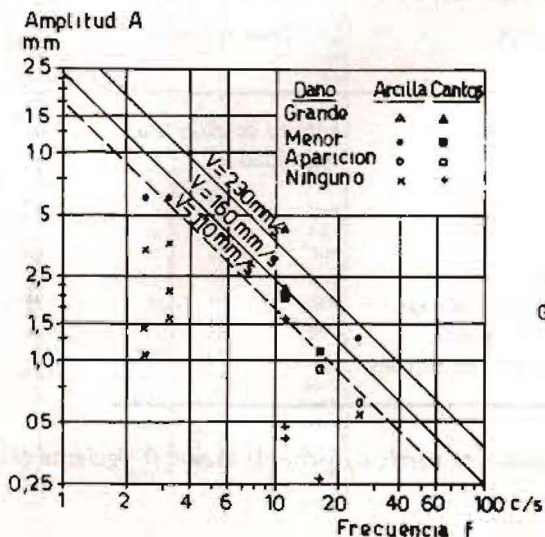


GRAFICO DE LANGEFORS Y KIHSTRÖM
PAG Nº 300

REDUCCION DE LAS VIBRACIONES

Hay diversas formas desarrolladas para reducir el nivel de vibraciones debidas a voladuras. A continuación se mencionan algunas de las técnicas de uso más común:

1) Voladuras de retardo:

Si se requiere una determinada cantidad de carga (Q) para volar un volumen V, también puede pensarse que esos parámetros pueden distribuirse convenientemente en el espacio y en el tiempo para lograr el mismo efecto pero con menores daños.

Para lo primero; espacio, una adecuada distribución de los barrenos que alojarán las cargas es lo más indicado y para el tiempo el uso de detonadores de micro retardo ayuda a solucionar el problema.

En general los detonadores de micro retardo vienen en series de "0" a "12" con intervalos entre cada uno de 20 a 30 milisegundos.

"Langefors" desarrolla la relación entre frecuencia (o su inversa, el período de vibración) y el espaciamiento en tiempo entre barrenos, asegurando que: "Las vibraciones del terreno causadas por una sola explosión adquieren una amplitud máxima A solamente después de una o varias deflexiones previas menores. La vibración normalmente es de duración relativamente corta y en la mayoría de los casos, se puede esperar que solamente tres vibraciones completas tengan una amplitud que llegue a A/2, todas las demás pueden más o menos despreciarse.

Esto significa que en los intervalos mayores de 3T (T = 1/f, tiempo de un período completo) puede calcularse si hay o no colaboración entre 2 barrenos diferentes" (Se entiende por barrenos diferentes a los que tienen detonadores con distinto número de serie de micro retardo).

Se puede mostrar como ejemplo; frecuencias medidas en los sismogramas entre 140 y 180 c/seg y en este caso:

$$T_1 = 1/f_1 = 1/140 = 0.007 \text{ seg/ciclo} = 7 \text{ m seg/ciclo}$$

$$T_2 = 1/f_2 = 1/180 = 0.0056 \text{ seg/ciclo} = 5.6 \text{ m seg/ciclo}$$

De acuerdo a Langefors y Kihlström, si se fija la condición para que no se sumen vibraciones producidas por un barreno volado con un determinado retardo con respecto a otro de menor tiempo:

Condición de no cooperación:

$$\Delta t > n \cdot T$$

$$\Delta t > 2,5 T \quad \left\{ \begin{array}{l} n = 2, 3, 4, \dots \\ T = \text{período} \\ \Delta t = \text{intervalo de tiempo entre barrenos} \end{array} \right.$$

Para el ejemplo que nos ocupa sería:

$$\Delta t_1 = 17,5 \text{ mseg}$$

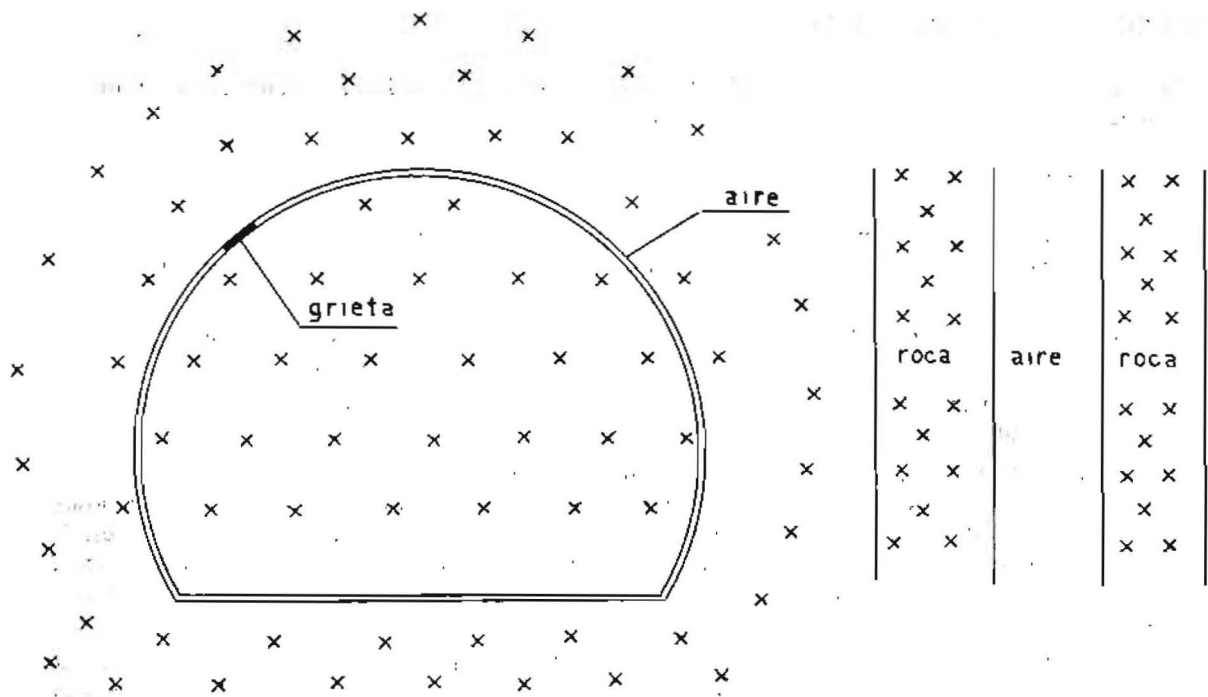
$$\Delta t_2 = 14 \text{ mseg}$$

Lo que indica que con una serie de retardo de 20 mseg sería suficiente para que no haya "colaboración" entre barrenos.

2) Voladuras con precorte

Para el caso de una excavación en la que a más de interesar el mínimo daño, importe también la geometría final, se ha desarrollado la técnica de precorte que simplemente consiste en explotar primero los barrenos de contorno con lo que supuestamente se logra una fisura o grieta que en el mejor de los casos separa el material de destrozar con el que debe permanecer intacto.

En este caso la grieta formada por el precorte actúa como aislador entre el macizo propiamente dicho y el frente volado, discontinuidad que teóricamente está llena de gases (producto de la explosión) y aire, ambos compresibles, actúan como atenuador de energía y se produce el siguiente fenómeno.



La energía generada por el explosivo en la roca se propaga por la misma con la velocidad característica, al llegar a la discontinuidad se produce un fenómeno de reflexión por cambio brusco de impedancia acústica, dicha energía se disipa como calor y rotura en el frente sin propagarse prácticamente al macizo.

Se aplica para demostrar lo anterior:

$$A_t = \frac{2 R_1}{R_1 + R_2} \cdot A_i \quad \text{y} \quad A_R = \frac{R_2 - R_1}{R_2 + R_1} \cdot A_i$$

A_i = Amplitud de la onda incidente

A_t = Amplitud de la onda transmitida

A_R = Amplitud de la onda reflejada

R_1 = Impedancia acústica del medio 1 (donde se genera la señal)

R_2 = Impedancia acústica de la discontinuidad

La impedancia sísmica R se define como:

$$R = \rho \cdot V$$

ρ = Peso específico del medio

V = Velocidad de propagación de la onda sísmica del medio.

Para ejemplificar, supongamos un medio cuya velocidad de propagación y peso específico sean:

$$V_1 = 5.200 \text{ m/seg}$$

$$\rho_1 = 2.800 \text{ kg/m}^3$$

$$R_1 = V_1 \cdot \rho_1 = 14.560.000$$

Para el aire se conoce que:

$$V_2 = 340 \text{ m/seg.}$$

$$\rho_2 = 1,239 \text{ kg/m}^3$$

$$R_2 = \rho_2 \cdot V_2 = 421,26$$

Si llamamos

$$\Delta = \frac{R_2}{R_1}$$

En la ecuación de A_t

$$A_t = \frac{2 \cdot R_1}{R_1 + R_2} \cdot A_i = \frac{2}{1 + \frac{R_2}{R_1}} A_i = \frac{2}{1 + \Delta} A_i$$

Si $\Delta \rightarrow 0$; $\Rightarrow A_t \rightarrow 2 A_i$

Esto resulta un contrasentido pues se habría transmitido el doble de la amplitud incidente.

Entonces la ecuación:

$$A_R = A_i \frac{R_2 - R_1}{R_2 + R_1} = \frac{\frac{R_2}{R_1} - 1}{\frac{R_2}{R_1} + 1} = \frac{\Delta - 1}{\Delta + 1}$$

Si $\Delta \rightarrow 0 \Rightarrow A_R = -A_i$

Esto muestra que se produce una inversión de fase.

Este caso se resuelve aplicando la ecuación de la potencia sísmica

$$P = \frac{\text{Watt}}{\text{m}^3} = A^2 \cdot f^2 \cdot R$$

P_t = Potencia transmitida = $A_t^2 \cdot f^2 \cdot R_2$

P_R = Potencia reflejada = $A_R^2 \cdot f^2 \cdot R_1$

P_i = Potencia Incidente = $A_i^2 \cdot f^2 \cdot R_1$

$$\frac{P_R}{P_i} = \frac{A_R^2 \cdot f^2}{A_i^2 \cdot f^2} \cdot \frac{R_1}{R_1}$$

En este caso se puede aceptar que la frecuencia, tanto para la roca como para la discontinuidad es la misma.

$$P_R = P_i \frac{A_R^2}{A_i^2} = \frac{(R_2 - R_1)^2}{(R_2 + R_1)^2} \cdot P_i$$

Si $R_2 \ll R_1$ $P_i \rightarrow P_R$

Esto implica que la potencia reflejada tiende a ser igual a la incidente.

Si se efectúa un análisis similar para el caso de la señal que pasó al aire de la interfase y que penetraría en el macizo, se llega a la conclusión que teóricamente la energía incidente es muy pequeña.

Luego se concluye que la vibración producida en el caso del precorte es pequeña, razón por la que se pueden incrementar las cargas en tanto y en cuanto el mismo haya producido una buena fisura.

COMENTARIOS PRACTICOS

La experiencia realizada por los autores con mediciones efectuadas en excavaciones para grandes obras subterráneas, ha mostrado que para minimizar los daños por vibraciones producidas en las voladuras se debe observar cuidadosamente que:

- El uso de detonadores de micro retardo da resultados muy satisfactorios pero debe recalcar que cualquier plan teórico óptimo resulta como tal si es que se controla en su ejecución, pues errores en esta etapa pueden traer aparejados condiciones de cooperación entre barrenos.

Se cita como ejemplo que valores medidos en el orden de $V_p = 25$ mm/seg se incrementaron, en una voladura de idénticas condiciones, a $V_p = 85$ mm/seg. Analizando los sismogramas se constató que

un barreno había detonado en el mismo tiempo que otro adyacente cuando en el plan teórico debía hacerlo con un retardo en tiempo de 30 mm/seg.

- b) La técnica del precorte debe ser muy bien evaluada: antes de decidirla, por el incremento de costos que implica (mayor longitud y tiempo de perforación) y luego de decidida, porque si bien la formulación teórica nos muestra que es un excelente "amortiguador" de vibraciones sólo durante la ejecución se podrá confirmar en función que la grieta se forme en todos los barrenos de contorno y a lo largo de cada uno de ellos. Si así no fuere, la eficacia del mismo se ve sensiblemente disminuida.

De lo dicho resulta entonces la conveniencia de adoptar planes de acuerdo a las técnicas actuales, ejecutar voladuras de ensayo, medir las vibraciones que provocan, obtener las constantes locales y de acuerdo con ellas calcular el plan de avance, ejecutarlo con dedicación y controlarlo con mediciones sistemáticas que darán los valores de optimización en el mejor de los casos o de corrección si los ambientes en que se desarrolla la excavación no son uniformes.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Técnica Moderna de Voladura de Rocas
Autor: U.L.F. Langefors y B. Kihlström
Ed. URMO - (Bilbao) España, 1968
- 2) Técnica Sueca de Voladuras
Autor: Rune Gustafsson
Ed: SPI (Nora) España, 1977
- 3) Medición de Vibraciones
Ing. Jorge L. González
Informe técnico J.E. y P.R.III - C.H.R.G. N° 1 - AyEE.
- 4) Let's talk, about Ground Vibrations and their Effect on People and Buildings.
ABEM. Geophisics y Electronics
Reg. Code. AHB 62-01 - 1973 - 11

APLICACION DE METODOS DINAMICOS AL ESTUDIO DE MACIZOS ROCOSOS

Ing. Jorge Lázaro González
Ing. Mario Carlos Vacirca

RESUMEN

El presente artículo tiene por objeto poner de manifiesto la importancia adquirida en los últimos tiempos por los métodos de ensayos dinámicos en el estudio de macizos rocosos. Fundamentalmente estos métodos se emplean para determinar la calidad del macizo, Módulo de Elasticidad Dinámico, Módulo de Elasticidad Estático probable, espesor de la descompresión en las excavaciones, daños ocasionados por las voladuras, estabilidad de excavaciones, profundidad de bulonaje, etc.

En primer término se exponen los principios fundamentales de la Teoría de propagación de ondas elásticas; en segundo lugar se indican someramente los métodos de ensayos dinámicos sobre testigos de roca en laboratorio y en tercer lugar los resultados obtenidos por los métodos de pequeña sismica, sismografía convencional y los de laboratorio.

La aplicación de los métodos de prospección geofísica (Dinámicos) al estudio de macizos rocosos, donde se han de implantar obras civiles de envergadura, tales como presas, caminos, túneles, centrales hidroeléctricas, etc., está tomando gran importancia, debido a que los costos de estudios son relativamente bajos, cumplimentan con eficiencia a los estudios geológicos y geomecánicos, aportando información básica para los profesionales proyectistas.

En el presente artículo se analizan los fundamentos teóricos de la propagación de ondas elásticas, teoría básica de vibraciones en testigos de rocas y los dos métodos dinámicos utilizados para la determinación de Módulo Elástico o Módulo de Young dinámico.

INTRODUCCION TEORICA

De acuerdo a los modernos conceptos geomecánicos, los macizos rocosos son considerados como medios complejos distribuidos en elementos estructurales de diverso orden.

De la consideración del tamaño de estos elementos estructurales surgen las propiedades denominadas GENEIAD y TROPIA, que en definitiva son conceptos referidos a la distribución geométrica y dirección de dichos elementos estructurales en el ambiente considerado.

Como postulado básico para ambas propiedades, se puede enunciar, desde el punto de vista geomecánico, que: Si un macizo rocoso es estructuralmente homogéneo e isótropo, también es isótropo y homogéneo en el sentido físico; por el contrario, un macizo estructuralmente heterogéneo y anisótropo no tiene por qué ser heterogéneo y anisótropo en sus propiedades físicas.

Las propiedades físicas y mecánicas surgidas del concepto de geneidad y tropía son gobernadas por las propiedades primitivas de las rocas, condicionadas por su génesis litología, composición mineralógica, distribución de tensiones, contenido de agua, elementos de relleno de fracturas, etc.

Estos elementos condicionantes son causa de heterogeneidad en el macizo bajo estudio, pero cuando algunos de ellos como la estratificación, diaclasamiento, etc. se presentan en forma regular, producen un estado de cuasianisotropía que puede ser estudiado por métodos indirectos como son los geofísicos.

En el caso de aplicación de los métodos sísmicos, éstos brindan una información adicional sobre las propiedades dinámicas de las rocas y por ello de las condiciones del macizo; son métodos complementarios de los estudios geológicos, hidrogeológicos; geotécnicos, etc. que permiten obtener un conocimiento más amplio de los sistemas en estudio.

Los trabajos sismográficos a realizar sobre los macizos que son investigados se pueden clasificar en 3 grupos, cada uno de los cuales depende del tipo de información que se desea obtener.

- 1) Perfiles sísmicos superficiales, con tiros longitudinales y transversales, el espaciamento entre receptores sismográficos está comprendido entre 5 y 20 metros. Este tipo de registración permite obtener rasgos estructurales generales.
- 2) Observaciones sísmicas en excavaciones, la distancia entre receptores sismográficos puede variar entre 0,5 y 5 metros. Permiten definir detalles menores tales como efecto de descompresión, efectos de fracturación por uso de explosivos, cambios litológicos, etc.
- 3) Estudios de perfiles sísmicos realizados en perforaciones, ya sea por el método de perfilaje sónico (Sonic Log) o bien con los métodos clásicos de construcción de dromocronas verticales o registros entre pozos. En general son trabajos de mucho detalle para estudios muy localizados.

Para la interpretación básica de los trabajos geosísmicos debe tenerse muy en cuenta, que estos ensayos involucran grandes volúmenes de roca y por lo tanto los datos obtenidos son característicos del macizo en forma global.

A continuación se exponen algunos rasgos básicos de la teoría de propagación de ondas elásticas.

La generación de las ondas elásticas a ser registradas, puede efectuarse de dos maneras: una primera que consiste en excitar el sistema con un impacto o detonación de cargas explosivas, la segunda, con la utilización de vibradores que permiten aplicar frecuencias constantes, o bien espectros definidos de frecuencia.

El presente trabajo se refiere al método por impacto o explosivo. En este caso se forma una onda de choque que recorre el cuerpo rocoso en una combinación de ondas longitudinales (compresionales), transversales (cizallamiento) y superficiales. Las velocidades de propagación de estas ondas son características del tramo rocoso donde se efectúa la medición.

La aplicación de las condiciones ideales de homogeneidad e isotropía conducen a las siguientes características de propagación de un frente de onda.

- a) La propagación del frente de onda tiene forma esférica, por lo que las velocidades de las ondas de cuerpo son independientes de la dirección de propagación.
- b) La disminución de la amplitud de las ondas, está directamente vinculada con la distancia al punto de explosión, a la duración del impulso de excitación y a las características geológicas del macizo.
- c) La magnitud absoluta de la amplitud de onda depende de la intensidad de excitación, confinamiento del explosivo, del tamaño de la cavidad equivalente originada por el explosivo, etc.

Las consideraciones de homogeneidad e isotropía permiten aplicar las ecuaciones de NAVIER.

$$\rho \frac{\delta^2 u}{\delta t^2} = (\lambda + 2\mu) \frac{\delta \Delta}{\delta x} + \mu \nabla^2 u + \rho X$$

$$\rho \frac{\delta^2 v}{\delta t^2} = (\lambda + 2\mu) \frac{\delta \Delta}{\delta y} + \mu \nabla^2 v + \rho Y$$

$$\rho \frac{\delta^2 w}{\delta t^2} = (\lambda + 2\mu) \frac{\delta \Delta}{\delta z} + \mu \nabla^2 w + \rho Z$$

Δ = Tensiones Volumétricas

λ y μ = Constantes de Lamé

∇ = Operador de Laplace

ρ = densidad

ρX ; ρY ; ρZ = fuerzas de cuerpo

u , v y w = Comp. del movimiento

Si se toma en cuenta que el tensor de deformación se puede descomponer:

- en su parte hidrostática (esférica isotrópica), que representa un cambio en la longitud (distensión) de una fibra en las direcciones X; Y o Z del cuerpo y en relación con su largo original (cambio de volumen).
- y en su parte desviatoria que representa distorsiones angulares por lo que se la denomina desviador de deformación, que produce distorsiones libres de cambios volumétricos, los movimientos de las ecuaciones

de Navier pueden descomponerse en dos ecuaciones de onda de distinto tipo denominadas ondas de presión y ondas de cizallamiento.

Se pueden resolver las ecuaciones de propagación y calcular la velocidad de propagación para ambos tipos de onda.

Para las ondas de presión u ondas longitudinales la velocidad de propagación es

$$V_L = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}$$

Para las ondas transversales o ecuación de cizallamiento con una velocidad

$$V_T = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

Estas ecuaciones pueden ser escritas como función del módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson ν .

$$V_L = \left[\frac{E(1-\nu)g}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)} \right]^{1/2}$$

$$V_T = \left[\frac{Eg}{2\rho(1+\nu)} \right]^{1/2}$$

En este caso E representa el módulo de elasticidad dinámico, equivalente al módulo de elasticidad estático a confinamiento cero y ν el coeficiente dinámico de Poisson, que puede calcularse mediante el conocimiento de las velocidades longitudinales y transversales.

Para distancias suficientemente grandes, el frente de onda puede ser considerado plano por lo que los movimientos de las partículas son paralelos (longitudinales) o perpendiculares (transversales) a la dirección de propagación.

Todo lo visto anteriormente es válido para cuerpos perfectamente elásticos, pero en general, los macizos rocosos son visco-elásticos.

Para el estudio de estos sistemas y por tratarse de ondas, se pueden aplicar 2 puntos de vista diferentes:

Uno, estudiar el comportamiento de un punto del sistema donde resultarían ecuaciones que tienen por variable al tiempo o bien, analizar la influencia de la onda en el medio en que se propaga y estudiar la influencia de dicha onda sobre el total de puntos del sistema; esta forma de encarar el estudio conduce a ecuaciones con dos variables: tiempo y distancia desde el punto de excitación.

Mediante la teoría de propagación de una onda plana en un medio visco-elástico, se obtiene la siguiente ecuación de onda para un medio visco-elástico infinito:

$$(\lambda + 2\mu) \frac{\delta^2 u}{\delta x^2} + \rho \eta \frac{\delta^3 u}{\delta x^2 \delta t} - \rho \frac{\delta^2 u}{\delta t^2} = 0$$

η = viscosidad

de la que se encuentra una solución que corresponde a la que se observa en la realidad, una solución vibratoria que se atenúa exponencialmente con la distancia, esto es:

$$A = A_0 e^{-\alpha x} e^{i\omega(t - \frac{x}{V_L})}$$

donde A es la amplitud a una distancia X y A_0 es la amplitud de onda a la distancia X_0 (referencia), α es el coeficiente de atenuación; V_L la velocidad de propagación y ω la pulsación o frecuencia angular.

Se puede observar que la disminución de la amplitud de una onda en un medio visco-elástico respecto del punto de excitación, resulta en primer término, función de la distribución geométrica de la energía sobre una superficie esférica mayor y por otro lado las características visco-elásticas nos conducen a una absorción que depende de la forma y duración del impulso.

El problema básico de resolver en este estado, es la vinculación de los parámetros geofísicos que podemos medir V ; α y ω con los parámetros geomecánicos que se desea determinar λ , μ , ρ , η .

La ecuación de onda plana en un medio visco-elástico puede ser escrita bajo la forma

$$\frac{\delta^2 u}{\delta t^2} + \frac{\rho \eta}{\lambda + 2\mu} \frac{\delta^3 u}{\delta x^2 \delta t} + \frac{\rho}{\lambda + 2\mu} \frac{\delta^2 u}{\delta t^2} = 0$$

operando matemáticamente con ecuación de la amplitud se puede determinar:

$$\eta = \frac{2 \alpha V_L^3 \omega^2}{\omega^2 + \alpha^2 V_L^2} [L^2 T^{-1}]$$

se puede observar que si la atenuación es nula $\eta=0$ y se está en el caso clásico del medio elástico.

$$\lambda + 2\mu = \rho V_L^2 \omega^2 \cdot \frac{\omega^2 - \alpha^2 V_L^2}{(\omega^2 + \alpha^2 V_L^2)^2}$$

El producto ρV_L^2 debe ser tenido en cuenta puesto que si se considera que la velocidad de propagación es independiente de la frecuencia se puede observar que:

Por teoría de la elasticidad se estudia:

$$\lambda + 2\mu = E_e \frac{(1 - \nu_e)}{(1 + \nu_e)(1 - 2\nu_e)} = E_e f(\nu_e)$$

donde el subíndice "e" significa estático. El producto $\rho \cdot V^2$ está ligado al módulo dinámico.

$$\rho \cdot V_L^2 = E_d \frac{(1 - \nu_d)}{(1 + \nu_d)(1 - 2\nu_d)} = E_d f(\nu_d)$$

El subíndice "d" significa dinámico.

Por lo que se puede escribir:

$$\frac{E_e f(\nu_e)}{E_d f(\nu_d)} = \omega^2 \frac{(\omega^2 - \alpha^2 V_L^2)}{(\omega^2 + \alpha^2 V_L^2)^2}$$

que es una ecuación que relaciona los módulos de elasticidad con los parámetros que se pueden medir con los métodos sismográficos.

Respecto del coeficiente de amortiguamiento se puede expresar, que para macizos rocosos geológicamente condicionados por sistemas de anisotropía regular (sistemas de fallas, diaclasas, planos de estratificaciones) o bien por heterogeneidades litológicas deben esperarse coeficientes de atenuación mayores en dirección paralela a las zonas de menor velocidad de propagación y viceversa.

Esto es debido a que la simetría esférica de propagación se pierde por efecto de la anisotropía y la heterogeneidad.

Un planteo similar puede realizarse para las ondas transversales donde la ecuación de propagación de la onda plana para un medio visco-elástico viene dada por:

$$\frac{\delta^2 u}{\delta t^2} + \frac{\rho \eta}{\mu} \frac{\delta^3 v}{\delta x^2 \delta t} - \frac{\rho}{\mu} \frac{\delta^2 u}{\delta t^2} = 0$$

donde

$$\mu = v_t^2 \omega^2 \cdot \frac{\omega^2 - \alpha^2 V_T^2}{(\omega^2 + \alpha^2 V_T^2)^2}$$

obteniéndose una relación entre el módulo estático y módulo dinámico.

$$\frac{E_e f(\nu_e)}{E_d f(\nu_d)} = \omega^2 \frac{\omega^2 - \alpha^2 V_T^2}{\omega^2 + \alpha^2 V_T^2}$$

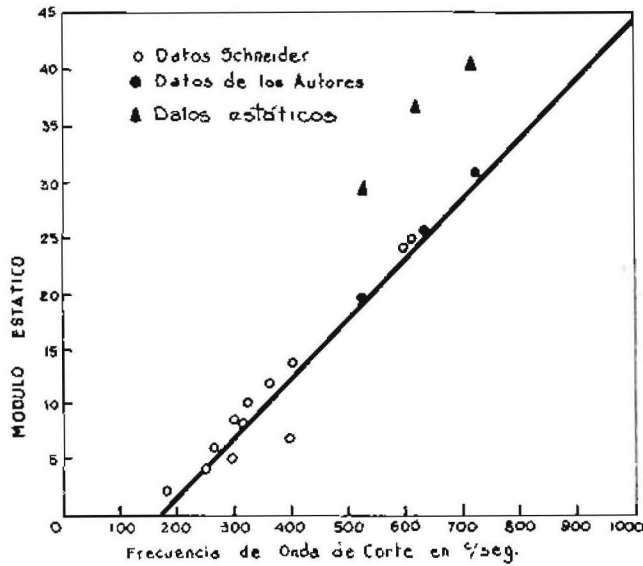
Relación que es idéntica a la obtenida para las ondas longitudinales.

Con la determinación de la frecuencia de las ondas transversales y ensayos in situ realizados se construye un gráfico que relaciona ambos parámetros (Schneider, 1967).

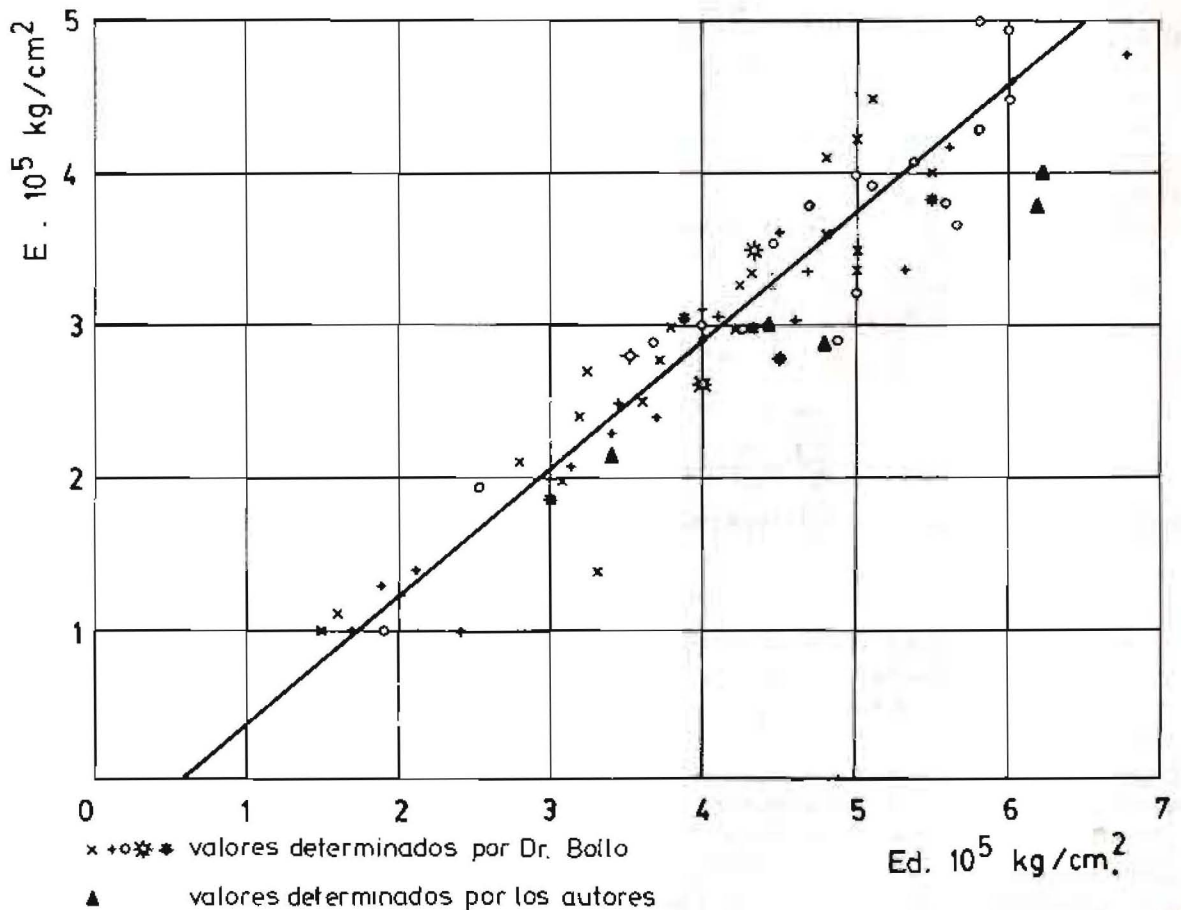
Donde el módulo de elasticidad obtenido por la denominada PEQUEÑA SISMICA viene dado por:

$$E_M = 0,054 f - 9.2 \text{ (G Pa)}$$

f = frecuencia de las ondas transversales



De la comparación de los valores del módulo elástico dinámico obtenido por el método convencional del cálculo de las dos velocidades V_L , V_T y por consiguiente ν , con los valores obtenidos mediante ensayos in situ realizados por el Dr. Mariano Fernández Bollo se obtienen las siguientes ecuaciones de correlación que relacionan los dos módulos de elasticidad:



Ortogonal	$E = -0,47 + 0,84 E_d$
Lineal	$E = -0,31 + 0,7 E_d$
Potencial	$E = 0,58 E_d^{1,14}$
Exponencial	$E = 0,7 e^{0,31 E_d}$
Parabólica	$E = -0,37 + 0,83 E_d - 0,0045 E_d^2$

De las ecuaciones anteriores, las que mejor se adaptan son la ortogonal y la parabólica aunque en ambos casos para $E_d = 0$ el valor sería negativo, hecho que físicamente no tiene sentido.

De lo expuesto en la teoría se observa que existen divergencias en los valores del módulo de elasticidad dinámico y el módulo de elasticidad estático (este último determinado mediante ensayos in situ).

En nuestro caso para las determinaciones del módulo dinámico mediante el método clásico de determinar las velocidades de propagación, de las ondas longitudinales y transversales, las divergencias están fundamentalmente originadas por los siguientes hechos.

1) Tiempo de aplicación de la carga

En el caso de los ensayos estáticos la carga se aplica lentamente y la transformación es adiabática; en el caso del impulso dinámico la carga se aplica en el orden de milisegundos y la transformación es isotérmica.

2) Longitud del tendido sísmico

Tiene importancia fundamental en la determinación de velocidades. En general la descompresión superficial del macizo rocoso hace que las velocidades superficiales sean menores que las profundas y la longitud del tendido tiene relación con la profundidad de investigación.

3) Dirección del tendido sísmico

En la mayoría de los macizos rocosos, existen direcciones de diaclasamiento y de estructuras predominantes razón por la cual si la dirección del dispositivo sísmico es normal a la de las estructuras la velocidad determinada será menor que en el caso de registrar según el sentido estructural predominante.

4) Influencia del agua en el interior del macizo

Está plenamente demostrado que la velocidad de propagación de las ondas longitudinales es superior en macizos saturados o con alto contenido de humedad que en aquéllos que están secos, el hecho de que la velocidad de propagación al cuadrado y el módulo estén relacionados directamente provoca un alto grado de divergencia.

5) Estado tensional del macizo

Dado que las velocidades de propagación de las ondas elásticas están vinculadas a los parámetros elásticos del macizo (Constantes de LAME λ y μ) y éstos a su vez dependen de su estado tensional, las determinaciones de los módulos se ven afectadas por dicho estado. A medida que se incrementa el estado tensional, también se incrementan los valores de los módulos elásticos estático y dinámico.

MEDICIONES DINAMICAS SOBRE TESTIGOS DE ROCA

En general en los estudios destinados al emplazamiento de obras civiles en macizos rocosos, se efectúan perforaciones con corona de diamante con el objeto de extraer testigos que indican el estado litológico del macizo. Estos testigos se emplean a posteriori para realizar una serie de ensayos, tanto estáticos como dinámicos.

Disponiendo convenientemente el testigo en el laboratorio, se lo puede excitar para que realice vibraciones longitudinales, transversales y/o torsionales, de manera tal de definir cuál es la frecuencia de resonancia en cada modo de vibración propia de cada probeta.

Para poder aplicar estos métodos, el testigo debe tener una longitud de varias veces el diámetro (como mínimo, la longitud debe ser el doble del diámetro).

Vibraciones longitudinales

La determinación de las propiedades elásticas de las rocas, por medio de la determinación de la frecuencia de resonancia para vibraciones longitudinales, es la más simple y en general se la emplea como elemento de contraste con los otros modos de vibración

Esta facilidad se ve reflejada en el comportamiento del equipo de registración, donde las observaciones en el osciloscopio son de mayor amplitud que para otros modos de vibración.

En las vibraciones longitudinales las partículas se mueven a partir de su posición de equilibrio en sentido paralelo al eje de la probeta de roca y se asume que la sección transversal de la misma permanece plana, o sea que el único movimiento es en el sentido axial.

Esta asunción se verifica siempre que la longitud de onda de excitación transversal, que pasa por el testigo sea lo suficientemente grande respecto de la sección transversal. En otras palabras, cuando el testigo vibre longitudinalmente, el desplazamiento transversal debe ser nulo.

En base a las condiciones anteriores, la relación matemática que vincula el módulo de elasticidad E con la frecuencia de resonancia es:

$$E = \frac{K \Gamma^2 \rho l^2}{n^2 g}$$

E = Módulo dinámico de Young

Γ = Frecuencia de resonancia

ρ = Densidad

l = Longitud del testigo

n = Nº de nodos de vibración

g = Aceleración de la gravedad

La ecuación anterior, en base a una serie de reemplazos, se puede escribir:

$$E = C W f^2$$

donde:

E = Módulo de Elasticidad

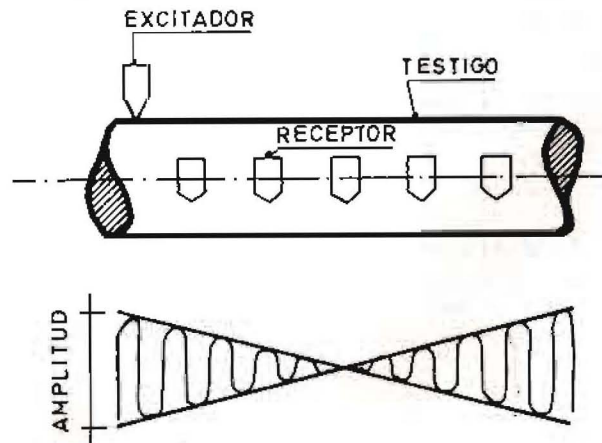
W = Peso del testigo

f = Frecuencia de resonancia

c = Constante que involucra la longitud, momento de inercia, aceleración de la gravedad, etc.

Esta ecuación ha sido adoptada por la ASTM (American Society for Testing of Material).

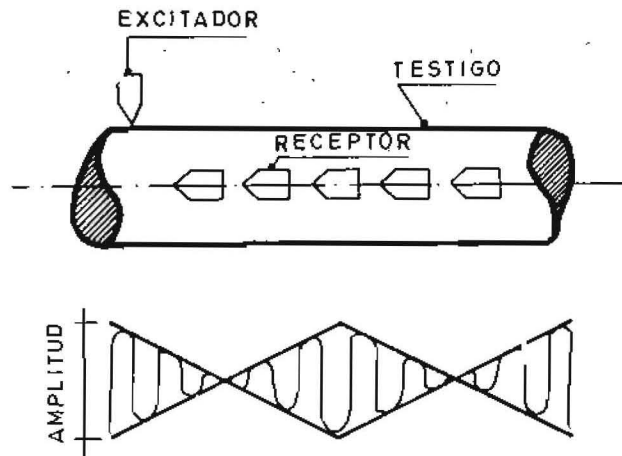
Para este modo de vibración es necesario ubicar los transductores de excitación y captación como indica la siguiente figura: el eje del transductor de captación está perpendicular al testigo.



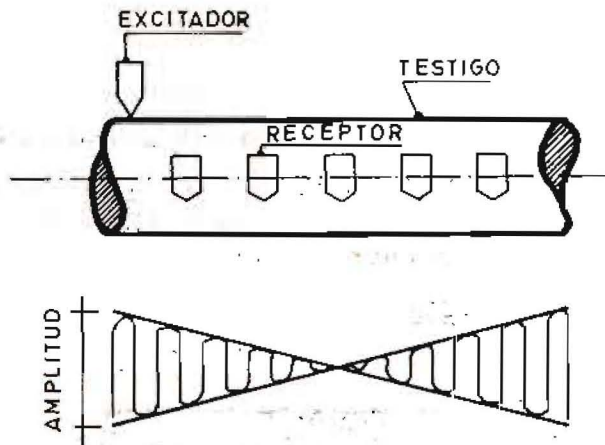
Se puede observar cómo se modifica la amplitud leída en el osciloscopio a medida que el transductor de captación se desplaza a lo largo del testigo. Para asegurarse que se está realmente en presencia de vibraciones longitudinales se coloca el eje del transductor de captación paralelo al eje del testigo, debe observarse que no hay señal en el osciloscopio.

Vibraciones Transversales de una barra cilíndrica

Para la determinación de la frecuencia de resonancia para el modo de vibración transversal, se ubica el testigo en la mesa de ensayos colocando adecuadamente las cuchillas de apoyo de manera tal que las mismas queden en los nodos de vibración (una distancia aproximada de 0,2 a 1 a ambos extremos de la barra) reajustando la posición de las mismas hasta asegurarse su correcta posición. En este caso, si el transductor de captación, una vez lograda la máxima salida en el osciloscopio, se desplaza con su eje paralelo al eje del testigo, se obtendrá un diagrama de amplitudes como el indicado en la siguiente figura:



En cambio, si el eje del transductor de captación se coloca perpendicular al eje del testigo, se obtiene el siguiente diagrama de amplitudes:



En este caso se trabaja bajo la premisa de que las deformaciones en el testigo son de dilatación y compresión a lo largo del eje del testigo y por lo tanto los movimientos son normales al eje del mismo. Youash (1964) ha trabajado sobre el problema matemático que liga la frecuencia de resonancia transversal con el Módulo de Elasticidad, llegando a una fórmula similar a la de vibraciones longitudinales:

$$E = K W f^2$$

donde:

E = Módulo de Elasticidad

W = Peso del testigo

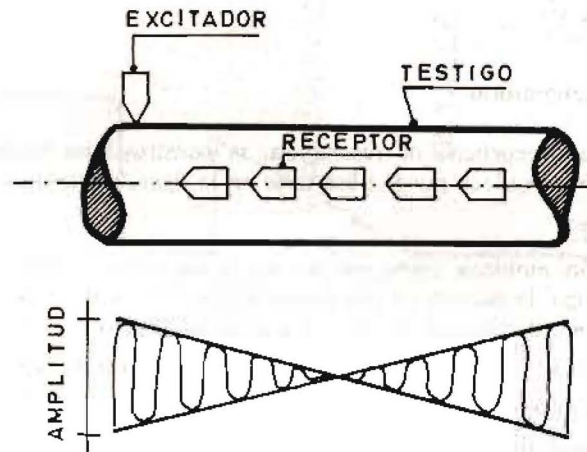
f = Frecuencia de resonancia transversal

K = Factor de Corrección que es función de:

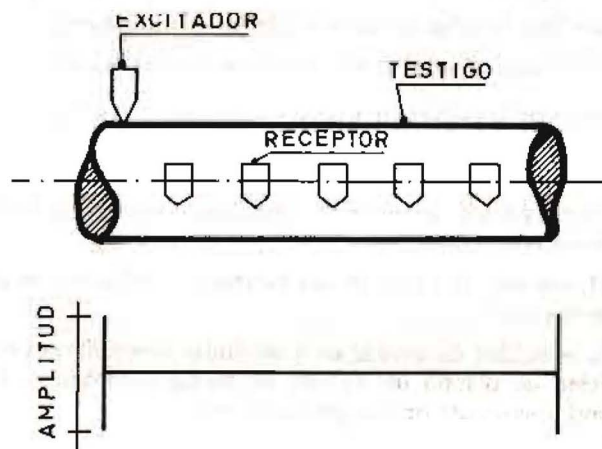
Coefficiente de poisson, longitud del testigo, diámetro del mismo

Vibraciones Torsionales de una barra cilíndrica

Se asume como en los casos anteriores que el testigo no tiene ningún tipo de restricción en sus extremos para que pueda vibrar libremente. Asimismo se colocan los transductores, tanto de excitación como de captación, según la siguiente figura, obteniéndose un diagrama de amplitudes, como el indicado:



Debida a la similitud de la forma de vibrar con el modo transversal, se requiere una posterior comprobación de la misma, para lo cual, el eje del transductor de captación de la señal se coloca perpendicular al eje del testigo, debiendo dar una indicación nula en el osciloscopio, cuando dicho transductor se desplaza a lo largo del testigo.



Para que se produzca lo mencionado, se trabaja con la asunción de que tanto el radio del testigo como la sección de la misma no cambian durante la vibración.

La expresión matemática que vincula el módulo de rigidez con la frecuencia de resonancia para el modo torsional, está dado por:

$$G = \frac{K f^2 L W R}{A n^2 g}$$

donde:

- G = Módulo de rigidez
- f = Frecuencia fundamental para vibración torsional
- L = Longitud del testigo
- W = Peso del testigo
- R = Relación entre el momento polar de inercia y factor de forma
- A = Área de la sección transversal
- g = Aceleración de la gravedad
- n = Nodos de vibración
- K = Constante de proporcionalidad

Esta última fórmula puede ser simplificada como en los casos anteriores, quedando reducida a:

$$G = B W f^2$$

donde:

$$B = \frac{K R L}{g A n^2}$$

Descripción del Equipo de Laboratorio

Para la determinación de las frecuencias de resonancia, se construyó un equipo para mediciones por el método sónico, cuyo diagrama en block puede observarse en la figura siguiente

Consta fundamentalmente de:

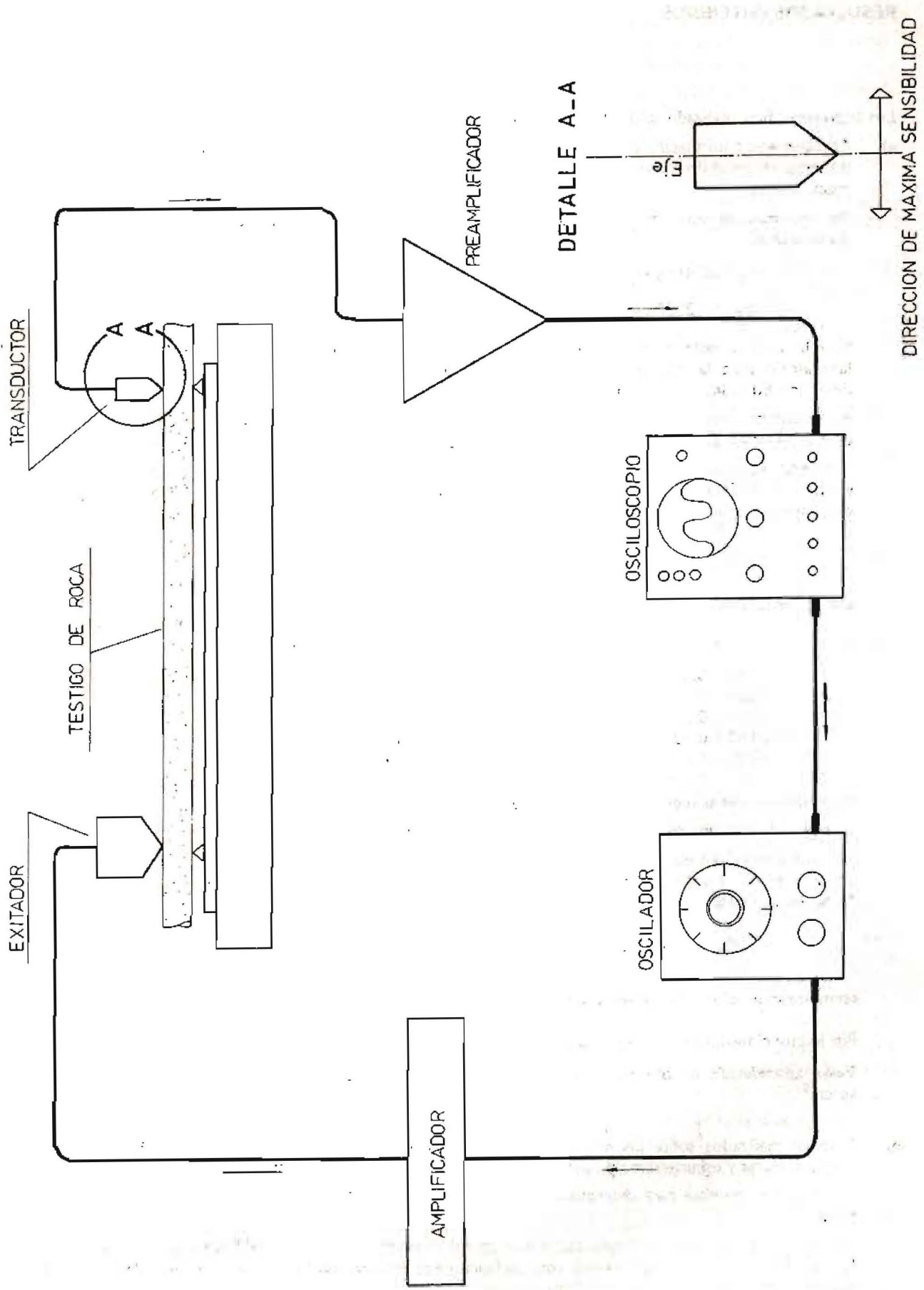
- a) Una mesa de hormigón montada sobre espuma de goma donde, mediante un par de cuchillos de goma, se coloca el testigo de manera tal que pueda vibrar libremente; la separación entre los cuchillos está en función del modo de vibración y de la longitud del testigo.
- b) Un oscilador de frecuencia variable con un rango de 5 c/seg a 100 Kc/seg.
- c) Un amplificador, cuya misión es proporcionar la potencia necesaria al transductor excitador.
- d) Un transductor excitador, que en nuestro caso fue un altoparlante modificado y con una respuesta en frecuencia conocida.
- e) Dos transductores para captar la señal proveniente del testigo; se utilizaron cápsulas de reluctancia variable con respuesta plana entre 20 c/seg y 15 Kc/seg dispuestas de manera tal que las mismas puedan desplazarse a lo largo del testigo.
- f) Preamplificadores para elevar la señal proveniente de los transductores.
- g) Un osciloscopio para comparar la señal de excitación con las señales de salida.

Los procedimientos de medición consisten en excitar el testigo a distintas frecuencias y observar en el osciloscopio la amplitud de salida de la señal, obtenida la máxima señal, determinar mediante las figuras de Lisajous, si la frecuencia de excitación y salida son idénticas.

Los testigos deben estar refrentados al torno en sus extremos y no deben tener impedimento alguno para que sus extremos vibren libremente.

Los testigos deben estar refrentados al torno en sus extremos y no deben tener impedimento alguno para que sus extremos vibren libremente.

Para la determinación de la velocidad de propagación de ondas longitudinales en los testigos, se empleó un equipo comercial de medición de tiempo de tránsito de pulsos ultrasónicos. Los transductores, tanto de excitación como de captación, fueron del tipo magnetostrictivos.



RESULTADOS OBTENIDOS:

Los trabajos se han realizado sobre distintos macizos rocosos y los resultados se detallan a continuación:

- a) Trabajos sobre un macizo de pórfiro riodacítico gris, de edad permotriácica. Es una roca porfírica que presenta en general un aspecto masivo con poca fracturación por lo cual se puede considerar como un macizo sano.

De los trabajos en campaña se obtienen velocidades de propagación de ondas longitudinales y transversales.

$$V_L = 4165 \text{ m/seg}$$

$$V_T = 2200 \text{ m/seg}$$

Con lo cual se determinó un coeficiente de Poisson de $\nu_d = 0,30$; la densidad media obtenida en laboratorio para la roca es de $\delta = 2,67 \text{ gr/cm}^3$. Lo que permitió calcular un módulo de elasticidad dinámico $E_d = 342.600 \text{ Kg/cm}^2$.

Se determinó en laboratorio por el método sónico el módulo de elasticidad dinámico sobre un total de 8 testigos arrojando un valor promedio de 380.000 kg/cm^2 .

Con estos valores se aplicó una fórmula propuesta por el Dr. H.MATSUDA que vincula el módulo de elasticidad dinámico determinado en laboratorio E_d' con el determinado in situ E_d para dar lo que se denomina capacidad de fundación

$$K = \frac{E_d' - E_d}{E_d'}$$

dando los valores de K se comparan con los de la siguiente tabla:

<u>K</u>	<u>Cap. de Fundación de la roca</u>
00 a 0,25	Muy buena
0,25 a 0,50	Buena
0,50 a 0,65	Suficiente
0,65 a 0,80	Insuficiente
0,80 a 1	Mala

para nuestro caso se reemplazaron los valores dando un $K = 0,1$

Lo que indicaría una roca de muy buena capacidad de fundación.

No se determinó en esta experiencia el módulo elástico por el método de pequeña sísmica pero se trata de determinar el valor probable del módulo elasticidad estático aplicando la fórmula propuesta por Kujunzic que relaciona ambos módulos, el estático y el dinámico.

$$\frac{E_d}{E_E} = 1,8 - \frac{E_d}{1100} \quad (\text{M Pa})$$

reemplazando valores se obtiene una relación de $\frac{E_d}{E_e} = 1,50$

Por lo que el módulo estático probable para el macizo es de 228.000 kg/cm^2

Valor aproximado al obtenido mediante ensayos estáticos que arrojaron un valor de $E = 210.000 \text{ kg/cm}^2$.

- b) Trabajos realizados sobre un macizo de rocas sedimentarias formado por cuarcitas claras y oscuras, areniscas claras y oscuras con alternancias de lutitas y en parte intruidas por rocas de origen ígneo.

Se realizaron pruebas para determinar los módulos de elasticidad dinámicos en los diversos tipos de rocas.

Los valores de módulo de elasticidad dinámico E_d obtenido varían entre 458.000 kg/cm^2 y 200.000 kg/cm^2 (en este último caso lutitas) con coeficientes de Poisson variables entre 0,17 para las cuarcitas oscuras hasta 0,30 en areniscas color claro.

Sobre los testigos obtenidos de las perforaciones se obtuvieron resultados muy variables en función del tipo de roca, la dispersión de los mismos es muy alta. La aplicación de la fórmula de MATSUDA arrojó valores entre 0,20 y 0,60 lo que daría capacidad de fundación entre muy buena y suficiente.

Se realizaron ensayos in situ para la determinación del módulo de elasticidad estático mediante el método de gran placa arrojando un valor medio para las cuarcitas de 295.000 kg/cm^2 .

Como en el caso anterior se aplicó la fórmula de Kujuzic lo que arrojó un resultado de 2 módulos de elasticidad estáticos probables que varían entre 340.000 kg/cm^2 para cuarcitas oscuras hasta 130.000 kg/cm^2 para lutitas sanas.

- c) Ensayos realizados en Gneiss. Biotítico Granatífero. Roca masiva con espaciamiento de diaclasas poco frecuentes, de grano grueso.

En laboratorio se realizaron ensayos sobre 12 testigos que arrojaron un valor del módulo de elasticidad por el método sónico de 580.000 kg/cm^2 variando los valores entre 450.000 kg/cm^2 y 690.000 kg/cm^2 .

Para ensayos realizados in situ se determinaron valores del coeficiente de Poisson $\nu_d = 0,16$ a $0,18$; el valor promedio obtenido para módulo de elasticidad dinámico. $E_d = 630.000 \text{ kg/cm}^2$ llegando en algunas determinaciones hasta 950.000 kg/cm^2 .

Estos valores superan a los valores medios obtenidos en los testigos, razón por la cual la roca del macizo es de muy buena calidad. Esta diferencia estaría relacionada con la descompresión sufrida por el testigo respecto al macizo.

En la aplicación del método de pequeña sísmica se determinó una frecuencia de las ondas transversales de 730 c/s que de acuerdo al gráfico dado por Schneider correspondería en $E_M = 280.000 \text{ kg/cm}^2$.

Los valores obtenidos mediante ensayos in situ de placa grande arrojaron valores medios del módulo de elasticidad estático del orden de 400.000 kg/cm^2 .

La aplicación de la fórmula propuesta por MATSUDA da un coeficiente de 0,08 lo que es indicativo de una roca con muy buena capacidad de fundación.

- d) Ensayos sobre calizas cambro ordovícicas de color gris, silicificadas y con betas de cuarcitas.

Se realizaron 5 determinaciones de módulo en testigos de roca mediante método sónico arrojando un valor promedio de $E_d = 700.000 \text{ kg/cm}^2$.

En los ensayos dinámicos realizados in situ podemos distinguir dos estados, el primero que consistió en determinar las velocidades de propagación en forma paralela a la estratificación que arrojó resultados para el coeficiente de Poisson $\nu_d = 0,22$ y un valor medio de módulo de elasticidad dinámico $E_d = 620.000 \text{ kg/cm}^2$. Para el caso de determinaciones superficiales y en sentido perpendicular a la estratificación los valores obtenidos para el módulo de elasticidad dinámico E_d variables entre 180.000 kg/cm^2 y 311.000 kg/cm^2 . Estas notables variaciones entre el interior del macizo y la superficie estaría íntimamente vinculado a la fuerte descompresión superficial aunada a la estratificación.

La determinación del módulo de elasticidad estático se realiza mediante el método de placa grande y arroja un valor medio de 370.000 kg/cm^2 y la determinación por pequeña sísmica $E_M = 230.000 \text{ kg/cm}^2$. Estas dos determinaciones se realizaron en una galería de ensayo en el interior del macizo.

La aplicación de la fórmula propuesta por MATSUDA es relativa pues arrojaría valores de $K = 0,18$ indicativa de rocas de muy buena calidad en el interior del macizo, mientras que los valores obtenidos para superficie $K = 0,76$ y $K = 0,60$ indicarían una capacidad de fundación desde aceptable a insuficiente.

- e) Ensayos efectuados en pórfiros riolíticos color rosado en un macizo con escaso diaclasamiento.

Se ensayaron 3 testigos en laboratorio obteniéndose un valor medio de módulo de elasticidad de 495.000 kg/cm^2 mientras que los valores obtenidos mediante ensayos sísmicos convencionales arrojaron un valor medio de 490.000 kg/cm^2 .

La ejecución de 3 ensayos de placa, 2 de placa chica y uno de placa grande para la determinación del módulo de elasticidad estático arrojaron un valor medio de $E = 280.000 \text{ kg/cm}^2$.

Mediante el método de pequeña sísmica los valores que se obtienen son de 420 c/seg para la frecuencia de la onda transversal la que da un valor $E_M = 175.000 \text{ kg/cm}^2$.

La aplicación de la fórmula de MATSUDA da valores de $k = 0,1$ indica que la de roca es de muy buena calidad para fundación.

Conclusiones:

De los resultados obtenidos para los diversos tipos de roca de la región, podemos concluir que mediante aplicación de los valores obtenidos por el método de la pequeña sismica (Schneider) los valores obtenidos para los módulos de elasticidad son inferiores a los obtenidos mediante los ensayos estáticos in situ, en cambio una buena aproximación se logra aplicando la fórmula propuesta por Kujundzic o bien la ecuación resultante del gráfico obtenido por el Dr. Fernández Bollo.

En todos los casos debe tenerse presente que los ensayos estáticos son puntuales, mientras que los dinámicos abarcan grandes zonas del macizo bajo estudio.

BIBLIOGRAFIA

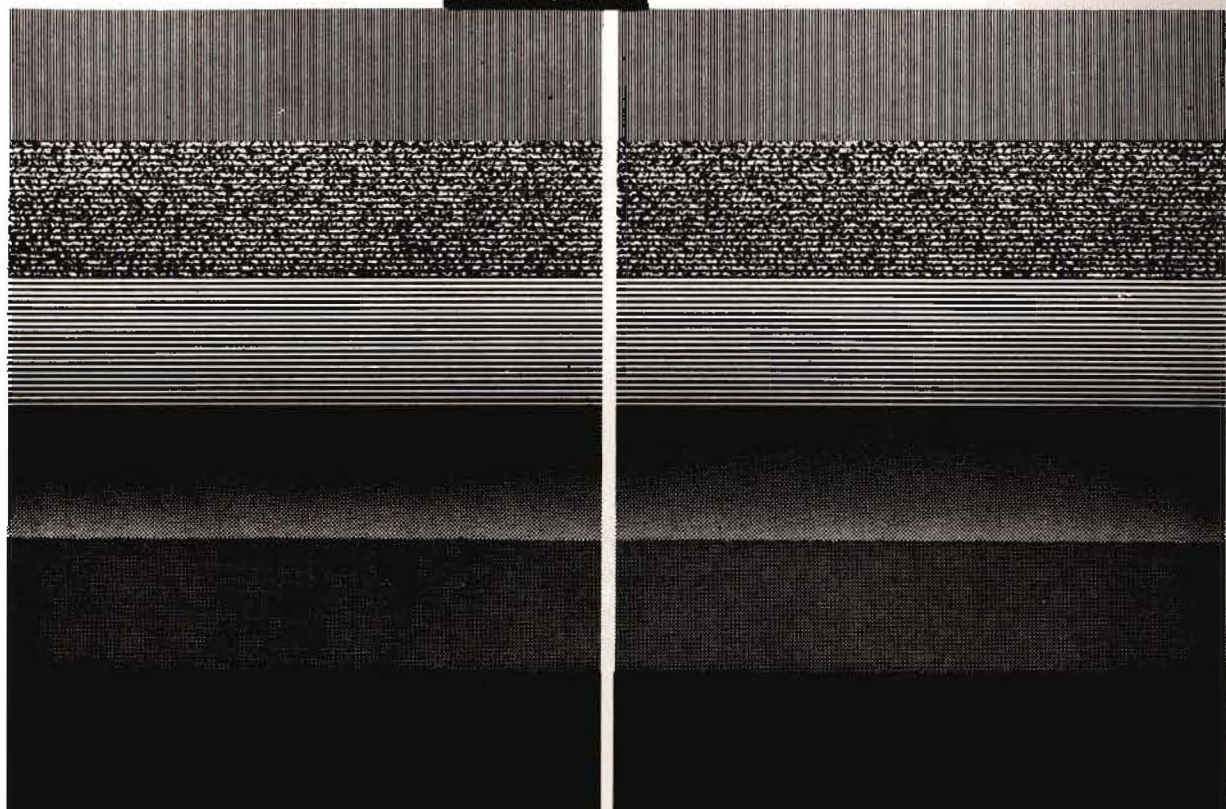
- BOLLO, Mariano F. Resultats des recherches geotechniques sur une serie de sites de barrages
Compte Rendus, 8 Congr. Int. des Grands Barrages, Vol. I. Edimburgh 1964
- COATES, D.F. Fundamentos de Mecánica de Rocas
Editorial Blume 1970
- FARMER, I.W. Engineering Properties of Rocks
Editorial E y F.N. Spon Ltd.
Londres 1968
- HABETHA, E. y LANGER, M. - Der Einflub des geologischen Aufbaus des Untergrundes auf Druckwellenausbreitung und Bauwerk serchuterungen
V.D.I. Berishte Nr. 13-5-89-93
Dusseldorf
- KOLSKY, H. Viscoelastic Waves International Simposium on Stress propagation in Material
1960
- KUJUNZIC, B. Correlation between static and Dinamics investigation on rock mass in situ
Elastics . property of DAM foundation Rock
Inter. Cong. of Larg DAM Edimburgh 1964
- ROUSELL, J.M. Etude Theorique et experimentale du module dynamique des Massifs rocheux
Revue de L'Industrie Minerale Agosto de 1968
- SCHNEIDER B. Moyen Nouveaux de reconnaissance des massifs rocheux
Annales I.T.B.T.P. Julio y Agosto 1967.
- STAGG y ZIENKIEWICZ, O.C. - Rock Mechanics in engineering Practice
Ed. John Wiley 1968
- TIMOSHENKO, S. y YOUNG, D.H. - Vibration Problems in engineering
D. Van Nostrand Co. 1955
- YOUASH YOUNATHAN - Dinamic phisical properties of rock
The University of Texas 1964

El tiempo es oro

Usted no puede arriesgarse a que su tiempo, que vale oro, se transforme en "tiempo negro" y que se nublen sus objetivos. Su tiempo debe transformarse en oro negro, algo que Quitral-Co viene haciendo en sus años de experiencia, responsabilidad y éxitos.

Quitral-Co le ofrece una amplia gama de servicios avalados por un equipo altamente tecnificado y personal idóneo y con experiencia.

Quitral-Co evita que su tiempo, que vale oro, se vuelva negro. Quitral-Co le da un nuevo valor a su tiempo: oro negro.



Descripción de actividades:

- 1° Servicios petroleros (perforación, completación, reparación e intervención).
- 2° Producción de petróleo y gas. Estudios geológicos y mineros y estudios de ingeniería de reservorios.

3° Ingeniería de construcciones mecánicas.

Instalación de cargaderos costa afuera.

4° Construcción de equipos de reparación e intervención.



QUITRAL-CO

CERRITO 822 - C.P. 1010 - BUENOS AIRES - TEL.: 40-6542/46-9185

*La Facultad de Ingeniería de la Universidad
Nacional de Cuyo agradece la colaboración
prestada por la Asociación Pro Facultad de
Ingeniería para la impresión de esta Revista.*



Esta revista se terminó de imprimir el día 17 de setiembre de 1982 , en los Talleres Gráficos de INCA Editorial y Cooperativa de Trabajo Limitada, Ituzaingó 3073, de la Ciudad de Mendoza, República Argentina.

KOBE y el mundo del futuro

SORPRENDENTE EN LO QUE SE PROPONE

En yacimientos petrolíferos alrededor del mundo. Conocido por todos. Pero, la fortaleza de una bomba designada para operar a altas presiones, sola, sin controles, año tras año, expuesta a los elementos, no ha pasado inadvertida para la Industria en general, ya que más de 1000 Bombas Triplex Kobe están operando en el mundo en usos no petroleros.

LA INDUSTRIA ESPACIAL: Con presiones de hasta 700 kg/cm^2 bombeando nitrógeno líquido a -195°C e hidrógeno líquido a -250°C ha recurrido a nuestras bombas TRIPLEX KOBE.

LA INDUSTRIA DEL ACERO: Prefiere en particular las TRIPLEX KOBE en sus diferentes usos debido a su confiabilidad e increíble bajo costo de mantenimiento.

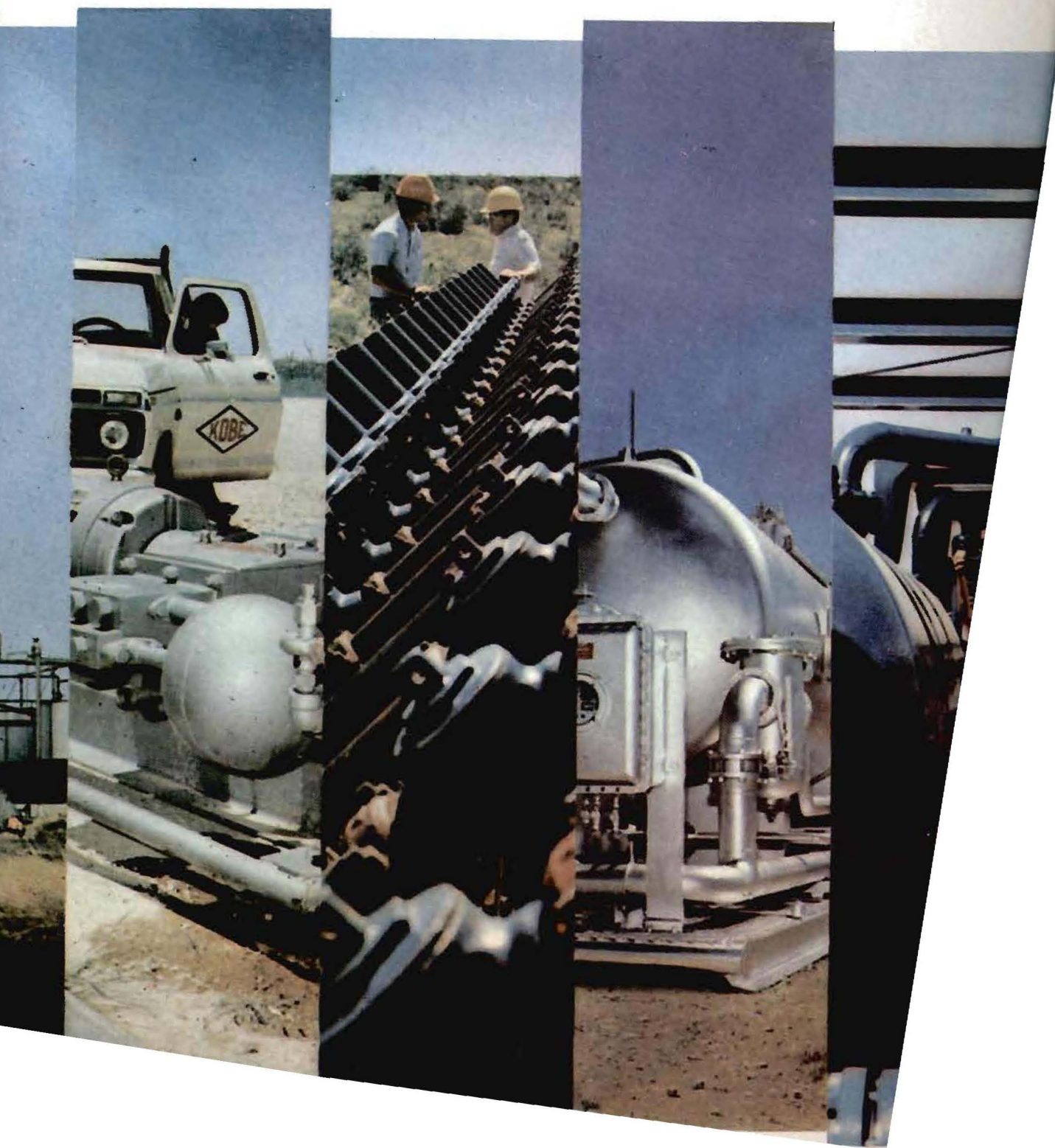
OTRAS INDUSTRIAS: Usan TRIPLEX KOBE para bombear líquidos a temperaturas de hasta 540°C y presiones de 2000 kg/cm^2 .

Las bombas de profundidad Kobe son también usadas por la industria como intensificadores de presión.

EN INDUSTRIA OCEANOGRAFICA: Las bombas Kobe han sido consideradas ideales para evacuar el lastre de agua salada de los vehículos sumergibles a profundidades superiores a los 3000 mts. con el fin de explorar el lecho de los océanos.



OFICINA CENTRAL: CERRITO 866
10 P. CAPITAL FEDERAL
ADMINISTRACION
Y FABRICA: SARMIENTO 951 -
GODOY CRUZ - MENDOZA



Queda hecho el depósito que marca la ley 11.723
