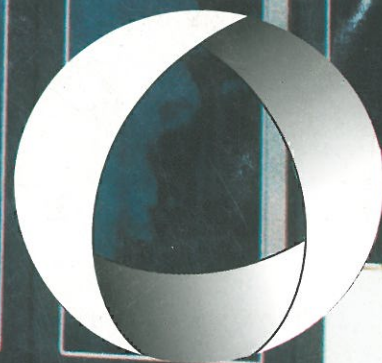


AÑO XVII - NÚMERO 38 - 1998

I.S.S.N. 0326-1220

**TAD DE INGENIERIA**

**Revista de  
la Facultad  
de Ingeniería**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

*En acción continua...*

**Desde 1930 sembramos Tecnología  
en el camino de la Construcción.**

Parques Ace

*Juan Minetti S.A.*

*Cemento Portland*

Tecnología en construcción

[www.juanminetti.com](http://www.juanminetti.com)

# Autoridades

Revista de la Facultad de Ingeniería  
de la Universidad Nacional de Cuyo  
Año XVII - Número 38 - Noviembre 1998

## **Decano**

Ing. Tomás Aníbal Montes

## **Vicedecano**

Ing. Eduardo Fortunato Manfredi

## **Consejo Directivo**

Prof. titular: Ing. Alfredo Sarmiento, Carlos Larriqueta,  
Carmelo Rodríguez y Eduardo Manfredi.

## **Prof. Adjunto**

Ings. Hilario Garbulinsky y Pedro Oelsner.

## **Aux. Docente**

Ing. Alfredo Caballero.

## **Egresados**

Ing. Ricardo Ramírez y Erica Germ.

## **Alumnos**

José Alonso, Cecilia Rauek y Marcelo Cadenas.

## **No Docente**

Carlos Tejada.

## **Dir. Gral. de Gestión Administrativa y Financiera**

Lic. Roberto Testasecca

## **Directora Administrativa**

Srta. Hilda Inés Herrera

## **Secretario Técnico**

Ing. Samuel Raúl Riveira

## **Dir. Carrera Ingeniería de Petróleo**

Ing. Carmelo Rodríguez

## **Dir. Carrera Ingeniería Civil**

Ing. Angel C. Videla

## **Dir. Carrera Ingeniería Industrial**

Ing. Alfredo Sarmiento

## **Dir. Ciencias Básicas**

Lic. Norberto Giordano

## **Dir. de Cuarto Nivel**

Ing. Walter Brottier

## **Dir. Doctorado en Ingeniería**

Dr. Jorge Barón

## **Dir. Ingeniero Especialista y Maestría en Ingeniería Ambiental**

Ing. Luis María Magistocchi

## **Dir. Maestría en Logística**

Dr. Enrique Forradellas

## **Secretario de Asuntos Estudiantiles**

Ing. Carlos Adriano García

## **Dir. de Estudios Tecnológicos e Investigaciones**

Ing. Tomás Juan Martínez

## **Dir. Extensión Universitaria y Graduados**

Ing. Hilario Garbulinsky

## **Jefe Departamento de Extensión Universitaria**

Ing. José Ramón Mini

## **Jefe Departamento de Graduados**

Ing. Adolfo Bove

I.S.S.N. 0326-1220

## **Director de la Revista**

Ing. José Ramón Mini

## **Referato**

Cuerpo de Profesores Consultos.

## **Asesoría de Inglés**

Prof. Delta Papadacos de Valentini

## **Producción, Publicidad, Edición, Diagramación**

## **Corrección y Gestión Comercial**

Departamento de Extensión Universitaria

E.mail: fing@raiz.uncu.edu.ar

Web: www.uncu.edu.ar

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

Centro Universitario Parque Gral. San Martín

5500 Mendoza - Fax 54 61 380 120

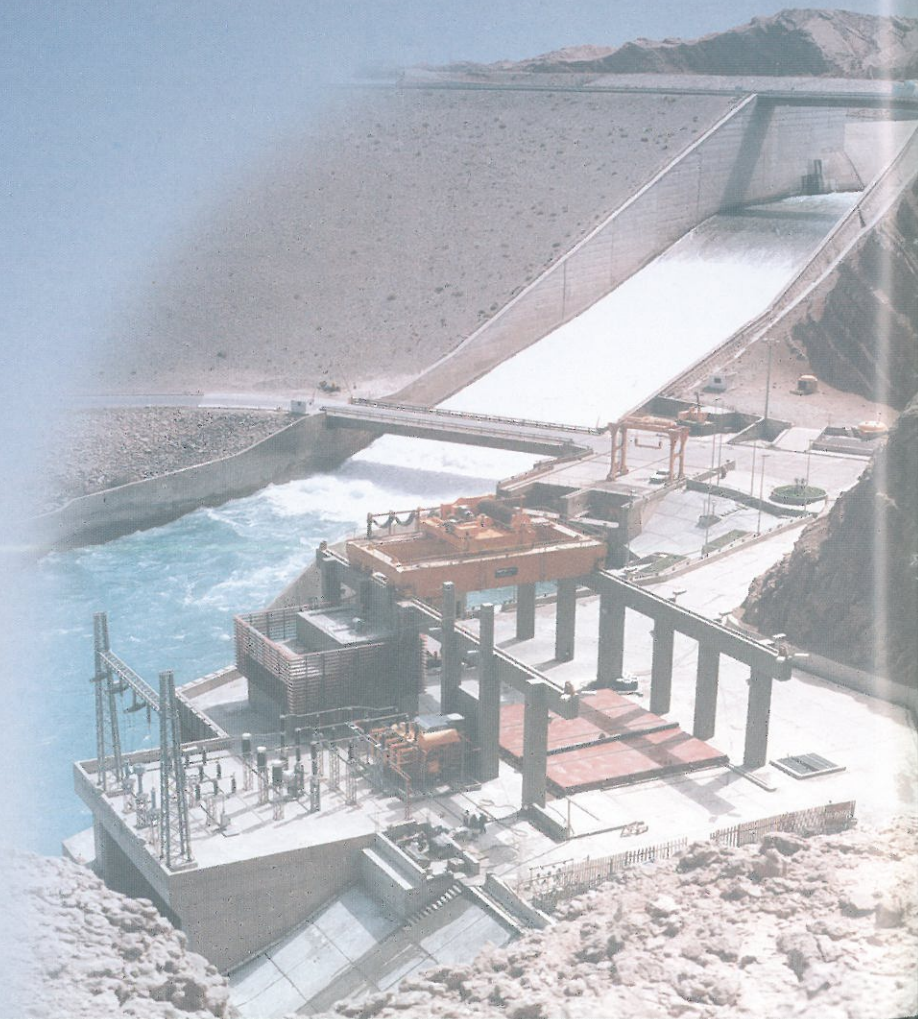
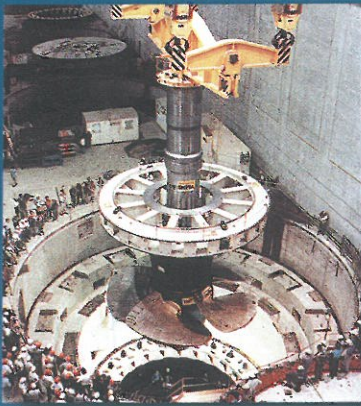
Conmutador 061-234448 061- 494002

# Sumario

Editorial, <i>J. R. Mini</i> .....	3
Calidad de Servicio, <i>G. de L. Pérez</i> .....	5
Estudio sismográfico del túnel de conducción y chimenea de equilibrio - Aprovechamiento Hidroeléctrico presa Agua del Toro (segunda parte), <i>J. L. González y M. C. Vacirca</i> ..	11
Espectros Adimensionales de Respuesta, <i>R. Zaradnik</i> y <i>E. Villafañe</i> .....	23
Tecnología de la Información, <i>M. Distéfano, A. Scalice</i> y <i>H. Brizuela</i> .....	31

# IMPESA

TECNOLOGIA APLICADA  
A LA GENERACION DE  
PROYECTOS Y SERVICIOS  
AL CLIENTE



W O R L D W I D E

# Editorial

Por gestión cumplida ante el Centro Argentino de Información Científica y Tecnológica (CAICYT) organismo dependiente del CONICET, se ha asignado a nuestra revista el ISSN (International Standard Serial Number) convalidándose así su status formal. Este registro hace posible su inclusión como publicación científico técnica en el LATINDEX (Indice Latinoamericano de Publicaciones Científicas) y la información procesada en el Centro Nacional, validada e informada al Centro internacional del ISSN, sito en París, es distribuida entonces en todo el mundo a través del CD - ROM " ISSN compact" y de Internet.

La instancia lograda nos habilita, con la mayor satisfacción y el mejor respaldo, a convocar a la comunidad científica internacional vinculada a la ingeniería, a jerarquizar nuestras páginas con su anhelada participación. Sean pues sus integrantes bienvenidos.

Ing. José Ramón Mini  
Director



## La naturaleza es un buen espejo donde mirarnos.

Somos una empresa integrada  
de energía que produce  
bienes indispensables  
para el desarrollo de todas  
las actividades económicas.

Trabajamos con plena conciencia  
de nuestra responsabilidad  
en la preservación del medio ambiente.

Por eso, todas nuestras empresas  
armonizan sus operaciones industriales  
con el cuidado de la ecología.

Y nuestro trabajo se está reflejando.

Con energía.



**ASTRA**

Una empresa



# Calidad de Servicios: Consejos para desarrollar la competitividad de su empresa a través de la calidad de servicios.

**Por Graciela de Luján Pérez\***  
**(julio de 1998)**

## **RESUMEN**

En un mundo altamente competitivo y globalizado, las economías están entrando en una nueva era: la era de los servicios y la información, una era donde la habilidad de las organizaciones para manejar sus procesos de servicios jugará un papel determinante sobre su supervivencia.

En este artículo se presentan algunos conceptos básicos sobre servicios. Se dan algunos criterios para ayudarle a desarrollar un sistema interno de calidad de servicios así como también premisas para que pueda diferenciarse y competir en los nuevos mercados mundiales. Se nombran algunos puntos importantes del management de servicios y por último una serie de (¿modestos?) consejos para mejorar la calidad de los servicios que presta su empresa.

El foco de este reportaje refleja que la principal diferencia entre las compañías de servicios y las productoras de bienes radica en la calidad humana y las habilidades en las relaciones interpersonales de los integrantes de toda la organización.

## **SUMMARY**

In a highly competitive/global world, the economics are entering a new era: the Servomation Age, where the organization's ability to manage its service processes will greatly determine its surviving status.

Many, new concepts about services are introduced in this report. Criteria to help you in the developing of an internal service/quality system as well as the basic key points to differentiate and gain competitive advantage in the global markets are given. Many important statements of the service management have been named and at last it ends with few (naives?) advices to improve the quality/service performance of your company.

The core of this article reflects that the main differences between service and good companies are the human resource skills and quality within the whole organization.

---

\*Ingeniero Industrial U.N.C. Master in International Business (ENPC). Consultora en Capacitación y Desarrollo de Grandes Empresas. Asesora del Ministerio de Educación de la Provincia de San Luis en Calidad Educativa. Ex Jefe de Nuevos Servicios e Industrias de ECOGAS. Ex coordinadora técnica CFI. Ex coordinadora de grandes obras. IMPSA. Universidad de Pittsburgh, USA. 1998-2000.

"Los Servicios están creciendo sobre los Productos como una llave diferenciadora y ganadora en los actuales mercados. Entonces, para mejorar la rentabilidad de su empresa, piense primero en función de Servicios" (David A. Collier "The Service/Quality Solution").

## **SERVICIO. ¿QUÉ ES EL SERVICIO?**

(Sea usted bienvenido al mundo de los servicios)

Se denomina servicio a:

*"Todo acto o función que una parte puede ofrecer a otra, que es esencialmente intangible y no da como resultado ninguna propiedad".*

y podemos agregar:

*"...los bienes se consumen, pero los servicios se experimentan".*

Cuando existe igualdad de calidad técnica de producto en la mente del consumidor, o simplemente cuando el consumidor no ha podido experimentar ese producto, la calidad de servicios se vuelve un determinante para su adquisición.

Los servicios también son determinantes en el mercado laboral mundial. Según la OCDE en las economías más desarrolladas el 50% de los trabajos (como mínimo) se encuentra en las empresas de servicios. Si a esto se le agrega que dentro de las empresas productoras de bienes el 50% de los trabajos se halla en las áreas de servicios a la producción, se puede concluir que del 70% al 90% de los empleos se encuentra en las áreas de servicios.

Es de resaltar que, tanto en las 1.000 de Fortune y las 1.000 Argentinas (empresas que más venden) las que más se destacan son aquellas en las cuales los servicios son el eje principal.

## **CALIDAD. ¿QUÉ ES LA CALIDAD?**

La respuesta a esta pregunta siempre es subjetiva, por ello vamos a dar cuatro:

- ☛ Para el Cliente externo es *SATISFACCIÓN*;
- ☛ Para el Cliente interno es *ORGULLO*;
- ☛ Para el Empresario es *RENTABILIDAD*;
- ☛ Para la Sociedad es *MEJORAS EN EL NIVEL DE VIDA*.

En 1984 el Dr. Edward Deming (uno de los padres del concepto y desarrollo de la calidad a nivel mundial) dijo:

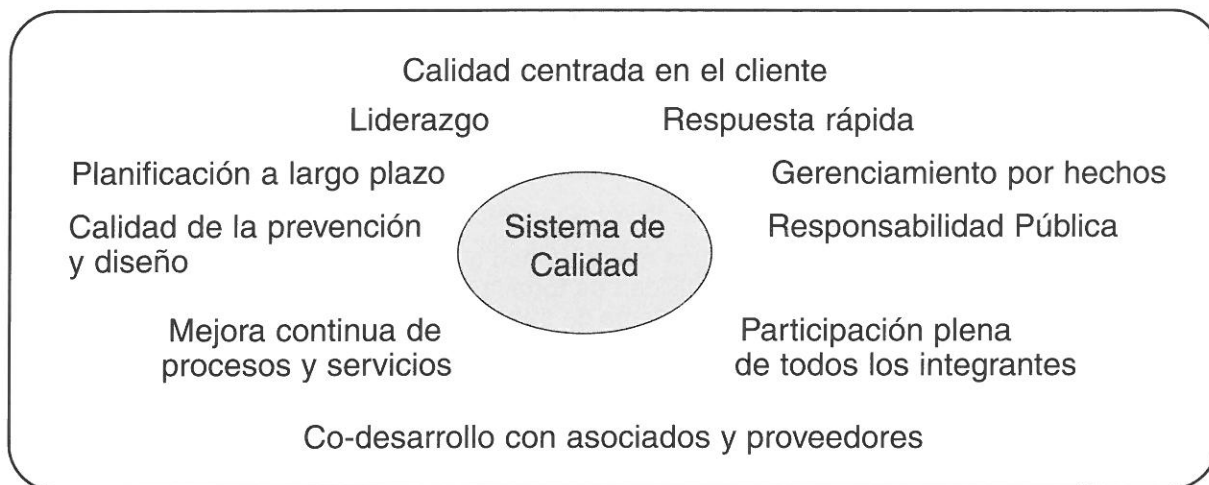
*"La principal causa de enfermedad de la industria americana y su desempleo resultante reside en la falla de la alta gerencia".*

y agregó:

*"No basta con querer hacer lo mejor,... hay que saber cómo cambiar.*

Deming después enunció una serie de principios que son la base del programa de Gerenciamiento por Calidad Total (TQM en inglés). En general, si usted quiere implementar un sistema de calidad total en su empresa, debe desarrollar los siguientes criterios:





Basados en la globalización de las economías, los países desarrollaron premios, criterios y normas para garantizar la calidad de sus bienes y servicios. En USA el premio Malcom Baldrige y en Argentina el premio a la Calidad Total, las normas EQU en Europa y las mundialmente conocidas ISO. El siguiente es un cuadro comparativo de los criterios y normas más importantes.

<b>COMPARACIÓN DE LAS MEDICIONES DE CALIDAD</b>			
<b>CATEGORÍA</b>	<b>ISO</b>	<b>EQA</b>	<b>MBNQA</b>
Liderazgo de la alta Gerencia	●	■	■
Análisis de la Información	▲	■	■
Planeamiento estratégico de la Calidad	▲	■	■
Desarrollo y Gerenciamiento de Recursos Humanos	●	■	■
Gerenciamiento del Proceso de Calidad	■	■	■
Calidad de Resultados Operacionales	▲	■	■
Satisfacción y Orientación al Cliente	●	■	■
Resultados Financieros	▲	■	●
Implicancias Ambientales	▲	■	●
<p>■ Totalmente Cubierto                      ● Parcialmente Cubierto                      ▲ No lo Cubre</p>			

Fuente: ISO 9000: la Medida de las Mediciones - Anne-Marie Roussel - Data Communications - Octubre de 1993.

De la comparación de los criterios surge que las EQU son las más completas, pues no sólo cubren el proceso sino también el liderazgo y los resultados. Le siguen los criterios Malcom Baldrige y por último las ISO que cubren sólo el proceso.

También es importante recordar que:

**"Productividad y calidad trabajan juntas, no son intercambiables".**

Una mayor productividad se logra con una mejor calidad a través de la capacitación del recurso humano y de fomentar la innovación y creatividad de toda la organización, lo que a su vez significa más trabajo y así se genera una espiral ascendente de trabajo. Aquí surge una de las características más importantes del servicio: El hombre no puede ser reemplazado por las máquinas. En los servicios, no sólo importa la calidad de los productos, sino la calidad humana; la persona con alto grado de desarrollo empático es clave.

## LOS SERVICIOS EN EL MUNDO

Ahora ponemos calidad y servicios juntos:

¿Qué se puede generalizar entonces de las empresas más competitivas en los mercados globalizados?

1. Una buena performance de calidad de servicios es la mejor arma competitiva.
2. La calidad de servicios es más difícil de definir, medir y ejecutar en forma consistente que la calidad de productos (porque cada punto de encuentro depende de la persona que lo está brindando, por lo cual es único).
3. Utilice estrategias competitivas basadas en el tiempo para mejorar su CBP (paquete de beneficios al consumidor, conjunto de tangibles e intangibles a los cuales el consumidor le reconoce un valor), el proceso de entrega del mismo y el punto de encuentro con el cliente.
4. Correlacione (intente encontrar relaciones entre las variables del servicio, que afectan los resultados).
5. Trate de entender el significado de las relaciones personales en las diferentes culturas.
6. Incorpore mejoras cualitativas y cuantitativas en todas las decisiones, sistemas, estrategias e informes de desempeño en la empresa. Ej. encuestas de satisfacción externa, interna, mediciones de calidad en función del costo, oportunidad, consistencia, proceso, etc.
7. Ponga en práctica la mayor ventaja estratégica: "Hay que fortalecer la alianza entre los institutos de educación y capacitación y la empresa". No se olvide: La empresa debe ser parte del ambiente universitario a través de la currícula, la demanda de capacitación, la enseñanza de sus ejecutivos, el esponsorio de viajes, el mecenazgo de investigaciones, etc.

## EL GERENCIAMIENTO DE SERVICIOS

El gerenciamiento de Servicios es la habilidad para diseñar y controlar:

- El CBP, EBP (igual al CBP pero para el empleado) y las estrategias asociadas.
- El proceso.
- El punto de encuentro.

Para tener en cuenta:

"El desafío de la calidad de servicios se gana a través de varios puntos de encuentro, los cuales no deben ser casuales sino cuidadosamente planeados".

## SUGERENCIAS ADICIONALES

Para mejorar la calidad de los servicios que su empresa brinda le sugiero:

1. Trabaje en equipo con sus clientes internos: Establezca metas. Si algo llegara a fallar no busque en ellos a un responsable; revise el proceso, modifíquelo, capacite a su gente para que lo acompañe, y siga adelante.
2. La creatividad y la innovación son factores claves de éxito. Para estimularlas mire una buena película de ciencia ficción y preste atención a los efectos especiales; tome un curso de teatro o aprenda a bailar salsa; por sobre todo, riase y haga reír a su gente: el trabajo serio no se contradice con la diversión, y clientes internos alegres generan ideas y atienden mejor al cliente externo.
3. La creatividad y la innovación en servicios demandan nueva mano de obra (recuerde: Las máquinas no pueden reemplazar al hombre en el caso de los servicios, se crean nuevas fuentes de trabajo, se desarrollan nuevos mercados consumidores y se eleva el nivel de vida de la comunidad.
4. Destine el 5% del impuesto sobre sus ganancias (es deducible) al cogereamiento de proyectos comunitarios (ni donaciones, ni patrocinio), sobre todo aquellos que retiran del trabajo callejero a los niños; es una inversión a largo plazo en seguridad y en la creación de un mercado a futuro de sus servicios. Además es la mejor estrategia de recuperación ante un conflicto público, y tiene un gran efecto de marketing externo. Pero por sobre todo, es una caricia para el espíritu de toda la organización.
5. Elija capacitadores y evaluadores que se especialicen en el área de servicios. Las habilidades requeridas en el área de los servicios son radicalmente distintas a las del área de los productos.
6. Por último, tenga grandes sueños. Sólo de esta forma usted podrá ingresar al club de las personas que se recuerdan a través de los tiempos.

Intente aplicarlas y después me cuenta. ¡Buena suerte!



### REPARACION DE:

- BOMBAS
- TURBINAS-COMPRESORES
- VALVULAS-SELLOS MECANICOS
- MAQUINADO-SERVICIO DE MANTENIMIENTO DE PLANTA DE PROCESOS CONTINUOS

**PRECERTIFICADOS BAJO NORMAS ISO 9000**

**EMPRESA DE SERVICIOS  
INDUSTRIALES MECANICOS S.R.L.**

**Roque Sáenz Peña 1940 – (5507) – Lujan de Cuyo Mendoza Arg.**

**Tel./Fax: 0054 61 982308 – Parque Industrial (061) 985249**



# Estudio sismográfico del túnel de conducción a Central Hidráulica y Chimenea de equilibrio - aprovechamiento Hidroeléctrico Agua del Toro

(Continuación del número anterior)

**Ing. Jorge Lázaro González<sup>(1)</sup>**  
**Ing. Mario Carlos Vacirca**

## RESUMEN

El presente trabajo está basado en la aplicación de las fórmulas simples de la propagación de ondas elásticas de la teoría de la elasticidad y de la comparación de los valores obtenidos con ensayos de gran placa realizados en túnel de Agua del Toro.

El objetivo del mismo fue determinar el espesor de la corona descomprimida que se estimaba para la aplicación de la Fórmula de Marco Lelli, donde el espesor se estimaba en base al diámetro de la abertura (túnel y chimenea de equilibrio) la medición resultó inferior a dicha estimación por lo que se ahorraron alrededor de 30.000m de perforación en roca para consolidación de la misma y más de 2.000 tn. de cemento e hierro en la construcción del revestimiento del túnel y de la chimenea de equilibrio.

Hoy, a más de 15 años de inaugurada la obra, el túnel y la chimenea de equilibrio, ambos trabajan normalmente.

## ABSTRACT

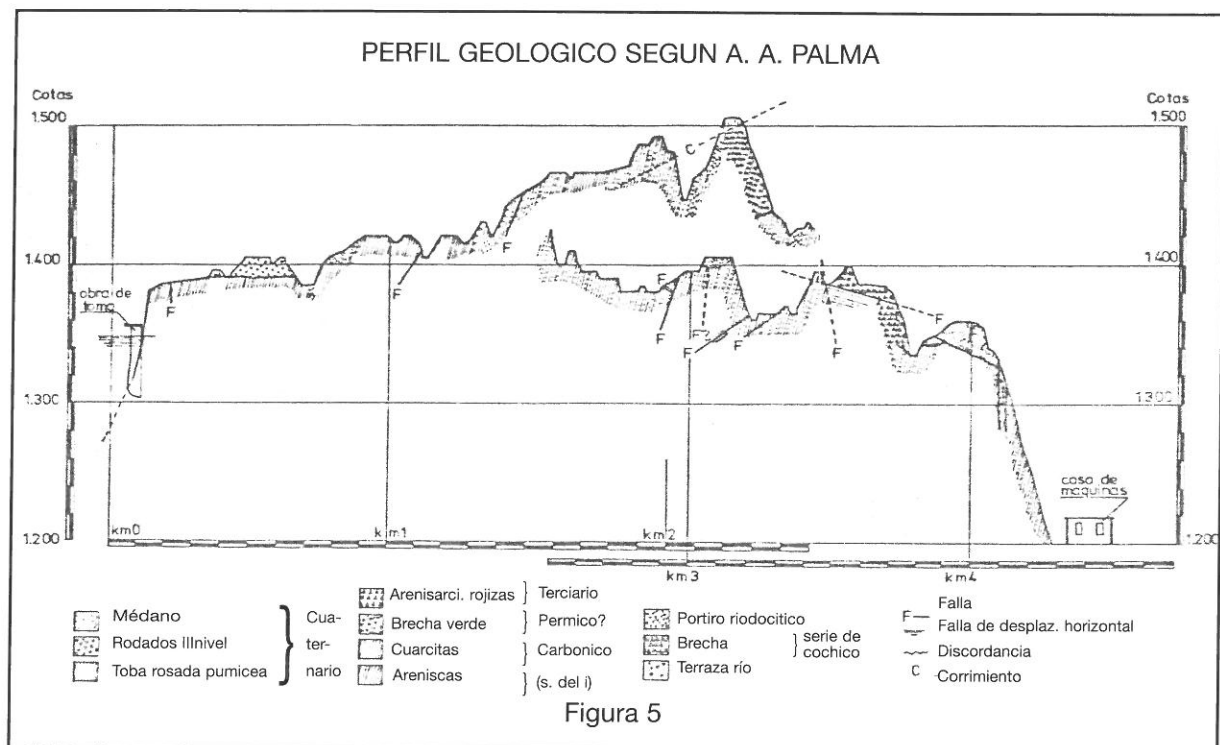
This document is based on the application of simple formulas of the elastic wave propagation from the theory of elasticity and the comparison of the obtained values with tests of great plate carried out in Agua del Toro tunnel.

Its aim was to determine the thickness of the uncompressed crown considered for the application of Marco Lelli formula: where the thickness was calculated according to the opening diameter - equilibrium surge chamber y tunnel. The measurement resulted inferior to that estimation and thus it was saved nearly 30,000m. of rock drilling for its consolidation and more than 2,000 tn. of cement and iron in the tunnel coating and surge chamber building.

Now, fifteen years later from the inauguration of the work both the tunnel and the surge chamber are normally operating.

---

1 - Profesor de la Cátedra Geofísica - Facultad de Ingeniería - U.N.C. Premio "Ing. Eduardo Baglietto", 1978, de la Academia Argentina de Ingeniería por su trabajo de investigación en mecánica de Rocas para la represa Los Reyunos.  
N. de R: El autor dedica esta publicación a la memoria del geólogo Dr. Alejandro Aníbal Palma.



## 6. METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología de trabajo en el interior del túnel y chimenea de equilibrio, fue diagramada en función de las consideraciones teóricas enunciadas y de los objetivos por alcanzar.

Para la determinación en el interior del túnel del módulo de elasticidad dinámico, coeficiente de Poisson y demás parámetros elásticos, se realizaron tramos de registración de 55 m de longitud, empleándose, por posición dos receptores sísmográficos, uno de componente horizontal para determinar la velocidad de propagación de las ondas transversales polarizadas (Sh), y otro de componente vertical para definir la velocidad de propagación de las ondas longitudinales (VL).

La longitud del tramo fue definida experimentalmente para asegurar la determinación de las velocidades en el macizo sin decomprimir.

Como equipo de registración se utilizó un sísmógrafo del tipo analógico de 24 canales.

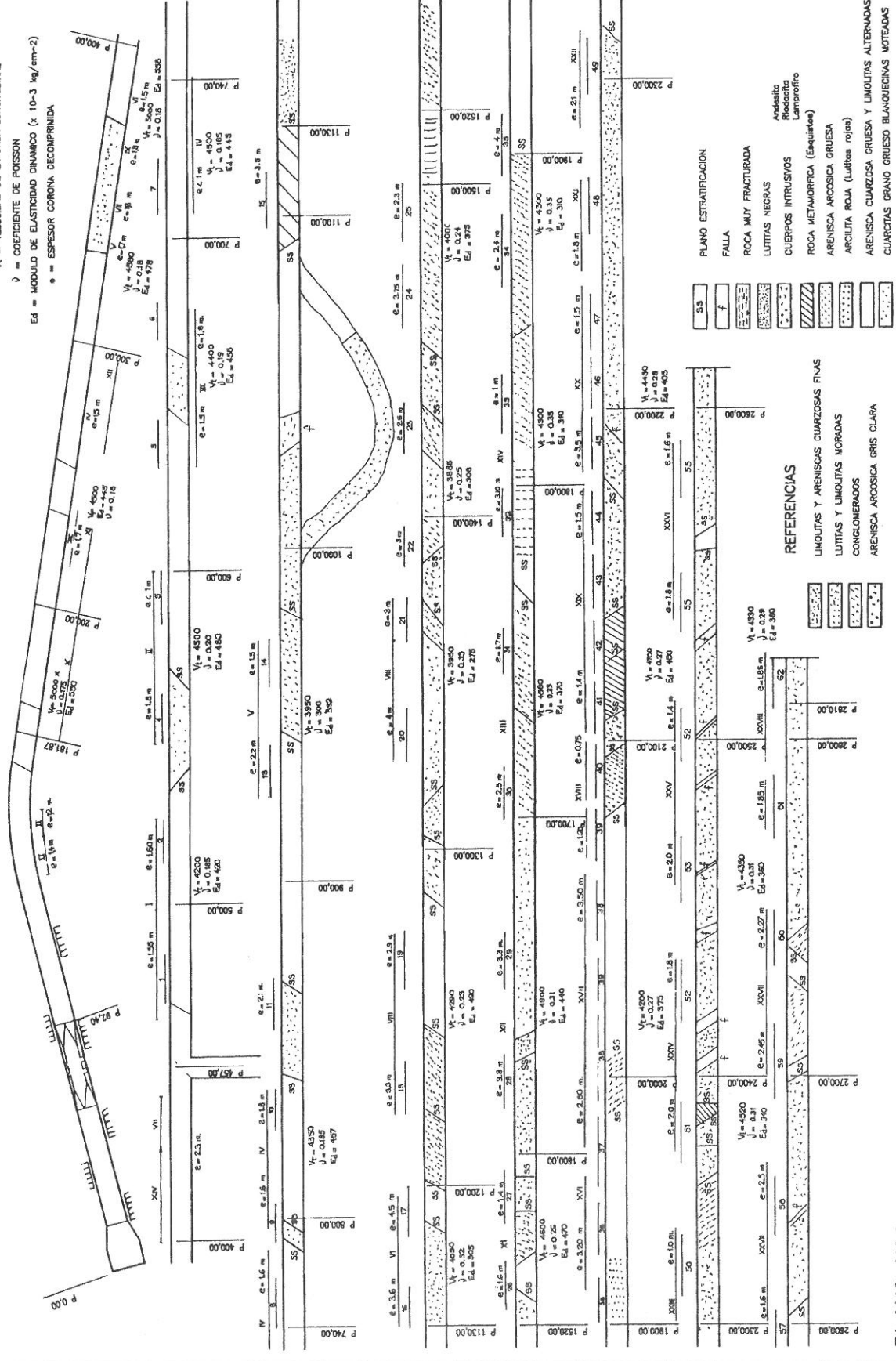
Para la determinación de la corona decomprimida se realizaron (en general superpuestos a los tramos para determinación de parámetros elásticos) tramos de 11 metros de longitud (separación entre receptores sísmográficos de 1 metro) para definir con la mayor seguridad posible, las velocidades de propagación de las ondas longitudinales en la corona decomprimida, empleándose en la registración un sísmógrafo del tipo analógico de 12 canales con líneas de tiempo cada 1 milisegundo (Ver planos N° 1 y 2).

Como fuente de excitación sísmica se emplearon explosivos convenientemente acondicionados para la generación de ondas transversales.

La interpretación de los resultados para el cálculo de la corona decomprimida se realizó mediante el método denominado de distancia crítica de corte, definiéndose las velocidades mediante el método de sumación de tiempos entre perfil y contra perfil. Se registraron en la galería de presión 58 tramos para parámetros elástico y 126 tramos para la determinación de la corona decomprimida.

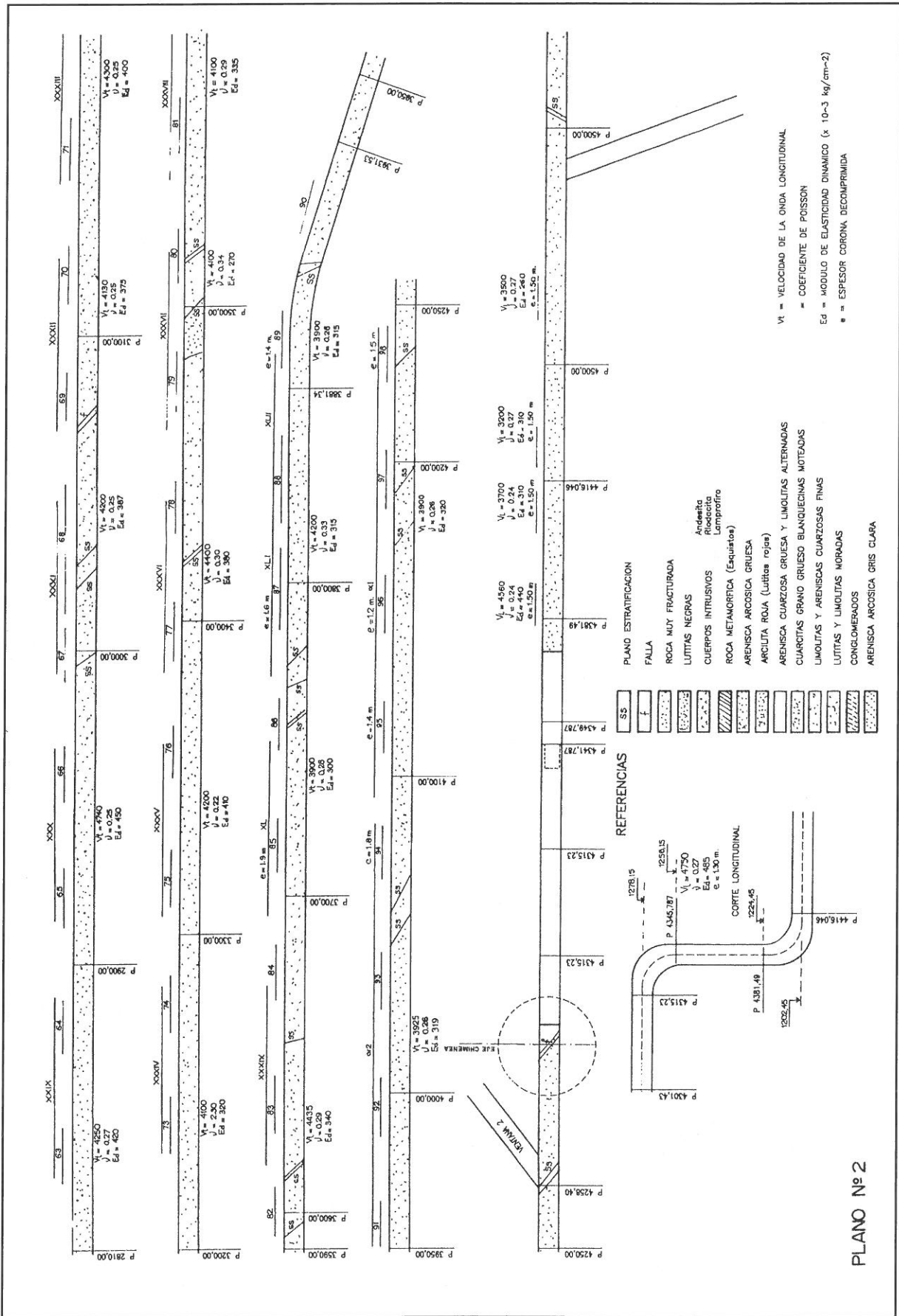
En la chimenea de equilibrio se realizaron 4 tramos verticales de longitud variable a 90° uno de otro

$V_L$  = VELOCIDAD DE LA ONDA LONGITUDINAL  
 $\nu$  = COEFICIENTE DE POISSON  
 $E_d$  = MODULO DE ELASTICIDAD DINAMICO ( $\times 10^{-3}$  kg/cm<sup>2</sup>)  
 $e$  = ESPESOR CORONA DECOMPRESIDA



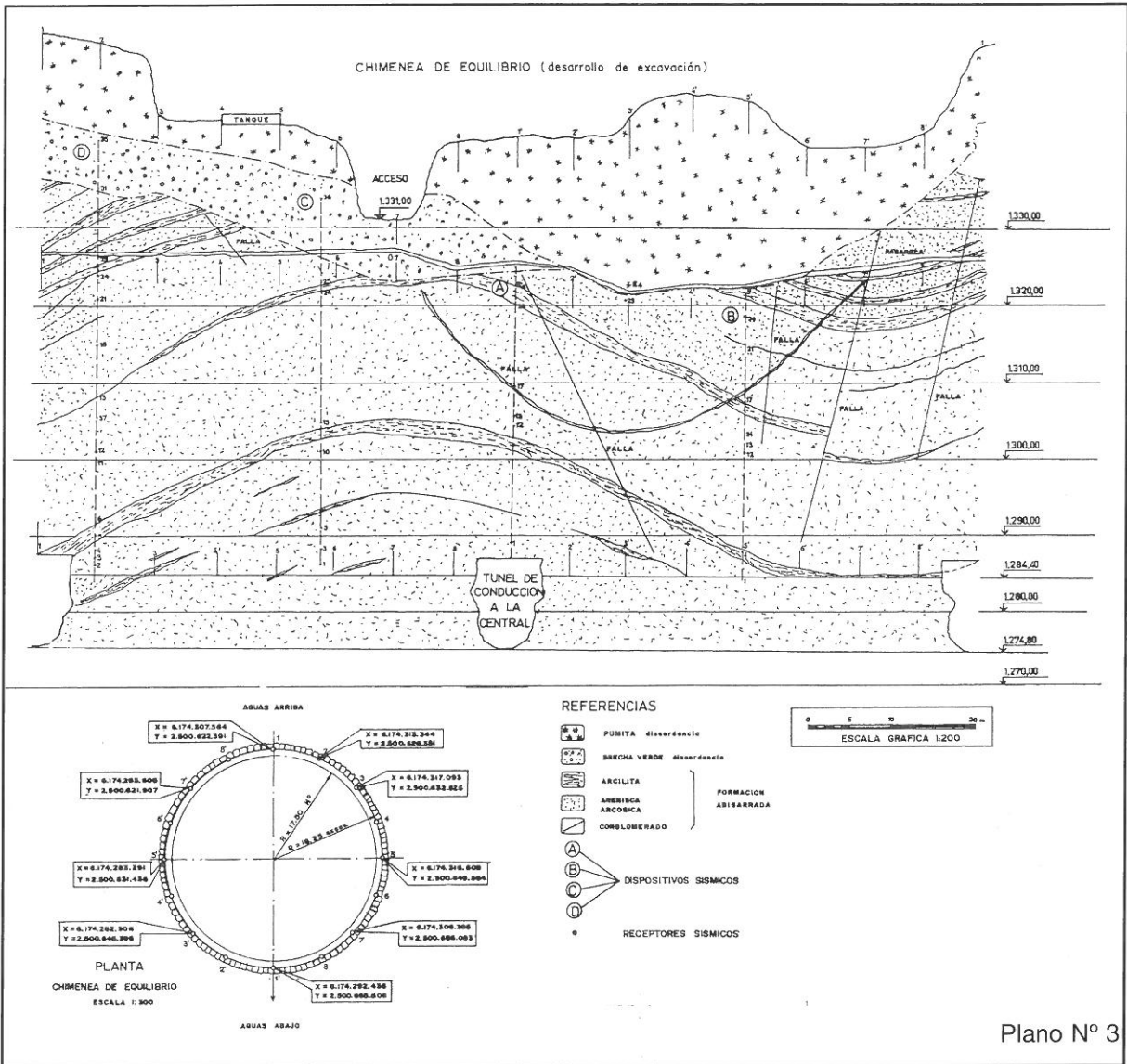
- REFERENCIAS**
- LINTILLAS Y ARENISCAS CUARZOSAS FINAS
  - LINTILLAS Y LIMOLITAS MORADAS
  - CONGLOMERADOS
  - ARENISCA ARCOSICA GRIS CLARA
  - PLANO ESTRATIFICACION
  - FALLA
  - ROCA MUY FRACTURADA
  - LUTITAS NEGRAS
  - CUERPOS INTRUSIVOS
  - ROCA METAMORFICA (Esquistos)
  - ARENISCA ARCOSICA GRUESA
  - ARCILLITA ROJA (Lutitas Rojas)
  - ARENISCA CUARZOSA GRUESA Y LIMOLITAS ALTERNADAS
  - CUARZITAS GRANO BLANQUECINAS MOTEADAS

PLANO N° 1



PLANO N° 2





Plano N° 3

y 10 tramos superpuestos a los anteriores (Ver plano N° 3).

En todos los casos, para el cálculo de los parámetros elásticos de la corona decomprimida se empleó el mismo coeficiente de Poisson que el determinado para el macizo en la zona investigada.

## 7. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

### a) Galería de presión y tubería forzada:

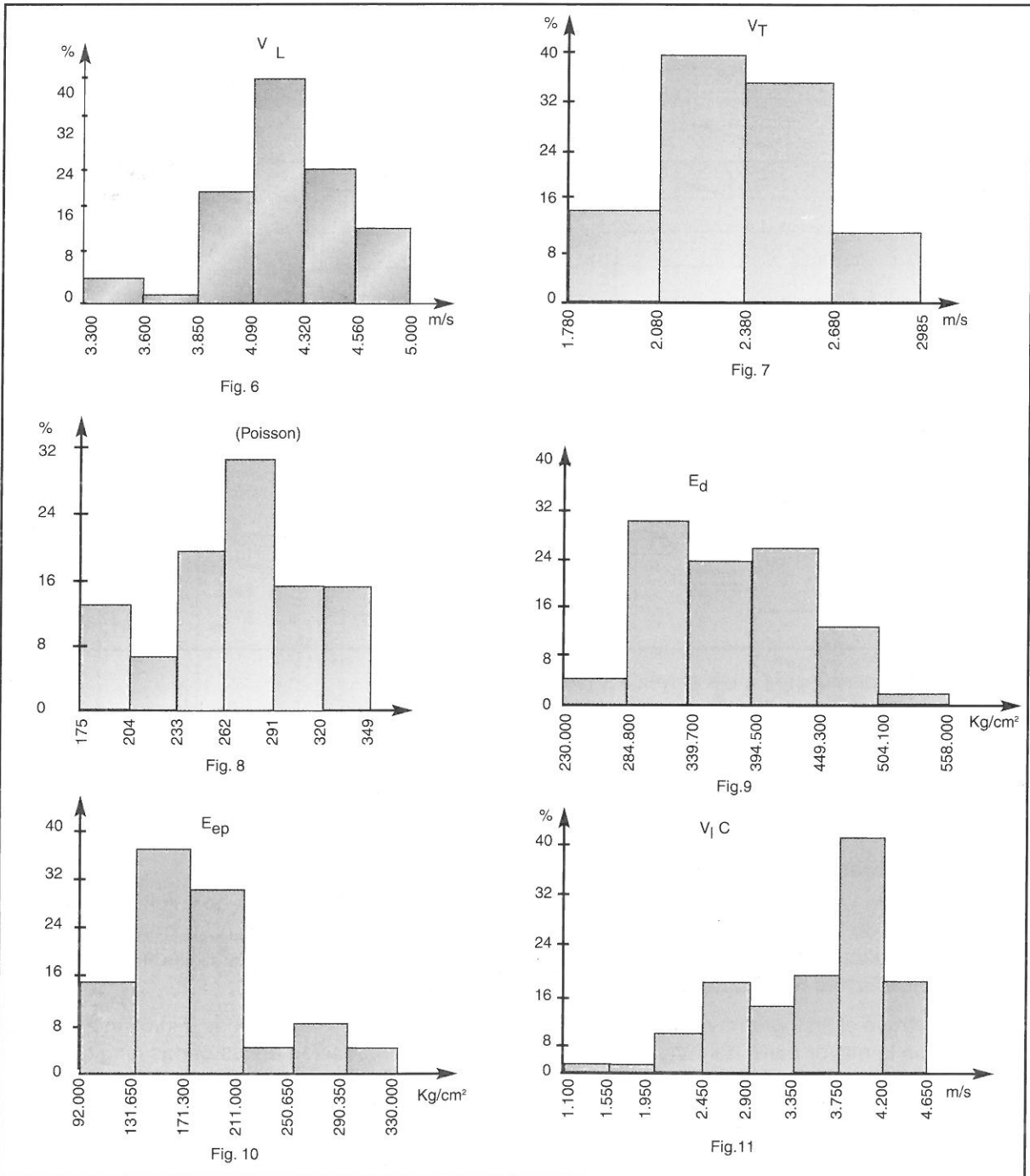
El estudio de las dromocronas correspondientes a los tramos de 55 metros de longitud permitió la determinación de las velocidades de propagación de las ondas longitudinales (VI) y transversales (VT) inherentes al macizo rocoso sin decomprimir. La velocidad de propagación de las ondas longitudinales varía entre límites relativamente amplios (3300 y 5000 m/s).

Se construyó el histograma de frecuencias relativas porcentual de velocidades (Fig.6) en el cual se observa que la mayor parte del túnel posee velocidades de propagación de las ondas longitudinales que varían entre 3850 y 4560 m/s lo que sería indicativo de una buena cuasi isotropía en la mayor parte del macizo excavado; los valores extremos obtenidos corresponden a cuarcitas de muy buena calidad que se encuentran en las cercanías de la obra de toma (entre 4600 y 5000 m/s) y las intercalaciones de lutitas (3300 a 3600 m/s).

Un tratamiento estadístico similar se realizó con las velocidades de propagación de las ondas transversales ( $V_T$ ) donde el histograma de frecuencias relativas indica que el rango de variación de dichas velocidades es inferior al de las ondas longitudinales (1780-2895 m/s) (Fig. 7). Por ser las ondas transversales menos condicionadas en su propagación por factores como el agua, y aparecer en dicho diagrama que alrededor de 75% del túnel tiene velocidades que oscilan entre 2080 y 2680 m/s, nos estaría indicando más fehacientemente que el macizo rocoso posee una alta cuasi isotropía indicativa de su excelente calidad.

Los valores extremos son coincidentes con lo enunciado para el caso de propagación de ondas longitudinales.

Con los respectivos valores de velocidades de propagación se calcularon los coeficientes de Poisson, el valor medio para la totalidad del túnel es de  $\nu = 0,271$  resultando un histograma como el in-



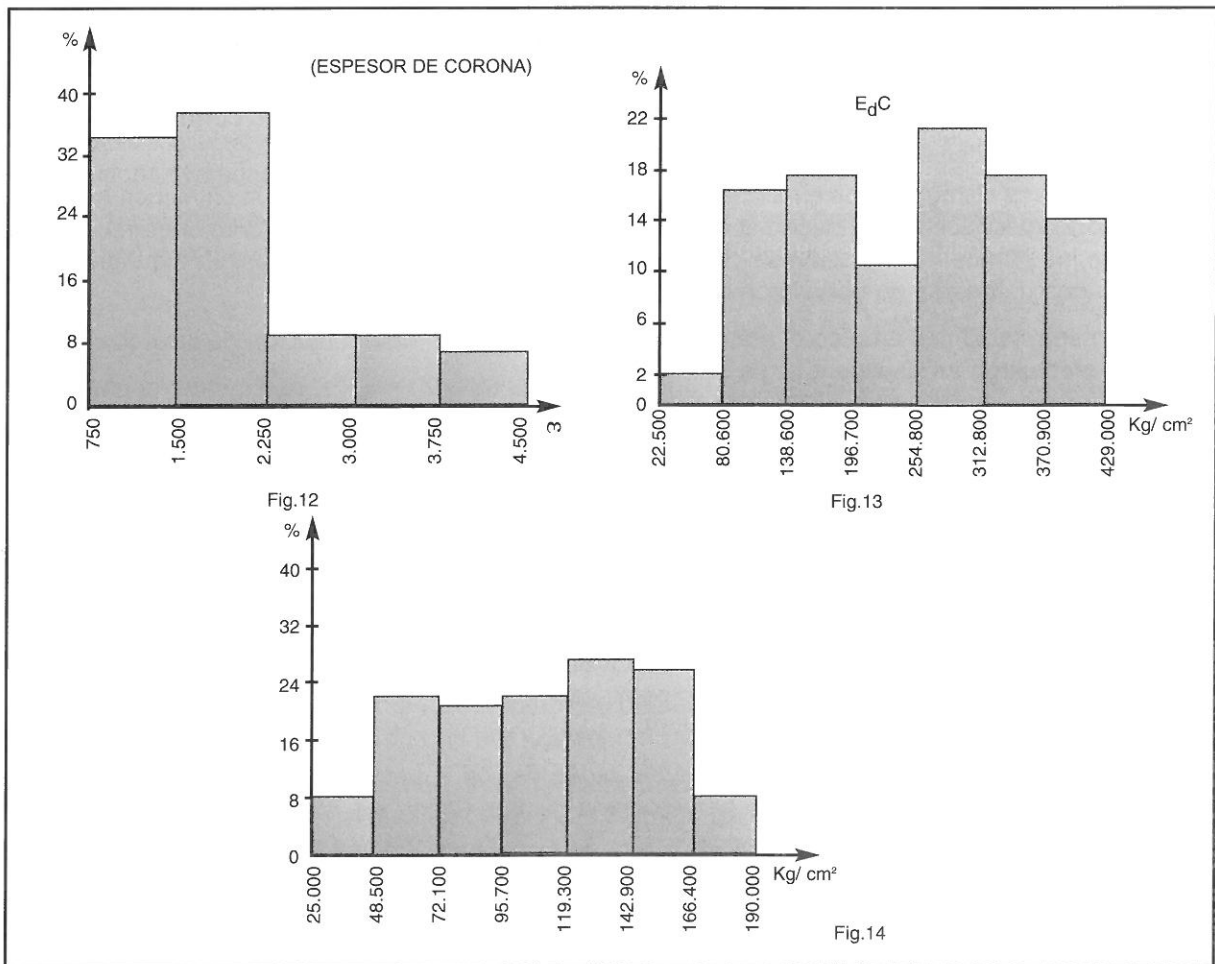
dicado en la Fig. 8.

En él, los valores extremos corresponden a cuarcitas  $\nu = 0,175$  y lutitas y zonas de elevado diaclasamiento  $\nu = 0,349$ .

Con los coeficientes de Poisson y las velocidades de propagación se calcularon los módulos de elasticidad dinámicos ( $E_d$ ) cuyo rango de variación se puede observar en el histograma de la Fig. 9. La reducción de dichos módulos a valores estáticos probable ( $E_{ep}$ ), se realizó utilizando una ecuación de correlación que surge de considerar valores determinados in situ, de módulos de elasticidad por métodos dinámicos y ensayos clásicos de mecánica de rocas. Los valores obtenidos están graficados en el histograma de la Fig. 10.

Con los resultados obtenidos de las dromocronas para dispositivos de 11 metros se ha dibujado el histograma de velocidades de propagación de las ondas longitudinales (VL.C) para corona decomprimida donde el rango de variación es muy amplio, 1100 a 4650 m/s (Fig. 11).

El análisis de dicho histograma nos indica que en la mayor parte del túnel las velocidades correspondientes a la corona son relativamente cercanas a las velocidades de la roca sin decomprimir, razón por la cual los espesores de la corona (que son función del contraste de velocidades) tienen valores medios inferiores a los 2,25 m; el histograma de espesores está representado en la Fig. 12, donde se puede observar que el 70% del túnel tiene un valor medio de 1,65 metros, mientras que el



valor extremo de 4,5 metros corresponde a zonas de lutitas.

Para el cálculo de los módulos de elasticidad en la corona ( $E_{dc}$ ) se empleó el mismo coeficiente de Poisson que el obtenido para la roca sin decomprimir, esto es debido a que en los tramos de pequeña longitud (11 metros) no resultó posible discriminar la velocidad de propagación de las ondas

transversales. La reducción del módulo dinámico a módulo estático probable ( $E_{dpC}$ ) se realizó siguiendo el mismo procedimiento que para el caso de roca sin decomprimir; se han presentado los histogramas correspondientes en las Figs, 13 y 14.

En los planos N° 1 y 2 se han indicado los valores principales correspondientes a velocidad de propagación de las ondas longitudinales, coeficiente de Poisson, módulo de elasticidad dinámico y espesores de corona decomprimida.

### **b) Chimenea de Equilibrio**

En razón de que el número de tramos registrados en la chimenea de equilibrio es pequeño y los requerimientos para el cálculo final del revestimiento exigen un mayor detalle de los resultados obtenidos, se describen a continuación los cuatro tramos registrados con un análisis pormenorizado de cada uno de ellos.

No se ha tomado en cuenta la Pumita, dado que en ella la velocidad de propagación de las ondas sísmicas es relativamente baja y el correspondiente coeficiente de absorción de energía es elevado, por lo que la señal sísmica se atenúa rápidamente.

Los perfiles se han ubicado aproximadamente a 90° entre sí según puede observarse en el plano N° 3.

Los dispositivos A y B están formados por 3 tramos cada uno; dos de ellos denominados cortos, con separación entre receptores variables entre 0,90 y 2 metros, mientras que el dispositivo largo abarca los dos tramos cortos, pero el distanciamiento entre receptores sismográficos es variable entre 2 y 5 metros. Los dispositivos C y D están formados por cuatro tramos, tres cortos y uno largo, con disposiciones similares a los dispositivos A y B.

Los receptores sismográficos en todos los casos fueron fijados a la pared de la chimenea mediante expansores roscados tipo Hilty con el objeto de asegurar un óptimo acoplamiento entre receptor y terreno. En los puntos de explosión se colocaron cargas relativamente pequeñas, en algunos casos solamente con detonador se obtuvieron registros de buena calidad.

En la interpretación se empleó el método de sumación para la determinación de las velocidades reales; se efectuaron análisis de energía sísmica.

### **Dispositivo Sismográfico "A"**

Ubicado en coordenadas  $X = 6.174.292,436$  e  $Y = 2.500.655,608$ . Está subdividido en los tramos AI de longitud 16 metros y el AII de 15 metros; el tramo A tiene 32 metros de longitud.

**TRAMO AI:** Presenta una velocidad media para la roca de 3200 m/s; debe destacarse que desde el receptor sismográfico 8 y hasta el N° 12 comienza una disminución gradual de la velocidad, hecho que se observa tanto en el perfil como contraperfil; esta variación de velocidad se atribuye a la existencia en la zona de una intercalación de lutitas.

El espesor de la corona decomprimida es del orden de 3 a 5 metros, pero debe destacarse que las variaciones de velocidad entre la probable corona decomprimida y la roca "inalterada" no es significativa (del orden de los 600 m/s).

El módulo de elasticidad dinámico que se calcula para las areniscas es de 200.000 kg/cm<sup>2</sup> para un coeficiente de Poisson  $\nu = 0,30$ . Con módulos calculados se adopta un coeficiente de reducción  $\frac{E_d}{E_e} = 2,28$  lo que arroja un módulo de elasticidad estático probable de 85.000 kg/cm<sup>2</sup>.

En la zona comprendida por los receptores 8 a 17 de este dispositivo (zona de lutitas) el módulo de elasticidad dinámico calculado es de 85.000 kg/cm<sup>2</sup>. El módulo de elasticidad estático probable para esta última zona es inferior a los 15.000 kg/cm<sup>2</sup>.

**TRAMO AII:** Es similar al tramo AI aunque de menor longitud. Los valores registrados de velocidad y, por ende, de módulos de elasticidad, son similares a los obtenidos en el dispositivo AI. En la dromocrona correspondiente se puede observar que en la iniciación del perfil como en la finalización del contraperfil (zona comprendida entre receptores 13 y 17) se produce un hecho similar al correspondiente a los receptores 8 a 12 del tramo AI.

**TRAMO A:** O tramo largo, abarca a los dos tramos anteriores; tiene una longitud total de 32 metros.

De la información obtenida en campaña puede observarse que las velocidades registradas son mayores que en los tramos AI y AII, este incremento de velocidad es originado por una mayor profundización del frente de onda sísmica, lo que resulta indicativo de un mejoramiento de la calidad de la roca hacia el interior del macizo.

Si bien el incremento de velocidad no es significativo, los valores de los módulos de elasticidad calculados son ligeramente superiores a aquellos calculados en los tramos AI y AII.

En la zona de la chimenea comprendida entre cotas 1288 y 1299,80 el valor de módulo dinámico calculado es de 270.000 kg/cm<sup>2</sup>; a partir de la cota 1310,80 hasta la 1321, el valor obtenido es de 230.000 kg/cm<sup>2</sup>. Esta disminución de módulo dinámico es congruente pues existe una decompresión natural del macizo a medida que aumenta su cota.

En la zona comprendida entre cotas 1300 y 1308,8 la velocidad es significativamente menor; esto confirma lo observado en los tramos cortos y originado por la intercalación de lutitas.

Los módulos estáticos probables calculados para cada una de las zonas en que se puede subdividir el dispositivo son:

Zona 1: comprendida entre cotas 1288,95 y 1299,85;  $E_{ep} = 120.000 \text{ kg/cm}^2$ ; Zona 2 entre cotas 1300 y 1310  $E_{ep}$  menor de 20.000 kg/cm<sup>2</sup> y para el resto del dispositivo 95.000 kg/cm<sup>2</sup>.

#### **Dispositivo B:**

Ubicado en coordenadas  $X = 6.174.283,391$  e  $Y = 2.500.631,436$ .

Está constituido como en el caso del dispositivo A por tres tramos; dos cortos denominados BI y BII y uno largo denominado B. Este último tramo abarca los dos tramos cortos.

**TRAMO B:** Registrado entre cotas 1284,96 y 1301,11 presenta 2 zonas bien marcadas; una comprendida entre receptor 1 y 4 correspondiente a una zona con intercalación de lutitas con una baja velocidad relativa del orden de: 1600 m/s, para luego hasta el final del tramo, continuar con una velocidad relativamente elevada de 3400 m/s.

La dromocrona correspondiente a este tramo no presenta alteraciones significativas hasta el final de tramo, lo que sería indicativo de una homogeneidad de la roca.

Los módulos dinámicos para este primer tramo son: zona comprendida entre receptores 1 a 4  $E_d = 50.200 \text{ kg/cm}^2$ ; para el resto del tramo  $E_d = 225.000 \text{ kg/cm}^2$  lo que indica módulos estáticos probables de menos de 20.000 kg/cm<sup>2</sup> para la primer zona y de 98.000 kg/cm<sup>2</sup> para el resto del tramo.

**TRAMO BII:** Registrado entre cotas 1302 y 1318,50. Desde el comienzo del perfil en el receptor 13 se manifiesta una pérdida de velocidad asociada con una intercalación de lutitas, para luego continuar con una velocidad superior hasta el receptor 21 a partir del cual se produce una brusca disminución de velocidad de propagación hasta el final del tramo. La primer zona comprendida entre cotas 1302,2 y 1305, como la última comprendida entre cotas 1315 y 1318 presenta velocidades del orden de 1500 m/s correspondiente a un módulo dinámico de 45.000 kg/cm<sup>2</sup> y un estático probable

Eep menor de 20.000 kg/cm<sup>2</sup>. La zona intermedia, comprendida entre cotas 1305 y 1315 el módulo dinámico es de 140.000 kg/cm<sup>2</sup> y el módulo estático probable Eep 60.000 kg/cm<sup>2</sup>.

**TRAMO B:** Abarca los dos tramos anteriores; confirma los resultados obtenidos con los tramos cortos BI y BII. Las velocidades que se obtienen son mayores que en los tramos cortos, pero no en manera significativa lo que es indicativo de que el macizo no presenta alteraciones de importancia en su interior.

Los módulos dinámicos calculados son, entre cotas 1284,96 y 1289,99  $E_d = 60.000$  kg/cm<sup>2</sup>; entre cotas 1290 y 1300  $E_d = 265.000$  kg/cm<sup>2</sup>; entre cotas 1300 y 1315  $E_d = 145.000$  kg/cm<sup>2</sup>, resultados que son confirmatorios de los obtenidos en BI y BII:

Resultan por consiguiente los siguientes valores de módulo de elasticidad estáticos probables:

cotas 1284 y 1289 menor de 20.000 kg/cm<sup>2</sup>;

cotas 1290 y 1300, 115.000 kg/cm<sup>2</sup>;

cotas 1300 y 1315, 60.000 kg/cm<sup>2</sup>.

Dispositivo C: Ubicado en coordenadas X = 6.174.315,140 e Y = 2.500.649,190.

Está constituido por 4 tramos: 3 cortos de longitud variable denominados CI, CII y CIII y uno largo que abarca a los tramos CI y CII, denominado C.

**TRAMO CI:** Registrado entre cotas 1286,10 y 1303,65 se observa entre los receptores 3 y 5 un retardo de tiempo indicativo de una zona de diaclasas; a partir del receptor N° 5 la dromocrona no presenta anomalías notables hasta el receptor N° 10 de cota 1301,50 a partir del cual, se comienza a notar una disminución de la velocidad originada por una intercalación de arcillita. La velocidad media a partir del receptor 5 y hasta el receptor 10 es de 3650 m/s lo que arroja un módulo de elasticidad dinámico  $E_d$  de 250.000 kg/cm<sup>2</sup> y un módulo de elasticidad estático probable de 110.000 kg/cm<sup>2</sup>.

A partir del receptor N° 10 la velocidad es cercana a los 2000 m/s que arroja un módulo de elasticidad dinámico de 90.000 kg/cm<sup>2</sup> y un estático probable inferior a 30.000 kg/cm<sup>2</sup>.

**TRAMO CII:** Comienza en la cota 1304,75 y finaliza en la cota 1322,22. A partir del receptor 13 comienza una disminución gradual de la velocidad con el incremento de cota; entre cotas 1304,76 y 1314,74 la velocidad media adquiere un valor de 3000 m/s y, a partir de dicha cota, la velocidad disminuye a 2000 m/s. Esta velocidad es acompañada por variaciones en los parámetros elásticos, por lo que el módulo de elasticidad resulta: entre receptores 13 y 19 de 175.000 kg/cm<sup>2</sup> y el módulo estático probable de 75.000 kg/cm<sup>2</sup> para los receptores 19 a 24 el módulo estático probable es menor de 30.000 kg/cm<sup>2</sup>.

**TRAMO CIII:** Registrado entre cotas 1323,26 y 1334,57. Hasta la cota 1326 continúa la velocidad que caracteriza el tramo CII; a partir de dicha cota se produce una brusca caída de velocidad (media de 1400 m/s) que arroja un valor de módulo de elasticidad dinámico del orden de 35.000 kg/cm<sup>2</sup>, por lo que el módulo estático probable es inferior a 15.000 kg/cm<sup>2</sup>.

**TRAMO C:** Abarca a los tramos CI y CII y confirma las velocidades obtenidas entre los tramos precisados. El módulo de elasticidad dinámico generalizado para la zona del perfil es de 200.000 kg/cm<sup>2</sup> y el módulo estático probable Eep = 90.000 kg/cm<sup>2</sup>.

Dispositivo D: Ubicado en coordenadas X = 6.174.313,344 e Y = 2.500. 626,551. Está formado por 3 tramos cortos denominados DI, DII y DIII y un tramo largo o tramo D.

**TRAMO DI:** Registrado entre cotas 1284,48 y 1301,08. Se observa un cambio de pendiente entre los receptores 5 y 6 que está en correspondencia con la intercalación de la lutita; para luego continuar una alta velocidad hasta el receptor N° 11 donde se produce una pequeña zona de debilidad. El módulo de elasticidad dinámico para la zona es de 300.000 kg/cm<sup>2</sup> y su módulo estático probable de Eep = 135.000 kg/cm<sup>2</sup>. La zona de debilidad originada en las lutitas no es tan marcada como en los casos anteriores.

**TRAMO DII:** Registrado entre cotas 1308,35 y 1324,66. Se registra una baja velocidad superficial entre los receptores 13 y 18 para luego producirse un incremento notable de la misma hasta el receptor 21, y luego comienza a decrecer hasta el final del tramo. Las velocidades medias para las 3 secciones son: 1700 m/s para la primera; 3300 m/s para la segunda y 1500 m/s para la tercera; indudablemente los módulos dinámicos tanto para la primera como para la tercera son del orden de 50.000 kg/cm<sup>2</sup> y los módulos estáticos probables son inferiores a los 20.000 kg/cm<sup>2</sup>. Para la parte central comprendida entre cotas 1315 y 1321 el módulo dinámico es de 180.000 kg/cm<sup>2</sup> y el módulo estático probable Eep = 80.000 kg/cm<sup>2</sup>.

**TRAMO DIII:** Registrado entre cotas 1326,46 y 1341, 49. Presenta en toda su longitud bajas velocidades de propagación (orden 2000 m/s) y se hace más notable dicha baja velocidad a partir de la cota 1335.

Los módulos dinámicos para esta zona son del orden de 75.000 kg/cm<sup>2</sup> y los módulos estáticos probables Eep menor de 30.000 kg/cm<sup>2</sup>.

**TRAMO D:** Está registrado entre cotas 1287,96 y 1321,10. Presenta 2 zonas muy bien diferenciadas que corroboran los datos anteriores. Entre cotas 1308 y 1321 el módulo dinámico global para la zona es de 175.000 kg/cm<sup>2</sup> y el estático probable Eep = 75.000 kg/cm<sup>2</sup>. La zona comprendida entre cotas 1287,96 y 1305 presenta un módulo de elasticidad dinámico de 235.000 kg/cm<sup>2</sup> y el estático probable Eep = 100.000 kg/cm<sup>2</sup>.

**NOTA:** El coeficiente de Poisson con que se han calculado los módulos de elasticidad es de  $\nu = 0,30$  aunque en algunas zonas varía hasta 0,35. Este último valor es dudoso.

## 8. UTILIZACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados obtenidos permitieron un control de los espesores de los revestimientos proyectados, como asimismo una estricta vigilancia sobre las inyecciones de consolidación y su presión de inyección.

Las cantidades de lechada de cemento inyectadas en los dos primeros metros de profundidad fueron muy superiores a las insumidas en profundidades mayores.

Como ejemplo práctico se ahorraron 32.275 m de perforación para inyección de consolidación respecto de las previstas en el contrato original, y alrededor de 600 toneladas de cemento.

## 9. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al equipo de trabajo que colaboró en la realización de las tareas de campaña y gabinete y al Ing. Tomás Fermín Ulzurum por aplicar los resultados obtenidos.

## 10. Bibliografía

- Bollo, Mariano F.: Resultats des recherches geotechniques sur une serie de sites de barrages. Compte Rendus, 8 Congr. Int. des Grands Barrages. Vol: 1 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 Druckwellenaus breitung und Bauwer sechuterungen. V.D.I. Beriashte Nr. 13-5-89-93.
- Kolsky, H.: Viscoelastic Waves International Simposium on Stress propagation in Material. 1960.
- Kujunzic, B.: Correlation between static and Dinamics investigation on rock in situ. Elastics, property of DAM foundation Rock. Inter. Congr. 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 de 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.

**SISTEMAS VISUALES**

Distribuidor Oficial **3M ARGENTINA**

**VENTA Y ALQUILER**

**jt JOSE B. TAPIA S.R.L.**  
**SERVICIO TECNICO**

**LAS MEJORES MARCAS**

IBM - OLIVETTI - SHARP - BEE  
HEWLETT PACKARD - EPSON  
JVC - PANASONIC - LANIER

Adolfo Calle 696 - 5519 Dorrego - Guaymallén - Mendoza  
Tel y Fax 061 312004 / 321606  
Correo electrónico (Email): jt@cpsarg.com



# Espectros Adimensionales de Respuesta. Un nuevo criterio de confección de interpretación de espectros elásticos a partir de registros sísmicos reales.

**Autores: Ing. Raúl Zaradnik (1)  
Ing. Elbio Villafaña (2)**

## RESUMEN

El efecto de la duración de un sismo en el comportamiento estructural ha sido tradicionalmente ignorado en los códigos de diseño mientras que la magnitud Richter del sismo no aparece explícitamente definida.

En este trabajo se presenta un criterio para definir espectros elásticos que se ha derivado del estudio de ciento cinco sismos reales producidos en todo el mundo, tomando como base de definición de los espectros la duración maestra, la magnitud Richter, la máxima aceleración prevista del suelo durante el sismo de diseño y su impulso aceleratriz.

Asimismo se presenta un criterio de representación adimensional de espectros elásticos de aceleración, velocidad y desplazamiento y leyes envolventes derivadas para los mismos.

Finalmente se establece una serie de conclusiones del trabajo.

## SUMMARY

The effect of the duration of an earthquake in the structural behavior has been traditionally ignored in the design codes, while the Richter magnitude of the earthquake does not appear explicitly defined.

In this work it is presented a criterion to define elastic spectra that it has been derived from the study of a hundred and five real earthquakes produced all over the world taking as spectra definition base the master duration, the Richter magnitude, the maximum anticipated acceleration of the soil during the design earthquake and its accelerative impulse.

It is also presented a criterion of adimensional representation of elastic acceleration spectra, speed and displacement, and hi-fidelity quantities derived for them.

Finally it is established a series of conclusions about the work.

---

1. Ing. Civil. Director del Instituto Técnico de Investigaciones y Ensayos de Materiales (I.T.I.E.M.), Jefe de Trabajos Prácticos de la Cátedra de Estructuras Especiales en la Facultad de Ingeniería de la UNC. Becario Investigador del Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Cuyo (C.I.U.N.C.).

2. Ing. Construcciones, Titular de la Cátedra de Estructuras Especiales en la Facultad de Ingeniería de la UNC. Director de Beca del Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Cuyo (C.I.U.N.C.).

## LOS TERREMOTOS Y SU RESPUESTA ESPECTRAL

Las vibraciones verificadas durante los terremotos pueden producir severos daños a los edificios y a sus equipamientos. La aceleración, la velocidad y el desplazamiento del suelo al transmitirse a través de la estructura, muchas veces resultan amplificados, y entonces se producen fuerzas y desplazamientos que pueden exceder los admisibles para esa estructura, o por lo menos para un sector de la misma. Son muchos los factores que influyen en el movimiento de la tierra y de su amplificación. Paralelamente, un claro entendimiento de cuáles son los factores que influyen en la respuesta de las estructuras y del equipamiento es fundamental para realizar un diseño seguro y económico.

Usualmente, los terremotos son mensurados por medio de equipos que registran la aceleración del suelo en un sitio particular. El registro de aceleraciones o acelerograma, luego de haber sido corregido, (eliminando los errores instrumentales y de ajustes inherentes a la medición) se integra para obtener los registros de velocidad y de desplazamiento en función del tiempo.

Los máximos valores del movimiento del suelo (llámese aceleración, velocidad o desplazamiento) son de sumo interés para los analistas y diseñadores antisísmicos. Sin embargo, tales parámetros no alcanzan a describir la intensidad de las sacudidas que las estructuras y los equipos experimentan. Otros factores, como la magnitud del terremoto, la distancia a la falla o al epicentro, la duración de la fase fuerte de terremoto, las condiciones del suelo del lugar y el contenido de frecuencias del movimiento, también influyen en la respuesta de una estructura. Muchos de esos efectos se representan muy bien por medio de los espectros, los cuales describen la máxima respuesta de un oscilador amortiguado de un solo grado de libertad y de frecuencia variable. El estudio de muchos espectros de respuesta, de sismos catastróficos, o no tanto, permiten obtener un espectro de diseño que represente la amplificación del terremoto para varios períodos estructurales [1],[2],[3].

## CARACTERÍSTICAS DE LOS TERREMOTOS

Las características propias de los terremotos que más parecen importar para las aplicaciones ingenieriles de [1],[3], [8] y [9] son:

- a- El pico máximo del terremoto, hablando de aceleración, velocidad y desplazamiento.
- b- La duración del terremoto.
- c- El contenido de frecuencias del terremoto.

En especial, la duración del terremoto tiene efecto en el nivel de destrucción, y está comprobado que un terremoto de aceleración moderada pero de gran duración causa más daño que un terremoto de gran aceleración pero de corta duración. Durante el desarrollo de la investigación [11], se utilizó el criterio de Page y Bolt [9] que propusieron definir la duración del terremoto a través de la llamada "duración maestra" es decir, el intervalo de tiempo entre el primer y el último pico de aceleración de valor especificado (usualmente  $0.05g = 49 \text{ cm/s}^2$ ).

## LOS ESPECTROS ADIMENSIONALES

Los espectros conocidos y popularizados entre los Profesionales del Diseño Sismorresistente generalmente son dimensionados [1],[4], [7], es decir, sus parámetros poseen unidades.

La apariencia de los mismos es muy dispar y difícilmente puedan sacarse conclusiones definitivas sin aplicar hipótesis simplificadoras [4].

Durante la investigación que dio origen a este trabajo [11] se propuso representar los espectros por medio de gráficos adimensionales, con la sorpresa de encontrar que los mismos respondían a formas y expresiones completamente comparables, diferenciándose sólo cuando los tipos de suelo cambiaban. Es decir, mientras se representaran espectros de sismos registrados en suelos semejantes, las formas y expresiones de sus gráficos adimensionales eran casi coincidentes, mientras que se producían fuertes diferencias para espectros calculados a partir de registros sísmicos obtenidos en lugares donde los suelos eran muy diferentes. Por esta razón se normalizaron los tipos de suelos a

considerar en este trabajo, distinguiendo tres tipos o familias fundamentales:

Suelos tipo 1 = Rocas y suelos duros o rígidos.

Suelos tipo 2 = mantos de suelo poco cohesible o suelos de arcillas rígidas.

Suelos tipo 3 = Mantos de arcillas medias a livianas y arenas sueltas.

## PARÁMETROS ADIMENSIONALES

Ya desde 1994 [10] se discute en el ámbito de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo sobre el modo en que los espectros dimensionados pueden ser representados por medio de espectros adimensionales. En la presente investigación se han utilizado los siguientes parámetros adimensionales:

### 2.1 Para el período

$$t = \frac{A_{\text{máx}}}{J} * T$$

donde: T = período noval, evaluado como  $T = 2 * l * (m/K)^{1/2}$

$A_{\text{máx}}$  = máxima aceleración del suelo

J = Impulso aceleratriz del sismo, evaluado por definición [10] como:

$J = \int A_g(t) * dt$ , es decir la integral en la duración del sismo de su aceleración.

El período T es constante y único para los sistemas lineales, pero en los sistemas no lineales es variable, por ello se utiliza el período noval, es decir, al origen o al comienzo de la curva Rigidez-Deformación.

### 2.2 Para la aceleración

$$a(t) = \frac{T}{J} * A(T)$$

para la cual A(T) es el valor espectral de la aceleración al período T, y los demás parámetros son conocidos.

### 2.3 Para la velocidad

$$v(t) = \frac{2 * l}{J} * V(T)$$

para la cual V(T) es el valor espectral de la velocidad al período T

### 2.4 Para el desplazamiento

$$d(t) = \frac{(2 * l * D)^2}{J * T} * D(T)$$

para la cual  $D(T)$  es el valor espectral del desplazamiento al período  $T$

## RELACIÓN ENTRE PARÁMETROS PROPIOS DE LOS SISMOS EVALUADOS.

Los parámetros propios de los sismos son:

- a- La máxima aceleración del terreno:  $A_{m\acute{a}x}$
- b- La duración del sismo:  $D$
- c- El impulso aceleratriz:  $J$ ; y
- d- La magnitud Richter.  $M_r$

Para casi el 50% de los sismos estudiados se conocían sus Magnitudes Richter [9] y organizándolos para magnitudes constantes se concluyó que en el plano  $A_{m\acute{a}x} \cdot D$  versus  $J$  se alineaban, por lo cual se planteó que entre los parámetros propios existe la siguiente relación:

$$A_{m\acute{a}x} \cdot D = m \cdot J$$

$$m = 21,41 - 2,08 \cdot M_r$$

Estas simples relaciones y su gráfico (figura 1) permiten entender por qué se dice que un sismo de magnitud dada, es más dañino mientras mayor es su duración.

Además, estas relaciones explicarían en parte la idea de que "para diseñar estructuras especiales, para establecer espectros de diseño, y para evaluar el máximo desplazamiento y daño que podría ocurrir en un lugar, se podrían utilizar pulsos aislados de aceleraciones que representen el sismo esperado" [13]. Mientras el valor del impulso aceleratriz  $J$  no sufra variaciones importantes, los resultados posteriores deberían ser semejantes.

Está claro que la importancia práctica de estas expresiones es obtener el valor del impulso aceleratriz  $J$ , para un sismo de magnitud Richter conocida, con una duración determinada y una máxima aceleración del suelo impuesta.

## RELACIÓN ENTRE ACELERACIÓN Y PERÍODO ADIMENSIONALES

Existe una función continua propuesta en [11] que relaciona la aceleración adimensional con el período adimensional que es del tipo:

$$a(t) = \frac{A t^2}{1 + B t^3} + C t^2 + D t$$

donde las constantes  $A$ ,  $B$ ,  $C$  y  $D$  debieron determinarse por procedimientos estadísticos y resultaron ser:

$$A = 62.61 \cdot (TS)^{1/2} - 34.86$$

$$B = 161.33 + [32.27 - 22.48 \cdot (TS)^{1/4}] \cdot c\% - 112.4 \cdot (TS)^{1/4}$$

$$C = 0.0 \quad ; \quad D = 1.0$$

donde  $c\%$  = amortiguamiento considerado, en por ciento del crítico.

TS = tipo de suelo, según:

1 = Rocas y suelos duros o rígidos;

2 = Mantos de suelo poco cohesible o suelos de arcillas rígidas;

3 = Mantos de arcillas medias a livianas y arenas sueltas.

No obstante conocer la anterior expresión, es interesante plantear la relación entre la aceleración adimensional y el período adimensional en términos de líneas envolventes rectas. Entonces, la relación se debe dividir en tres [3] regiones  $a_{t1} = \frac{a_0}{t_{01}} * t$  (que se ven en las figuras 2 y 3).

**a- Región de aceleración dimensional máxima espectral constante**, con aceleración adimensional de valor  $a_{t1}$  dada por la siguiente ecuación:

cuyas constantes son:

$$a_0 = (2.188 * TS - 0.667) - (0.113 * TS - 0.033) * c\%$$

$$t_{01} = 0.10 + 0.03 * c\%$$

donde  $c\%$  = amortiguamiento considerado, en por ciento del crítico.

TS = tipo de suelo, según:

1 = Rocas y suelos duros o rígidos ;

2 = Mantos de suelo poco cohesible o suelos de arcillas rígidas;

3 = Mantos de arcillas medias a livianas y arenas sueltas.

**b- Región de aceleración dimensional máxima espectral parabólica**, con aceleración adimensional de valor  $a_{t2} = a_0$ , que se extiende desde el período adimensional  $t^{01}$  hasta el período adimensional de valor  $t_{02} = a_0$

**c- Región de máxima aceleración dimensional espectral proporcional**, con aceleración adimensional de valor  $a_{t3}$ , dada por la siguiente ecuación:

$$a_{t3} = t$$

## RELACIÓN ENTRE VELOCIDAD Y ACELERACIÓN ADIMENSIONALES

Un aspecto interesante de la investigación realizada es la relación que vincula a la velocidad y aceleración adimensionales, independientemente del amortiguamiento que se considere. La gráfica (figura 4) permite manifestar que el cociente entre la velocidad y la aceleración adimensionales se encuentra entre los siguientes límites:

a- Inferior:  $v/a = 1.4 * e^{-3 * \text{sq}(t)}$

a- Superior:  $v/a = 1.4 * e^{\{0.25 - 1.5 * \text{sq}(t) - \text{Sq}[\text{sq}(t)]\}}$

(Nota:  $\sqrt{\quad}$  equivale a raíz cuadrada).

## RELACIÓN ENTRE VELOCIDAD Y DESPLAZAMIENTO ADIMENSIONALES

Las gráficas (figuras 5 y 6) permiten manifestar que las velocidades y los desplazamientos adimensionales se relacionan diferenciadamente según tres ( $V$ ) regiones, pero que resulta favorable a los efectos de diseño utilizar la siguiente relación simple  $v = d$ , donde  $v$  es la máxima velocidad espectral adimensional y  $d$  es el máximo desplazamiento espectral adimensional. Cuando se hace una diferenciación por regiones, se puede poner:  $V = \beta * d$ , con  $\beta \geq 1$

## CONCLUSIONES

Este trabajo afronta la discusión sobre los criterios para establecer espectros elásticos de diseño con las siguientes conclusiones.:

1. Aporta un modo de incluir la magnitud Richter del sismo de diseño y su duración prevista.
2. Establece un criterio de comparación entre seguridad y economía.
3. Presenta un método repetible, comparable y de fácil normalización.
4. Genera un procedimiento para establecer valores justificables del coeficiente básico para el diseño sismorresistente, cuando se apliquen métodos estáticos simplificados.
5. Plantea la necesidad de estudiar espectros de energía para avanzar sobre el cálculo no lineal de estructuras con bases científica y económicamente aceptables.

## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. Cakmak, A.S., Soil Response Spectrum, Princeton University, Estados Unidos de América.
2. Cakmak, A.S., Stochastics Methods in Earthquake Engineering, Princeton University, Estados Unidos de América.
3. Cakmak, A.S., Ground Motion and Engineering Seismology, Princeton University, Estados Unidos de América.
4. Beskos, D.E. y Anagnostopoulos S.A., Computer Analysis and Design of Earthquake Resistance Structures, Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Patras, Grecia.
5. Ariman, T, Hamada M., Singhal , A.C. y Cakmak, A.S., Recent Advances in Lifeline Earthquake Engineering, trabajo conjunto entre Estados Unidos de América y Japón.
6. Alarcón, R., Crempien, J. y Saragoni G.R., Propiedades Gaussianas de los Acelerogramas de Terremotos, de las XX Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural y VI Simposio Panamericano de Estructuras, Córdoba, Argentina, 1979.
7. Kanai, K., An Empirical Formula for the Spectrum of Strong Earthquake Motion, Segunda Conferencia Mundial sobre Ingeniería Sísmica, Tokio, Japón, 1960.
8. Duke, C.M., Luco, J.E., Carriveau, A., Hradilek, P., Lastrico, R. y Ostrom, D., Strong Earthquake Motion and Site Conditions, en la edición del volumen 60 del Bull. Seismics Society of America, de 1970.
9. Manual de diseño sismorresistente, editado por Farzad Naiem, de la serie de Ingeniería Estructural.
10. Zaradnik, R., Interacción Suelo Estructura, con comportamiento dinámico de estructuras antisísmicas sobre fundaciones flexibles. CIUNC, 1994.
11. Zaradnik, R., Confección e interpretación de espectros de respuesta a partir de registros sísmicos, CIUNC, 1997.
12. Mc Cann y Shah, Determining Strong Motion Duration of Earthquake, Bull. Seism. Soc. Am. 69 N° 4, pág.1235 a 1265, de 1979.
13. Bonelli, P., Cordero, P. y Gómez, E., Evaluación de los efectos de pulsos largos de velocidad en la respuesta sísmica de la estructura. Tercer Encuentro de Investigadores y Profesionales Argentinos de la Construcción, Mendoza, 1997.

**Espectros Adimensionales**  
Escala con Magnitudes Richter

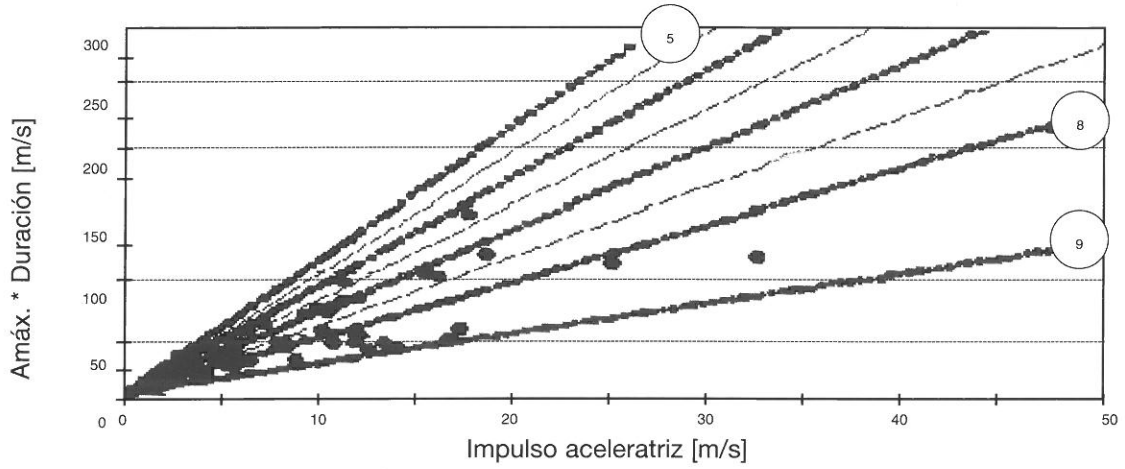


Figura 1: Relación entre parámetros propios de los sismos evaluados

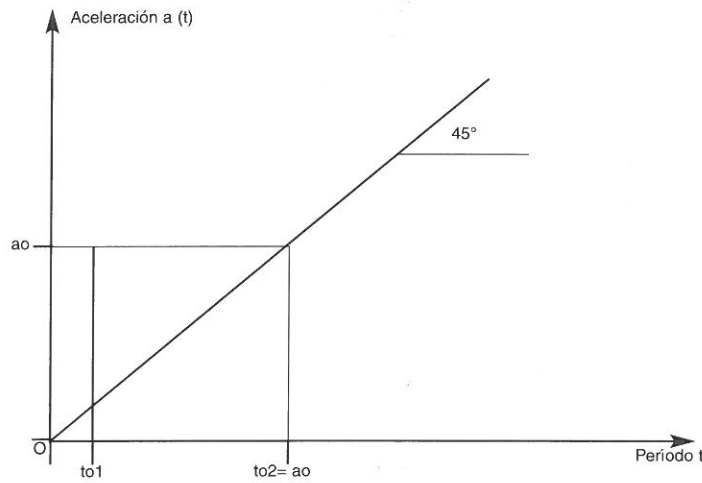


Figura 2: Relación entre aceleración y período adimensionales  
Simplificación lineal

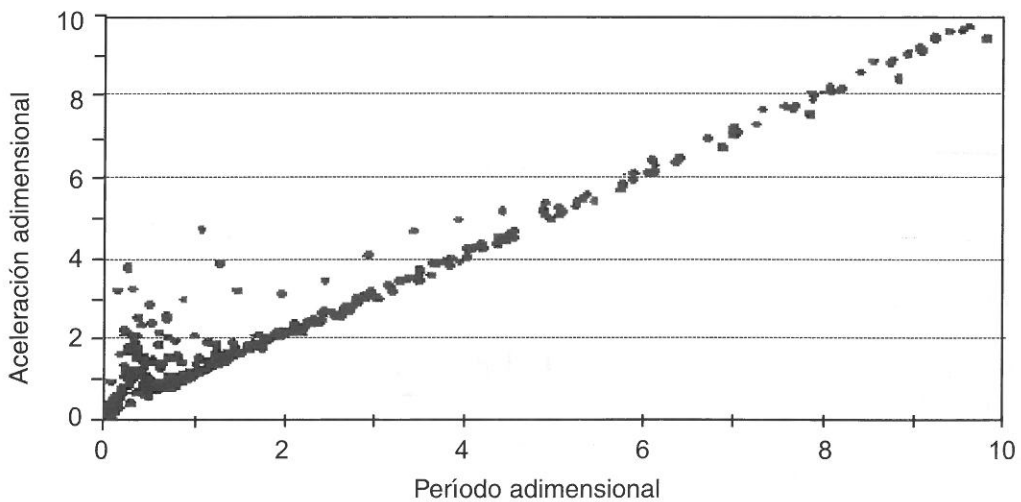


Figura 3: Relación entre aceleración y período adimensionales  
Evaluación real en el sismo de México de 1985

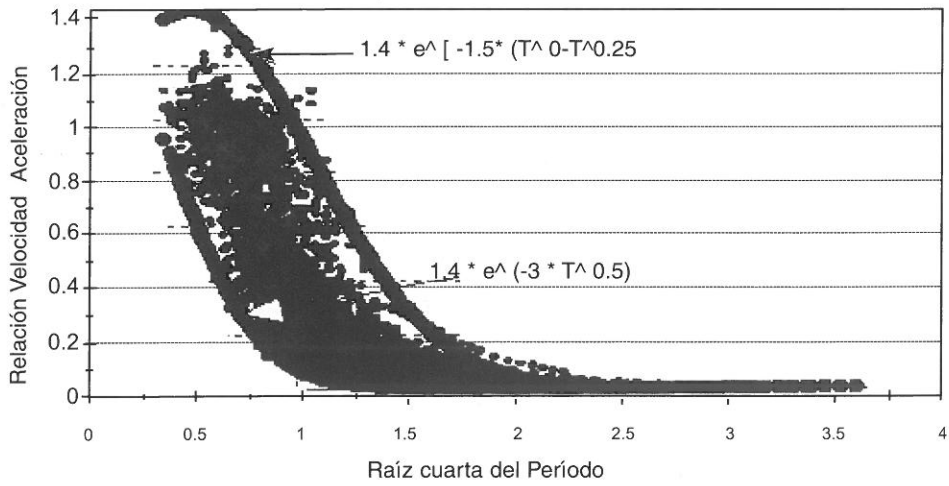


Figura 4: Relación entre velocidad y aceleración adimensionales  
Considerando todos los sismos analizados

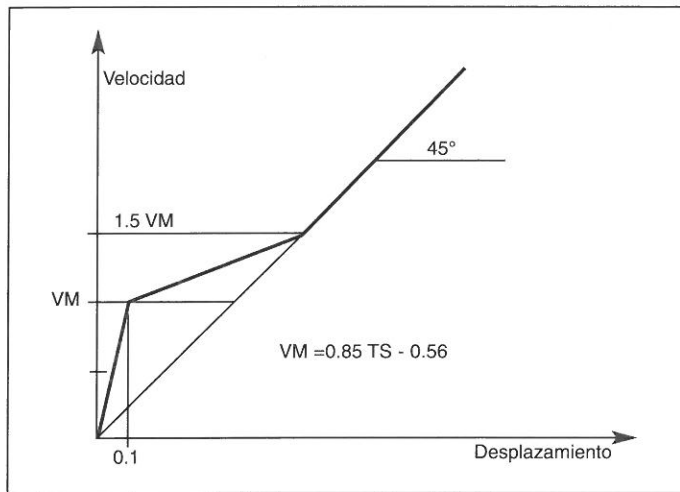


Figura 5: Relación entre velocidad y desplazamiento adimensionales  
Relación lineal simplificada

**Espectro adimensional**  
Sismos de México con amort. 0%

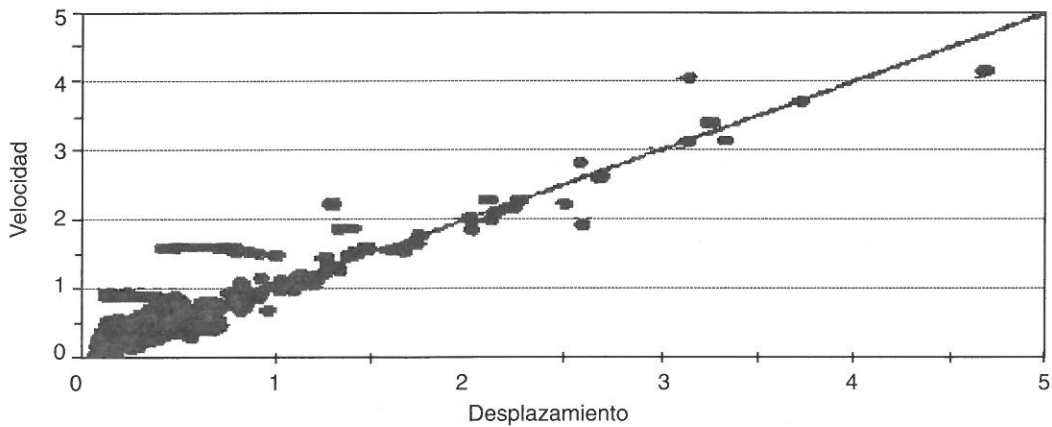


Figura 6: Relación entre velocidad y desplazamiento adimensionales  
Relación obtenida para el sismo de México de 1985



# Tecnología de la Información aplicada a la Enseñanza del Cálculo Numérico

**Distéfano, Mario<sup>(1)</sup>**  
**Scalice, Alejandro<sup>(2)</sup>**  
**Brizuela, Héctor<sup>(3)</sup>**

## RESUMEN

En este trabajo se presenta una experiencia innovadora de enseñanza-aprendizaje en la asignatura Cálculo Numérico y Computación, implementando algoritmos numéricos en una planilla de cálculo corriente, normalmente utilizada en resolver problemas administrativos y de gestión.

Se considera que el conocimiento profundo de los métodos numéricos se puede lograr satisfactoriamente con la programación y procesamiento de los mismos en una computadora, alcanzando un alto grado de comprensión de los conocimientos impartidos en un curso de cálculo numérico.

Este trabajo se presenta como una alternativa frente a la utilización de lenguajes de programación como Fortran o C, los que distraen al alumno en un aprendizaje que lleva más tiempo que el estudio de los algoritmos numéricos. La utilización de software para matemáticas como Derive, Mathcad, Matlab o Mathematica si bien constituyen la herramienta ideal en la actividad profesional, no permiten analizar y/o modificar los algoritmos por haber sido pre-programados por las firmas proveedoras.

Finalmente se establecen una serie de conclusiones como resultado de la experiencia realizada.

## SUMMARY

In this work it is presented a new teaching-learning experience in the Numerical Calculus and Computing Subject putting into practice numerical algorithms on a sheet of ordinary calculation which is generally used for solving administrative and negotiation problems.

It is taken into account that the through knowledge of numerical methods can be satisfactorily achieved programming and processing them in a computer, and in this manner you may catch a good comprehension of the subjects developed in a course of Numerical Calculation.

This work is presented as an alternative method in the using of programming languages as Fortran o C, which take the students a longer time to learn than that of numeral algorithms. Although the use of a software for mathematics like Derive, Mathcad, Matlab o Mathematica are the ideal tool in the professional activity, they do not permit analyzing and/or modifying the algorithms just because they have been programmed by the suppliers.

Finally it is established a series of conclusions as a result of the developed experience.

- 
1. Profesor Titular de Cálculo Numérico y Computación. Fac. Ing. - Univ. Nac. de Cuyo.
  2. Profesor Adjunto de Cálculo Numérico y Computación. Fac. Ing.- Univ. Nac. de Cuyo.
  3. JTP de Cálculo Numérico y Computación. Fac. Ing. - Univ. Nac. de Cuyo.

## PLANTEO DEL PROBLEMA

Existe escasa motivación del alumno para estudiar y analizar en profundidad el funcionamiento de los algoritmos numéricos.

Se considera que el conocimiento profundo del funcionamiento de los algoritmos, se puede lograr satisfactoriamente con la programación, implementación, experimentación y aplicación de los mismos, como forma de verificar y adquirir el dominio de los conocimientos adquiridos en un curso de cálculo numérico.

El empleo de lenguajes de programación, dificulta la enseñanza de los distintos algoritmos debido a que el alumno distrae más tiempo en el aprendizaje del lenguaje en sí, que en el de los algoritmos.

Los utilitarios matemáticos, si bien constituyen la herramienta ideal en la actividad profesional, deben utilizarse una vez que se han comprendido acabadamente cómo funcionan los algoritmos, ya que dejan poco margen para el análisis y modificación de los mismos al haber sido pre-programados por las firmas proveedoras.

## MARCO TEÓRICO

Se puede utilizar la informática en la educación de distintas maneras; en forma general podemos indicar:

- a. Ejecución de tutoriales, es decir, programas que llevan al alumno a través de una serie de etapas preestablecidas, mostrándole los pasos necesarios para resolver un determinado problema.
- b. Enseñanza de un lenguaje de programación, que permita al alumno resolver muchos tipos de problemas.
- c. Enseñanza con distintos utilitarios de propósito general (procesador de textos, planillas de cálculo, bases de datos, etc.).
- d. Enseñanza con software de aplicación específica (Derive, Mathcad, Matlab, Mathematica, etc.).

## PROPUESTA

Se optó por recurrir a una herramienta informática de propósito general, como la planilla de cálculo, al alcance de cualquier alumno e institución educativa, que facilite el estudio en profundidad de los distintos algoritmos numéricos, permitiendo al alumno participar en la programación de los mismos, frente a las alternativas analizadas.

- \* Un tutorial
- \* Un software específico
- \* Un lenguaje tradicional de programación.

## OBJETIVOS:

- \* Profundizar el conocimiento de los algoritmos de Cálculo Numérico por medio de la programación de los mismos.
- \* Utilizar herramientas informáticas de propósito general y de uso corriente.

## ESTRATEGIA

Motivar al alumno para el estudio y elaboración de un conjunto de rutinas de cálculo numérico, con una actitud participativa en la construcción de su propio utilitario informático.

Desarrollar el trabajo en forma participativa, en grupos de tres (3) alumnos, evitando un trabajo in-

dividual, carente de discusión.

El profesor participa y orienta en la interpretación y aplicación de los métodos numéricos.

El alumno debe tener la convicción de que está trabajando en algo útil para su capacitación, elaborando su propio recurso informático.

El desarrollo de la materia está distribuido en catorce (14) clases teórico-prácticas.

Al final del curso el alumno ha:

- i. Construido su propia herramienta informática
- ii. Dominado la planilla de cálculo
- iii. Profundizado el funcionamiento de los algoritmos numéricos.

No hay un propósito de que el utilitario obtenido reemplace el uso de otros software especializados (Mathcad, Matlab, etc.) de aplicación.

## **METODOLOGÍA EMPLEADA**

Primera clase: presentación de la planilla de cálculo, descripción de sus herramientas básicas: tipos de datos, operadores, referencia a celdas, uso del asistente de funciones, creación de gráficos.

Duración: 4 horas.

Recursos: Data Display en Laboratorio de Computación.

El resto de las clases se dividen en dos tipos:

a) En el 80% se desarrolla previamente el marco teórico de un método numérico, efectuando una resolución manual de un ejercicio, como tarea comprensiva del algoritmo. Luego se realiza la programación con planilla de cálculo, suministrando las herramientas adicionales necesarias en cada caso, por ejemplo: estructura condicional, operadores lógicos, manejo de matrices (operaciones e inversión), identificación de celdas, etc.

Duración de Clases: 6 horas cátedra.

Recursos. Pizarrón, papel y lápiz, Data Display en Laboratorio de Computación.

b) El 20% restante se utiliza para resolución de problemas, utilizando los distintos software específicos, como Mathcad, Derive, Matlab y Mathematica, para que con los conocimientos afianzados de los distintos métodos numéricos, el alumno pueda decidir libremente sobre la herramienta a adoptar en el futuro.

## **RESULTADOS**

\* El alumno se motiva con el estudio de los métodos numéricos.

\* El alumno genera una serie de recursos informáticos programados y depurados por él mismo, en contraposición con los utilitarios específicos que resuelven el mismo problema, pero prescindiendo del análisis constructivo del algoritmo.

\* La experiencia demuestra que los recursos que él ha generado, continúa utilizándolos en cursos posteriores.

\* Participa en la construcción informática del método, con todas las ventajas del aprendizaje basado en el hacer y que ello implica el conocimiento profundo del método teórico.

\* El alumno verifica por sí mismo la sensibilidad de la solución, con distintas cotas de error, intervalos de aproximación, intervalos de integración, etc., tomando conciencia de la importancia de investigar, experimentar e interpretar los resultados. Además de posibilitar la generación de soluciones y presentaciones alternativas.

\* El alumno incrementa su capacidad para realizar nuevas aplicaciones de la planilla de cálculo aprendiéndola a medida que se aumenta la complejidad de los algoritmos planteados en el desarrollo de la materia.

## CONCLUSIONES

\* Actitud positiva e interés del alumno hacia los métodos numéricos, utilizando una herramienta informática de amplia difusión como es una planilla de cálculo.

\* Entusiasmo del alumno por un trabajo participativo elaborando un esquema de operaciones.

\* Los alumnos no presentan objeciones en realizar tareas extras fuera del horario normal de clases en el Laboratorio de Computación.

\* La aplicación de esta metodología durante dos (2) años ha producido un resultado positivo con la reducción de alumnos aplazados.

## APLICACIONES.

Se acompaña un ejemplo de aplicación realizado por alumnos de segundo año de la materia Cálculo Numérico, donde se indican los resultados obtenidos y la programación correspondiente.

### RAÍCES DE ECUACIONES

Método de Newton-Raphson

Utilizando Mathcad para Windows

Ecuación a resolver:  $f(x) = x^2 - 9$

Valor de Prueba:  $x = 4$

Utilizando el Operador "root". Este operador requiere de dos argumentos:

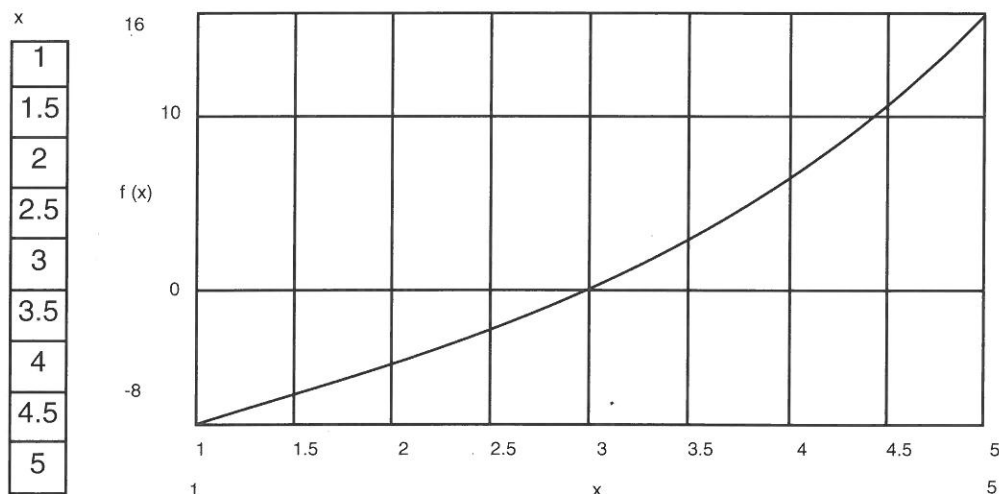
- La función a calcular:  $f(x)$
- La variable independiente, que constituye el valor de prueba:  $x$

Mathcad, entrega la raíz de la ecuación en forma inmediata

$$\mathbf{Root(f(x),x) = 3}$$

Se puede graficar asignando valores a la variable  $x$

$$\mathbf{X = 1,1.5..5}$$



## RAÍCES DE ECUACIONES

Método de Newton-Raphson

Utilizando Planilla de Cálculo

Ecuación a resolver:  $f(x) = x^2 - 9$

error = **0.001**

1<sup>ra</sup>. Derivada:  $f'(x) = 2x$

Valor Inicial:  $x = 4$

2<sup>da</sup>. Derivada:  $f''(x) = 2x$

$f(x) * f''(x) = 14$

	A	B	D	C	E
1	Función y =	$x^2-9$		error =	0,001
2	1° Derivada y' =	$2*x$		valor inicial =	4
3	2° Derivada y'' =	2		$y*y''$ =	14
4					
5	Iteración	x	y(x)	Y'(x)	Encontrada?
6	0	4	7	8	
7	1	3,125	0,765625	6,25	NO
8	2	3,0025	0,01500625	6,005	NO
9	3	3,00000104	6,2448E-06	6,00000208	NO
10	4	3	1,0818E-12	6	SI

	A	B	C	D	E
1	Función y =	$x^2-9$		error =	0,001
2	1° Derivada y' =	$2*x$		valor inicial =	4
3	2° Derivada y'' =	2		$y*y''$ =	$=(E2^2-9)*B3$
4					
5	Iteración	x	y(x)	Y'(x)	Encontrada?
6	0	$=E2$	$=B6^2-9$	$=2*B6$	
7	$=A6+1$	$=B6-(C6/D6)$	$=B7^2-9$	$=2*B7$	$=SI(ABS(B6-B7)<=$E$1;"SI";"NO")$
8	$=A7+1$	$=B7-(C7/D7)$	$=B8^2-9$	$=2*B8$	$=SI(ABS(B7-B8)<=$E$1;"SI";"NO")$
9	$=A8+1$	$=B8-(C8/D8)$	$=B9^2-9$	$=2*B9$	$=SI(ABS(B8-B9)<=$E$1;"SI";"NO")$
10	$=A9+1$	$=B9-(C9/D9)$	$=B10^2-9$	$=2*B10$	$=SI(ABS(B9-B10)<=$E$1;"SI";"NO")$

I.S.S.N. 0326-1220

Impreso en la República Argentina

Se terminó de imprimir  
el 20 de noviembre de 1998

en



**INCA EDITORIAL**

**Cooperativa de Trabajo Ltda.**

Ituzaingó 3073 - 5500 Mendoza

Telefax 54-61 - 305595-307405

E.mail: [incagraf@slatinos.com.ar](mailto:incagraf@slatinos.com.ar)

# YPF



*Una Empresa en Acción.*

