

DETERMINACION EXPERIMENTAL DE PERIODOS NATURALES Y AMORTIGUAMIENTOS EN ESTANQUES ELEVADOS EN LA CIUDAD DE SANTIAGO*

Arturo ARIAS**

Patricio MELLER***

RESUMEN

En el presente trabajo se da cuenta de los resultados de mediciones de períodos en un total de 17 estanques elevados situados en la ciudad de Santiago y sus alrededores. Se midió, además, el amortiguamiento en 14 de ellos.

Los resultados obtenidos se utilizaron para probar una fórmula que da el período en función del contenido de agua del estanque.

INTRODUCCION

Los estanques elevados presentan problemas interesantes desde el punto de vista del cálculo antisísmico. Se trata, por lo general, de sistemas con un alto grado de simetría, susceptibles por lo tanto de un tratamiento teóricamente simple en comparación con otros tipos de estructuras. Por otra parte, las oscilaciones del sistema mecánico formado por la fundación, la estructura propiamente tal y el líquido contenido en la cuba, constituyen un problema de gran interés teórico que ha sido estudiado con cierto detalle por varios investigadores^{1a*}. Hay, por lo tanto, conveniencia en disponer de datos experimentales que permitan una confrontación de la teoría con el comportamiento real de estos sistemas.

En el presente trabajo se da cuenta de los resultados de mediciones de períodos en un total de 17 estanques elevados, situados en la ciudad de Santiago y sus alrededores. Se midió, además, el amortiguamiento en 14 de

*Este trabajo fue presentado en las Primeras Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica. La versión presente contiene algunas modificaciones, que atañen sólo a la redacción.

**Director del IDIEM. Profesor de Mecánica Racional de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile.

***Ingeniero Civil.

MÉTODOS DE ENSAYO

En la medición de períodos se emplearon, fundamentalmente, tres métodos: a) registro de vibraciones debidas a microtrepidaciones (microtremors) o al viento; (b) registro de vibraciones libres provocadas al soltar bruscamente un cable mediante el cual se había separado la estructura de su posición de equilibrio (pull-back tests); (c) registro de vibraciones forzadas producidas por un generador de vibraciones aplicado en la base de la estructura. En los estanques nº 1 y 4, la vibración libre se provocó según se describe en el lugar correspondiente.

Para la medición del amortiguamiento se utilizaron los métodos (b) y (c).

EQUIPO EMPLEADO

Se utilizó un sismómetro ruso, con una amplificación máxima de 20.000 veces (para $T = 0,8$ seg). La frecuencia de resonancia del sismómetro se podía variar a voluntad, por medio de un sistema de resortes de control. Se ajustó el sismómetro de modo que su período propio fuera superior a 2,5 seg.

Se empleó un galvanómetro de espejo, marca "Lehner and Griffith", con inscripción fotográfica. La velocidad del papel de inscripción fue de aproximadamente 1 cm/seg. En el mismo papel se inscribieron dos bases de tiempo, por

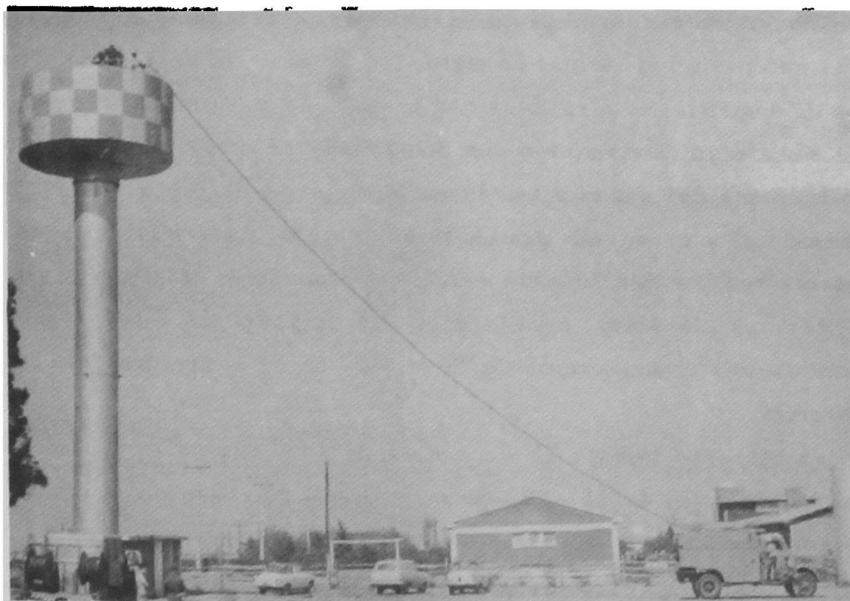


Fig. 1. Prueba pull-back test en el estanque Nº 3. A la izquierda se encuentra el camión con el equipo de registro, y a la derecha, el camión con el huiñche. Nótese el cable unido a la cuba del estanque.

medio de relojes eléctricos. El instrumental de registro estaba montado en un camión especial, que habitualmente se utiliza para exploraciones geofísicas.

Todo este equipo pertenece al Instituto de Geofísica y Sismología de la Universidad de Chile. Mayores datos sobre sus características y los circuitos empleados pueden hallarse en Ref.⁹.

Para las pruebas con cable se ocupó un camión de diez toneladas que posee un huinche especial, accionado a través del embrague del camión (Fig. 1). La tensión del cable se midió con un dinamómetro, como simple medida de seguridad. Este equipo fue facilitado graciosamente por la Empresa Nacional de Electricidad S.A. (ENDESA).

En las experiencias de vibraciones forzadas se utilizó un generador de vibraciones construido por el ex-Instituto Sismológico (actual Instituto de Geofísica y Sismología), según planos proporcionados por el U.S. Coast and Geodetic Survey. Este tipo de vibrador consiste en tres discos desequilibrados, dos de los cuales giran en un sentido y el tercero en el sentido contrario, en torno del mismo eje horizontal y con la misma frecuencia (Fig. 2). La posición relativa de los discos puede ajustarse de modo que se provoque una fuerza de inercia horizontal, que varía sinusoidalmente con el tiempo cuando los discos giran a velocidad angular constante. Una descripción detallada de este equipo puede encontrarse en Refs.^{10, 11}. Detalles de los circuitos de control de velocidad del motor eléctrico del generador de vibraciones pueden verse en Ref.⁹.

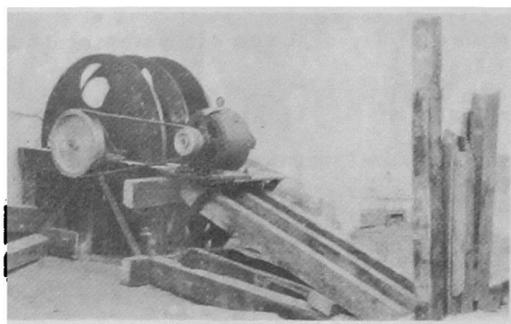


Fig. 2. Prueba de vibración forzada en el estanque N° 16. El generador de vibraciones está apegado a la estructura soportante del estanque y el entramado de madera tiene por función contrarrestar la acción de las fuerzas de inercia.

ESTANQUES ENSAYADOS Y DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS

Los estanques ensayados y sus ubicaciones se enumeran a continuación, indicándose además las Tablas donde se dan sus características y dimensiones principales.

- 1.- Avenida Sur, Comuna de Ñuñoa. (Tabla I)
- 2.- Población Dávila, Comuna de San Miguel. (Tabla I)
- 3.- FACH, Aeródromo de Los Cerrillos. (Tabla I)
- 4.- Laboratorio Pfizer, Camino a Maipú. (Tabla I)
- 5.- Población J. Santos Ossa, Comuna de Conchalí. (Tabla II)
- 6.- Los Morros, Comuna de La Cisterna. (Tabla II)

- 7.- Manuel Rodríguez, Comuna de La Cisterna. (Tabla II).
- 8.- Población Ochagavía, Comuna de San Miguel. (Tabla II).
- 9.- Instituto Pedagógico, Comuna de Ñuñoa. (Tabla II).
- 10.- Población J.J. Pérez (fuera de servicio), Comuna de Barrancas. (Tabla III).
- 11.- Población Dávila, Comuna de San Miguel. (Tabla III).
- 12.- La Palmilla, Comuna de Coñchalí. (Tabla III).
- 13.- Población Quinta Bella, Comuna de Conchalí. (Tabla IV).
- 14.- Población Pdte. Ríos, Comuna de Renca. (Tabla IV).
- 15.- Población 4 de Septiembre, Comuna de Conchalí. (Tabla IV).
- 16.- Escuela de Ingeniería (demolido). (Tabla IV).
- 17.- Cerro Navia, Comuna de Barrancas. (Tabla IV).

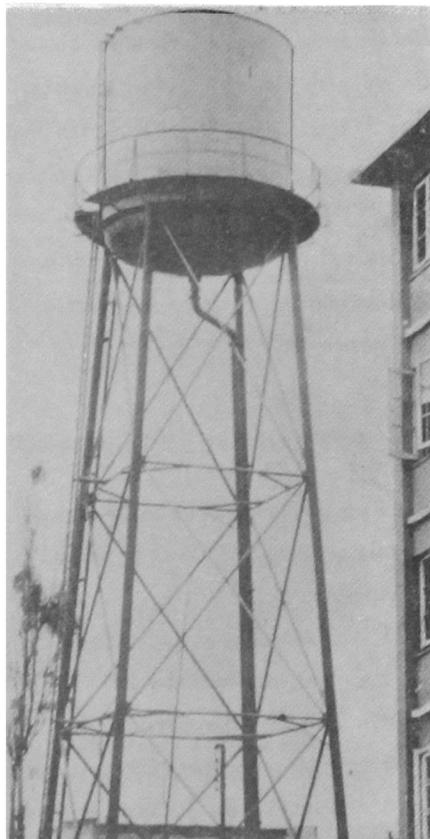
Estanques metálicos

Se ensayaron cuatro estanques metálicos, cuyas características se dan en la Tabla I. El estanque nº 1 aparece en la Fig. 3, y el nº 3 en la Fig. 1. Los estanques nº 2 y nº 4 son similares al estanque nº 3.

Estanque nº 1. Se hicieron tres ensayos: en el primero se provocó una vibración forzada, mediante el balanceo de dos personas que se subieron al balcón que rodea a la cuba. Se produjeron así, vibraciones que presentan un fenómeno de batimiento, como puede observarse en el registro reproducido en la Fig. 4. Durante el ensayo, la cuba se encontraba vacía.

Las otras dos pruebas se hicieron por los métodos (a) (Fig. 5) y (b) (Fig. 6) descritos anteriormente. En estas dos pruebas el estanque contenía 55 m³ de agua. En el registro de Fig. 6 se observa un período bien marcado y breve (0,55 seg), que corresponde a la vibración del estanque sobre su fundación, y otro más largo (2,45 seg), que aparece en la envolvente del registro y que probablemente corresponda a la oscilación del agua dentro de la cuba.

Fig. 3.- Estanque Nº 1, cuya estructura soportante está formada por pilares arriostados con diagonales y travesaños.



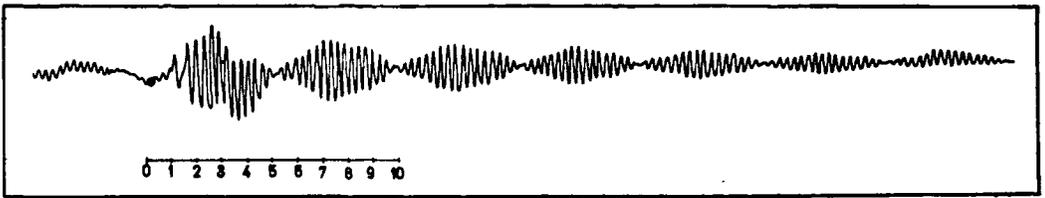


Fig. 4.- Registro del fenómeno de batimiento del estanque N° 1.

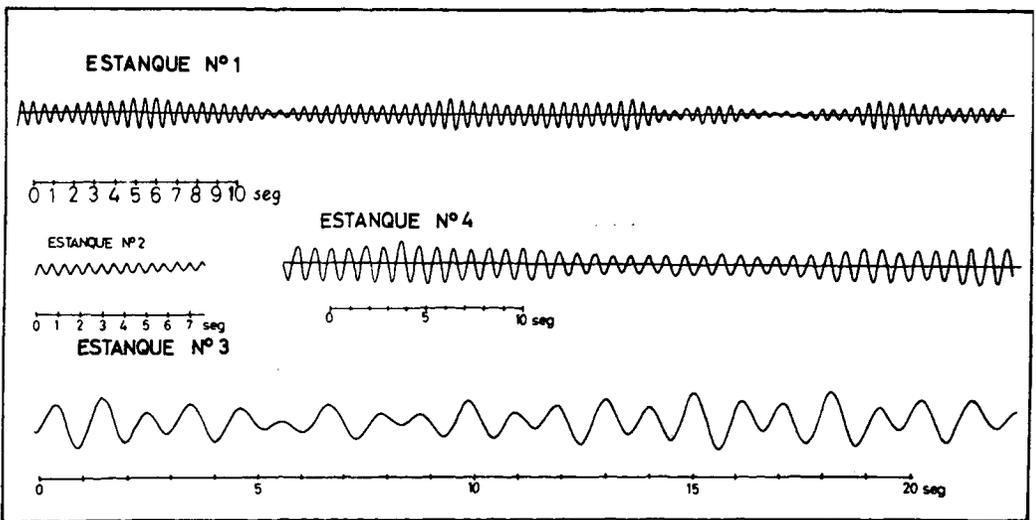


Fig. 5.- Registros de vibraciones debidas a microtrepidaciones de los 4 estanques metálicos.

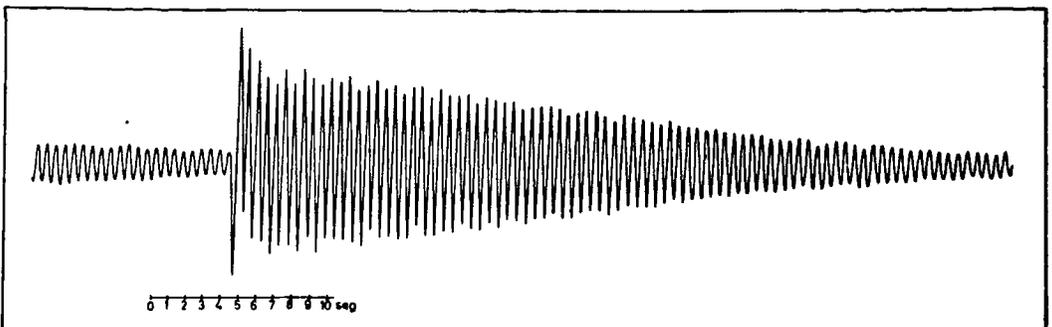


Fig. 6.- Registro de vibraciones libres del estanque N° 1.

Estanques nº 2, 3 y 4. Se ensayaron por los métodos (a) y (b). En el caso del estanque nº 4, la vibración libre se provocó por un impulso brusco dado por una persona de pie sobre el estanque.

En la Fig. 5 se dan los registros de las vibraciones debidas a microtrepidaciones para los cuatro estanques.

En las Figs. 7 y 8 aparecen los registros de las vibraciones libres. La primera corresponde al estanque nº 2, que se encontraba vacío en el momento de esta prueba. La segunda figura corresponde al estanque nº 4, que contenía 80 m³ en el instante del ensayo.

Estanques de hormigón armado soportados por pilares

Se probaron cinco estanques de este tipo. Todos los estanques fueron ensayados por los métodos (a) y (b). En la Fig. 9 aparecen los registros de las vibraciones provocadas mediante cable en los estanques nº 5 y 8.

Las características de los estanques se dan en la Tabla II. En la Fig. 10 se muestra uno de ellos.

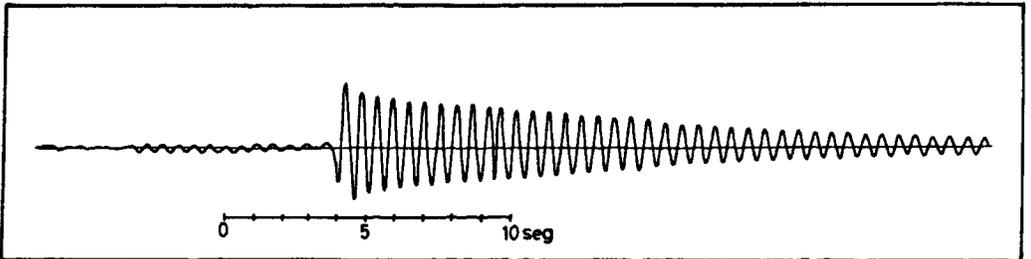


Fig. 7.- Registro de vibraciones libres del estanque Nº 2.

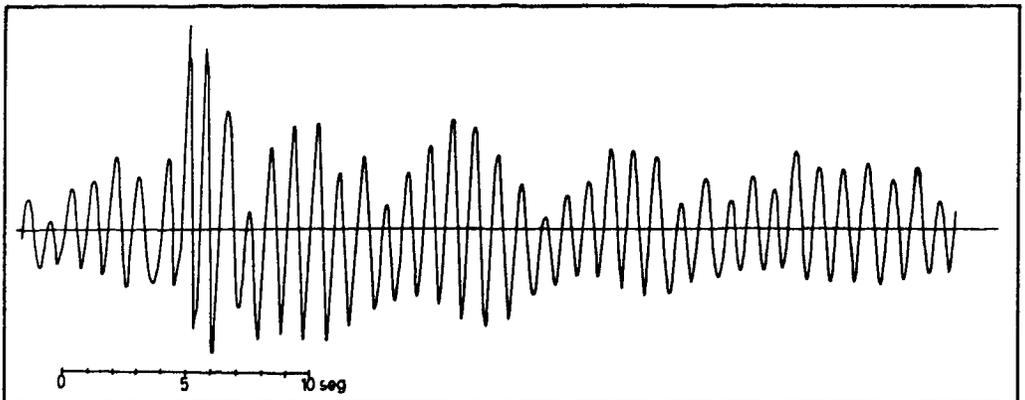


Fig. 8.- Registro de vibraciones libres del estanque Nº 4.

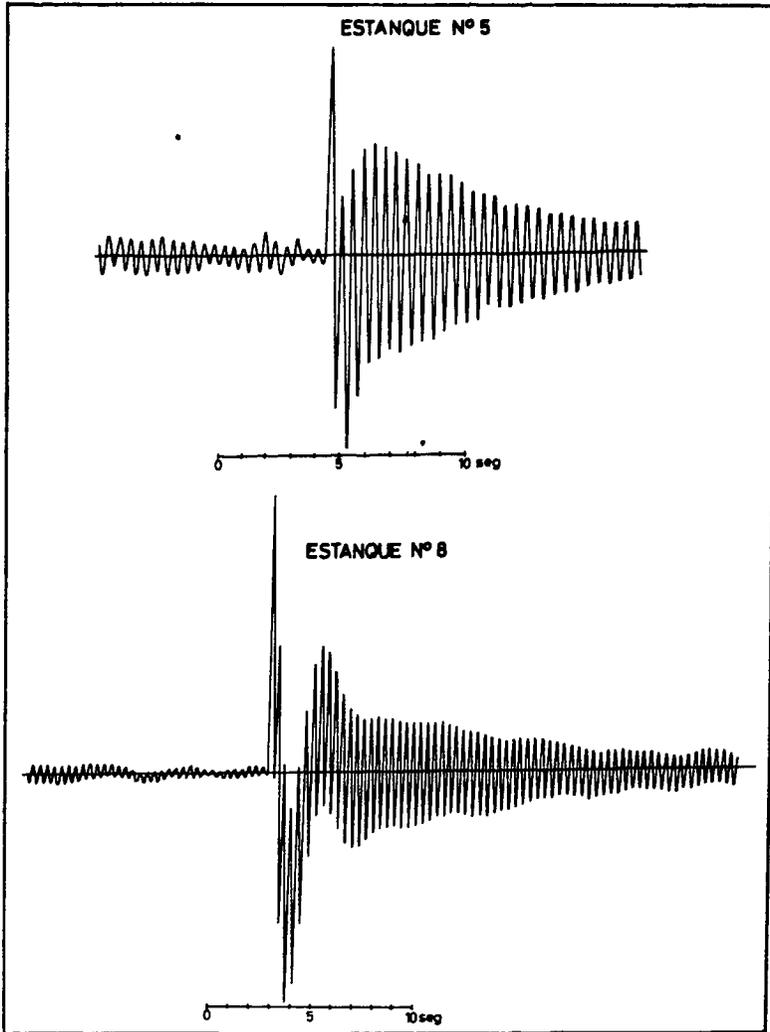


Fig. 9. Registro de vibraciones libres de los estanques Nº 5 y 8.

Estanques de hormigón armado soportados por un manto en forma de tronco de cono
 Se probaron tres estanques de este tipo. Sus características se dan en la Tabla III. En la Fig. 11 se muestra uno de ellos. Todos los estanques fueron ensayados de acuerdo con los métodos (a) y (b). Se trata de estanques muy rígidos, y fue preciso utilizar el máximo de amplificación.

Los registros de las vibraciones debidas a microtrepidaciones o al viento no ofrecen nada digno de mención especial; no se reproducen aquí (ver Ref.⁹). En cambio, las vibraciones registradas en las pruebas con cable resultan interesantes. Se reproducen copias de los registros en las Figs. 12, 13 y 14.

Estanques cuya estructura soportante consiste en un cilindro central y pilares o diafragmas radiales

En esta categoría se han incluido cinco estanques. Sus características se dan en la Tabla IV. Salvo el estanque nº 13, que se ensayó por los métodos (a) y (b), todos los demás fueron sometidos a vibraciones forzadas, de acuerdo con el método (c). Las Figs. nº 15, 16, 17 y 18 corresponden a los estanques nº 13, 14, 16 y 17, respectivamente. El estanque nº 15 es prácticamente igual al nº 14 y fue construido de acuerdo con los mismos planos.

Los estanques 14 y 15 tienen especial interés, porque son del mismo tipo que el estanque Bueras, de Valdivia, dañado seriamente en el terremoto del 22

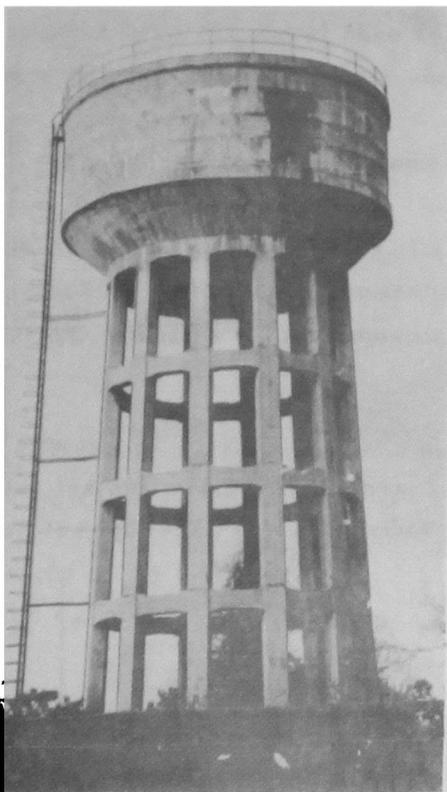


Fig. 10. Estanque Nº 6, tipo Intze. Los estanques Nº 5, 7, 8 y 9 son similares al Nº 6.

de Mayo de 1960, cuando se encontraba terminado, pero aún no había sido puesto en servicio.

En el caso del estanque nº 16, la estructura soportante está constituida por pilares de hormigón armado y por un cilindro central de acero conectado a la cuba, constituyendo con ella un solo depósito. Este estanque, que fue demolido hace poco para dar cabida al nuevo edificio de la Escuela de Ingeniería, fue sometido a vibraciones forzadas con tres niveles distintos de agua: 1) lleno; 2) con la cuba vacía, pero el tubo cilíndrico lleno; 3) completamente vacío. Las curvas de resonancia se dan en Fig. 19.



Fig. 11. Estanque Nº 12, estanque de hormigón armado soportado por un manto en forma de tronco de cono. Los estanques Nº 10 y 11 son similares al Nº 12.

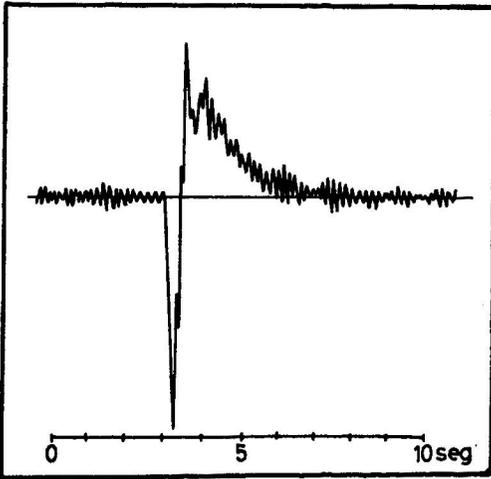


Fig. 12. Registro de vibraciones libres del estanque N° 10.

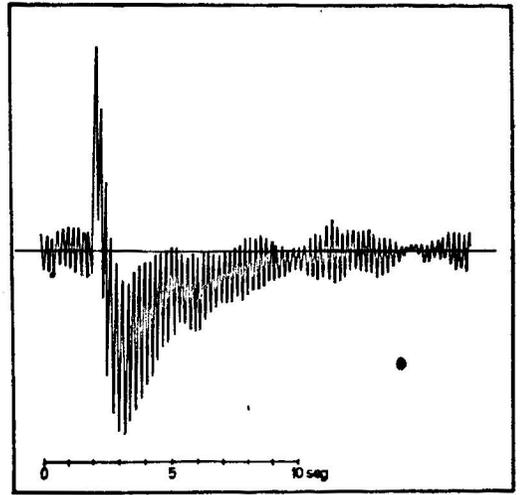


Fig. 13. Registro de vibraciones libres del estanque N° 11.

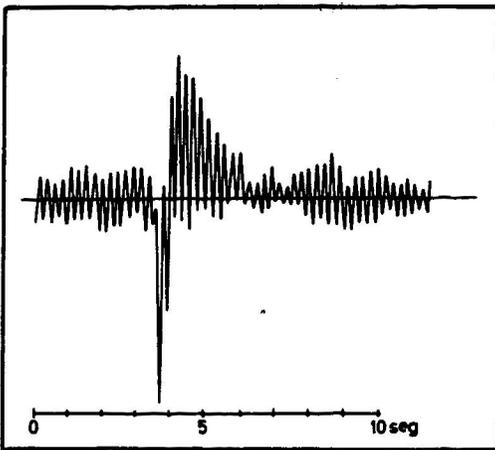


Fig. 14. Registro de vibraciones libres del estanque N° 12.

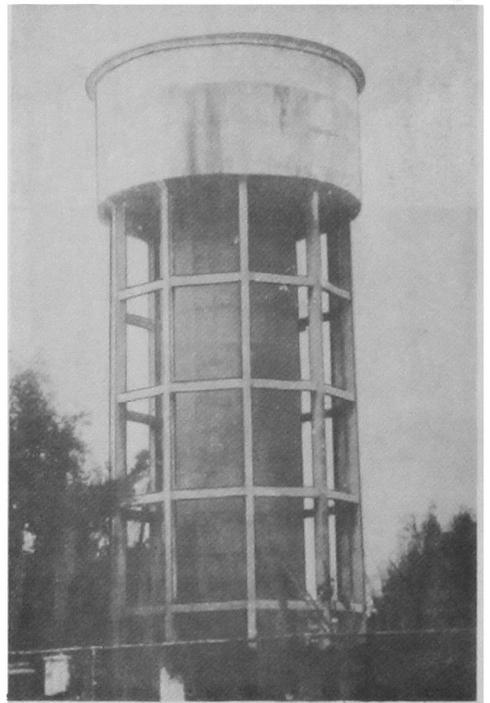


Fig. 15. Estanque N° 13.

RESULTADOS Y DISCUSION

En las Tablas I, II, III y IV se dan los valores de los períodos y amortiguamientos observados (los amortiguamientos se han expresado como porcentaje del amortiguamiento crítico). En el acápite anterior se han consignado, además, algunos de los registros obtenidos, y las curvas de resonancia, en el caso de estanques ensayados por el método (c).

Para los estanques ensayados por el método (b), el amortiguamiento se ha determinado calculando el decremento logarítmico. En la Fig. 20 aparece uno de los gráficos empleados en el cálculo.

En el caso de los estanques ensayados por el método (c), el amortiguamiento se calculó a partir de la curva de resonancia.

Influencia del contenido de agua sobre el período.

El problema de la influencia del contenido de agua sobre el período propio del estanque ha sido estudiado con detalle en Ref.², donde se propone la siguiente fórmula para apreciar dicha influencia:

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{m + MR_0}{K}} \quad (1)$$

en que:

T = período fundamental* del estanque, modificado por la presencia del agua;

m = masa de la cuba y accesorios más una fracción de la masa de la estructura soportante;

M = masa del agua;

k = rigidez de la estructura soportante o constante elástica;

R_0 = coeficiente de reducción de la masa del agua.

La fórmula (1) es una primera aproximación que se basa en reducir el sistema agua-estanque a un oscilador simple (un grado de libertad). Para una teoría más exacta se pueden consultar Refs.^{2,7,8}.

No obstante que, a primera vista, esta

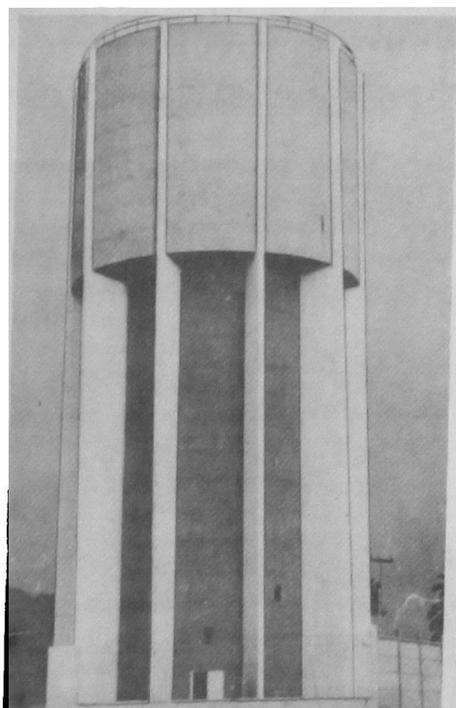


Fig. 16. Estanque Nº 14. El estanque Nº 15 es idéntico al Nº 14.

*Se ha preferido conservar el nombre de fundamental para este período, a pesar de que la presencia del agua introduce otros períodos que, por lo general, son considerablemente mayores.

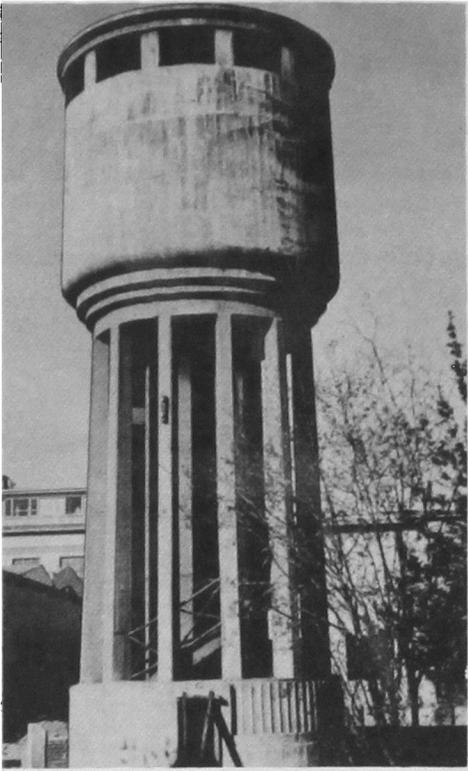


Fig. 17. Estanque Nº 16.

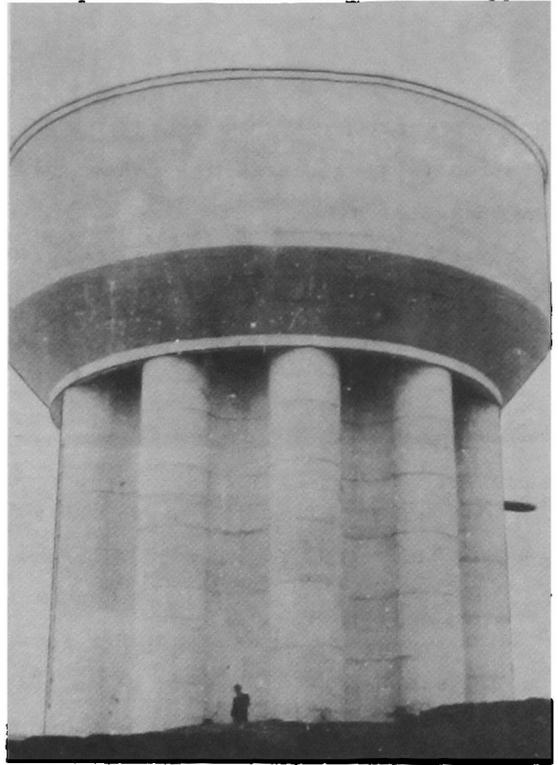


Fig. 18. Estanque Nº 17.

primera aproximación puede parecer demasiado burda, resulta suficiente en la práctica para el cálculo del período propio.

El coeficiente R_0 fue introducido por uno de los autores en 1948². Su expresión es:

$$R_0 = 1 - \frac{D}{h} \sum_i \frac{\operatorname{tgh}(k_i h)}{\lambda_i (\lambda_i^2 - 1)} \quad (2)$$

en que:

D = diámetro interior de la cuba;

h = altura, o altura media, de la superficie del agua sobre el fondo;

λ_i = raíces de la ecuación $J'_1(x) = 0$, en que $J'_1(x)$ es la derivada respecto a x de la función de Bessel; $J_1(x)$.

$$k_i = \frac{2\lambda_i}{D}$$

El valor de R_0 aparece en el gráfico de la Fig. 21 en función del parámetro

$$\frac{\pi h}{D} = \frac{4V}{D^3}, \text{ en que } V \text{ es el volumen del agua.}$$

Una expresión aproximada de R_0 , suficiente para gran parte de las aplicaciones, ha sido dada en Ref¹²:

$$R_0 \approx 1 - \left(\frac{2}{\pi}\right)^3 \frac{D}{h} \operatorname{tgh}\left(\frac{\pi h}{D}\right) \quad (3)$$

Tres estanques, los nº 1, 15 y 16 fueron ensayados para diferentes contenidos de agua. Estos tres casos pueden servir para una comprobación de las fórmulas (1) y (2).

No se ha hecho el cálculo del período propio del estanque nº 1, porque resulta un tanto laborioso. Pero de la ecuación (1) se deduce que la razón entre los períodos del estanque con agua y del estanque vacío es:

$$\sqrt{1 + R_0 \frac{M}{m}} \quad (4)$$

Haciendo el cálculo con los datos de la Tabla I, ($V = 55 \text{ m}^3$ y $D = 4,90 \text{ m}$) resulta $R_0 = 0,62$.

El peso mg se compone del peso de la cuba, que es de 8,0 ton; más una fracción del peso de la estructura soportante, que es de 5,0 ton. Por consideraciones relativas a la forma de la elástica de la estructura soportante se ha estimado esta fracción en $\frac{1}{3}$. De aquí resulta que

$$mg = 8,0 + \frac{1}{3} 5,0 = 9,67 \text{ ton.}$$

Luego la razón entre los períodos es 2,12.

La razón entre los períodos observados es 0,55: 0,272 = 2,02

Para el estanque nº 15 se midieron los períodos correspondientes a contenidos de 0 m^3 , 1165 m^3 y 1370 m^3 , obteniéndose, respectivamente: 0,340, 0,390 y 0,399 seg.

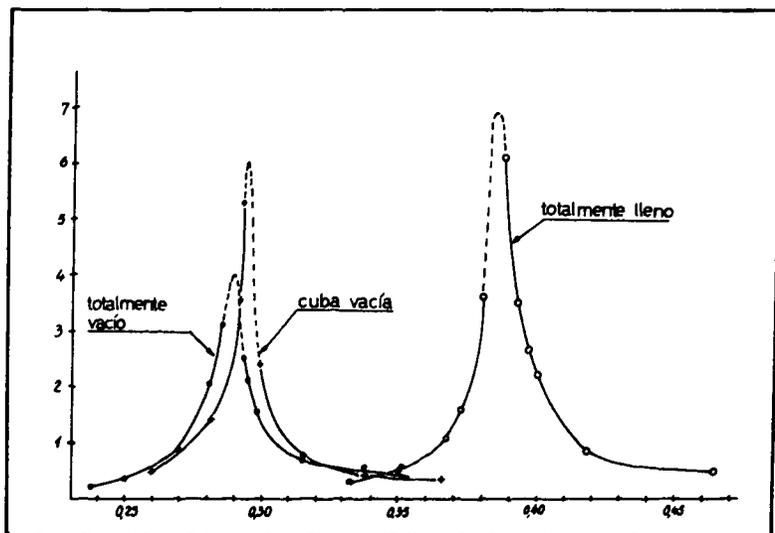


Fig. 19. Curvas de resonancia del estanque Nº 16, para 3 niveles distintos de agua.

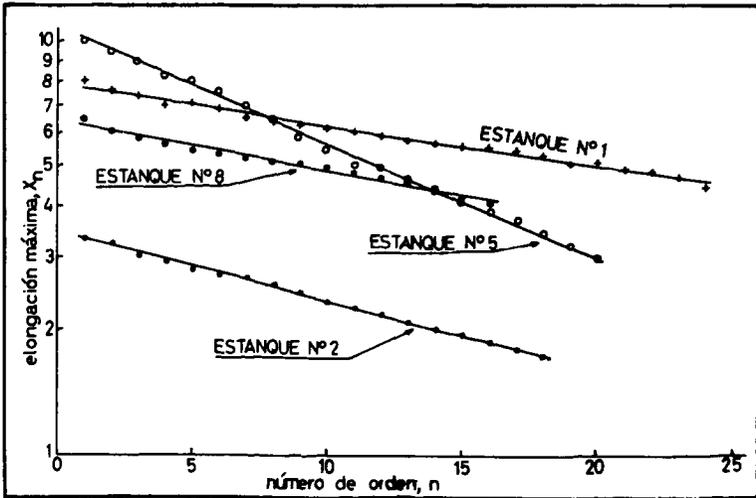


Fig. 20. Gráfico de determinación del amortiguamiento por medio del decremento logarítmico. (Para los estanques ensayados por el método b).

Si se supone que a la masa de la cuba deben agregarse los $\frac{33}{140}$ de la masa de la estructura soportante, y se calcula de acuerdo con (4) la relación entre los períodos para el estanque vacío y con 1165 m³ y 1370 m³ de agua, se encuentra que dichos períodos son entre sí como 1 : 1,22 : 1,30. Los valores medidos dan la relación 1 : 1,15 : 1,17.

Como ya se dijo, el estanque nº 16 consistía en una cuba y un tubo vertical que también hace de depósito. Fue ensayado para tres contenidos diferentes: totalmente vacío; con la cuba vacía y el tubo lleno, y totalmente lleno. Los valores medidos para los períodos son, respectivamente, 0,290; 0,294 y 0,385 seg.

En el caso en que sólo el tubo está lleno, se ha calculado R₀ para una profundidad de agua igual a la altura del tubo. En el caso en que la cuba está llena, el agua contenida en el tubo se ha considerado como una masa inerte y se ha usado en el cálculo de R₀ el valor de h correspondiente a la altura de agua en la cuba. Empleando la fórmula (4), como se ha hecho para el estanque, la relación entre períodos, para los tres contenidos de

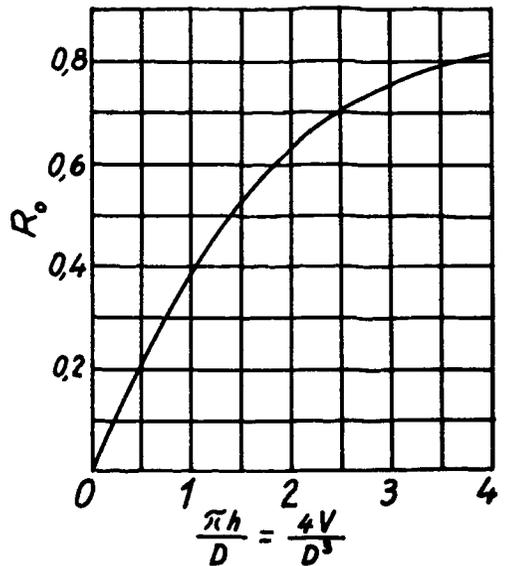


Fig. 21. Valor del coeficiente de reducción R₀ en función de $\frac{4V}{D^3}$.

agua, sería 1 : 1,07 : 1,44. Los valores medidos se encuentran en la relación 1 : 1,01 : 1,22.

El cálculo del valor absoluto de los períodos requiere conocer la rigidez de la estructura soportante, para cuyos cálculos remitimos al lector a Ref. (9). En ellos interviene el módulo de elasticidad del material. En el caso de los estanques de acero este módulo es conocido y el cálculo da valores prácticamente coincidentes con los medidos, (véase Tabla I, estanques 2 y 3).

TABLA I
ESTANQUES DE ACERO

Número	1		2	3	4
Capacidad, m ³	100		100	100	80
Altura del fondo de la cuba sobre la fundación, m	17,75		20,5	17,5	—
Dimensiones generales de la cuba,					
Altura (H) m	5,00		3,00	3,00	—
Diámetro (D) m	4,90		6,75	6,75	—
Peso de la cuba ton.	8,0		12,5	12,5	—
Peso de la estructura soportante, ton.	5,0		13,7	12,9	—
Contenido, m ³	0	55	0	100	—
Período observado, seg (método (a))	0,272	0,55	0,570	1,04	0,93
Período calculado, seg	Ver texto	Ver texto	0,582	1,01	—
Amortiguamiento $100 \frac{c}{c_c}$	0,24	0,35	0,60	—	—

En el caso de los estanques de hormigón armado, el módulo de elasticidad no es conocido y puede oscilar entre límites amplios. Se ha hecho el cálculo del período con valores de E de 210.000 y 300.000 kg/cm² para los estanques 5, 6, 7, 14, 15 y 16 (Tablas II y IV), se puede observar que el período medido se encuentra próximo a alguno de los dos valores así calculados en cada caso.

Influencia del contenido de agua sobre el amortiguamiento

Para los estanques nº 1, 15 y 16 el amortiguamiento se determinó con diferentes contenidos de agua. En todos los casos se encontró que el amortiguamiento aumenta con el contenido, aunque dicho aumento no es de gran importancia (ver Tablas I y IV).

TABLA II

ESTANQUES DE HORMIGON ARMADO
SOPORTADOS SOBRE PILARES

Número	5	6	7	8	9
Capacidad, m ³	208	500	2.000	600	85
Dimensiones generales de la cuba					
Altura (H), m	4,00	4,80	7,85	5,3	—
Diámetro (D), m	9,50	11,50	18,0	12,0	—
Peso de la cuba, ton.	95,5	144,5	540	—	—
Peso de la estructura soportante, ton.	90,5	234,5	182	—	—
Contenido, m ³	245	50	1.560	600	85
Período observado, seg					
método (a)	0,426	0,358	1,025	0,348	0,835
método (b)	0,430	0,360	—	0,350	0,838
Período calculado, seg					
para E=300.000 kg/cm ²	0,42	0,34	0,81	—	—
para E=210.000 kg/cm ²	0,50	0,41	0,97	—	—
Amortiguamiento,					
$100 \frac{c}{c_c}$	1,0	0,37	—	0,42	0,78

TABLA III

ESTANQUES DE HORMIGON ARMADO SOPORTADOS SOBRE UN TRONCO DE CONO

Número	10	11	12
Capacidad, m ³	300	300	1000
Altura del matotronco cónico sobre la fundación, m	15,80	15,20	20,80
Dimensiones generales de la cuba			
Altura (H), m	4,05	4,73	6,13
Diámetro (D), m	9,70	9,00	14,40
Peso de la cuba ton.	81,5	91,5	274
Peso del manto tronco cónico, ton.	192,5	176,5	346
Contenido, m ³	0	230	800
Período observado			
Método (a)	0,160	0,213	0,222
Método (b)	0,135	0,205	0,220
Amortiguamiento			
$100 \frac{c}{c_c}$	3,5	2,1	4,9

Registros obtenidos en los "pull-back tests"

Estos registros son interesantes porque revelan que en las pruebas con cable el sistema no se comporta como un oscilador simple (un grado de libertad) aunque la cuba se encuentre vacía. La única explicación plausible es que, junto con la vibración de la estructura sobre su fundación, considerada como si esta última estuviera fija, se ha excitado una vibración del estanque como conjunto, consistente en un balanceo de todo el sistema sobre la fundación.

La primera vibración tiene un período breve y un amortiguamiento relativamente pequeño (los períodos

son de 0,135 seg, 0,205 seg y 0,220 seg, y los amortiguamientos de 3,5%, 2,1% y 4,9%, para los estanques nº 10, 11 y 12, respectivamente).

En cambio, la segunda vibración es más lenta, y fuertemente amortiguada.

El alto valor del amortiguamiento se explicará por disipación de energía hacia el suelo de fundación. Por otra parte, en este caso, las fuerzas disipativas no se pueden asimilar a un amortiguamiento viscoso. Para un análisis más detallado remitimos al lector a Ref. (9).

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen la colaboración de las siguientes instituciones: Instituto de Geofísica y Sismología, Instituto de Investigaciones y Ensayes Eléctricos, que facilitaron equipo, instrumental y ayuda de su personal especializado; a la Empresa Nacional de Electricidad S.A. (ENDESA) que facilitó el camión con huinche para las pruebas con cable; a la Dirección de Obras Sanitarias del

TABLA IV

ESTANQUES DE HORMIGON ARMADO, CUYA ESTRUCTURA SOPORTANTE ESTA CONSTITUIDA POR UN MANTO CILINDRICO CON PILARES O DIAFRAGMAS VERTICALES

Número	13	14	15			16			17
Capacidad, m ³	350	2.000	2.000			150			2.500
Altura de estructura soportante, m	-	27	27			11			15
Dimensiones generales de la cuba:									
Altura (H), m	-	10,40	10,40			3,55			8,0
Diámetro (D), m	-	15,70	15,70			5,85			20,0
Peso de la cuba, ton.	-	825	825			59			625
Peso de la estructura soportante, ton.	-	872	872			32,5			367
Contenido, m ³	350	1.360	0	1.165	1.370	0	54	150	2.315
Período observado, seg:									
Método (a)	0,525	-	-	-	-	-	-	-	-
Método (b)	0,535	-	-	-	-	-	-	-	-
Método (c)	-	0,385	0,340	0,390	0,399	0,290	0,294	0,385	0,255
Período calculado, seg:									
para E=300.000 kg/cm ²	-	0,361	0,335	0,410	0,431	0,286	0,306	0,412	-
para E=210.000 kg/cm ²	-	0,431	0,277	0,339	0,361	0,316	0,338	0,455	-
Amortiguamiento									
100 $\frac{c}{c_c}$									
Método (b)	1,6	-	-	-	-	-	-	-	-
Método (c)	-	1,40	0,95	-	1,22	0,58	0,64	0,68	1,54

Ministerio de Obras Públicas que proporcionó copias de los planos de los estanques calculados por esa repartición, y al Ing. Alfredo López, que facilitó los planos de las estructuras calculadas por su oficina.

REFERENCIAS

- 1.- L.M. HOSKINS y L.S. JACOBSEN: Water pressure in a tank caused by a simulated earthquake, Bull. seism. Soc. Am., vol. 24 (1934) pp. 1 - 32.
- 2.- A. ARIAS: Oscilaciones de un estanque elevado; Memoria de prueba para optar al título de ingeniero civil, Universidad de Chile, (1948), 360 pp. mecanografiado.
- 3.- L.S. JACOBSEN: Impulsive hydrodynamics of fluids inside a cylindrical tank and of a fluid surrounding a cylindrical pier, Bull. seism. Soc. Am., vol. 39, (1949), pp. 189 - 204.
- 4.- L.S. JACOBSEN y R.S. AYRE: Hydrodynamic experiments with rigid cylindrical tanks subjected to transient motions. Bull. seism. Soc. Am., vol. 41 (1951), pp. 313 - 346.
- 5.- G.W. HOUSNER: Dynamic pressures on accelerated fluid containers. Bull. seism. Soc. Am., vol. 47 (1957), pp. 15 - 35.
- 6.- G.W. HOUSNER: The dynamic behavior of water tanks. Bull. seism. Soc. Am., vol. 53 (1963), pp. 381 - 387.
- 7.- S. MORAN: Respuesta sísmica en estanques elevados de acero. Memoria de prueba para optar al título de ingeniero civil, Universidad de Chile. 1963; 115 pp., multilith.
- 8.- S. MORAN: Estudio del comportamiento dinámico de estanques elevados de acero. Trabajo presentado a las Primeras Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica. Santiago, 1963.
- 9.- P. MELLER: Determinación experimental del período propio y del amortiguamiento de los estanques elevados de Santiago. Memoria de prueba para optar al título de ingeniero civil, Universidad de Chile., Santiago de Chile 1963; 117 pp., mimeografiado.
- 10.- J. A. BLUME: A machine for setting structures and ground into forced vibration. Bull. seism. Soc. Am., vol. 25 (1935) pp. 361 - 380.
- 11.- U.S. COAST and GEODETIC SURVEY: Earthquake investigations in California 1934-1935. Special Pub. 201 (1936).
- 12.- A. ARIAS y R. HUSID: Proyecto de norma de cálculo antisísmico de edificios. Revista del IDIEM., vol. 1, n° 2, junio 1962.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF NATURAL PERIODS AND DAMPING OF ELEVATED WATER TANKS LOCATED IN SANTIAGO

SUMMARY:

Measurements of natural periods of 17 elevated water tanks located in Santiago are reported. Damping was also measured for 14 of these tanks.

Results are used testing a formula connecting the natural period with the quantity of water of the tank.