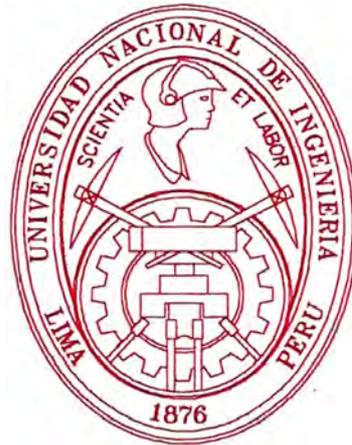


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA RIGIDEZ Y
RESISTENCIA DE LOSAS ALIGERADAS SUJETAS
A FUERZAS CORTANTES EN SU PLANO**

TESIS

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO CIVIL

MIGUEL YSAAC CESPEDES BRAVO

LIMA - PERU

1996

A
Mariana
Con todo mi cariño
Por su Inigualable apoyo.

***A mis Padres:
Miguel A. y Noemí U.
A mis hermanos
Ruth N., Juan C., José D.,
Esther H. y Andy
Con mucha gratitud.***

***A mi Tía Carmela Coz
y al Dr. Andrés Lucen y esposa
Por todo el apoyo.***

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero dar gracias a Dios.

Asi mismo expresar mi Sincera gratitud y reconocimiento al Dr Ing. Hugo Scaletti F. por su asesoramiento y el apoyo brindado por el desarrollo de este estudio.

Al Director del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) en la persona del Dr. Javier Piqué.

Al Jefe del laboratorio de Estructuras el Ing. Jorge Gallardo y al Jefe del Centro de Cómputo el Ing. Victor Rojas.

A mis amigos Ing. Sonia Ramos, Ing. Gladys Cuadros, Ing. Oscar Anicama, Ing. Sergio Herrera, Ing. Jhon Delgadillo, Ing. Augusto Gamarra, Ing. Wilber Delgado. Especialmente al Ing. Jorge Porras, Ing. Raquel López, Raquel Soldevilla, Hugo Crisanto, Angel Gómez, César Alvarado, y Jose Santos Ojeda.

A mis amigos Técnicos del laboratorio Sr. Senen Miguel, German Bautista y Saúl Pinedo y a todas las personas que de alguna manera apoyaron en la elaboración de este trabajo.

SUMARIO

Este estudio se refiere a la investigación experimental del comportamiento de losas aligeradas de concreto armado, evaluando su rigidez y resistencia y la degradación de estas propiedades cuando las losas son sometidas a fuerzas cortantes en su plano.

Se construyeron cuatro especímenes de espesores comunes (17 y 20 cm.) con una dimensión en dirección de las viguetas equivalentes a la mitad de la luz de 3.5 m.

Los especímenes se ensayaron en posición vertical como muros de corte, suponiendo que los esfuerzos debidas a cargas perpendiculares al plano de las losas tienen poca incidencia en las propiedades estudiadas. Esto facilitó la colocación de los especímenes en la losa de ensayo. Los ensayos se realizaron aplicando la carga en dirección de las viguetas y en dirección perpendicular a éstas.

Este trabajo presenta los resultados de los ensayos estáticos cíclicos y los compara con los valores obtenidos de un modelo numérico tridimensional por el método de los elementos finitos, sobre esta base puede reconsiderarse la aplicabilidad de la hipótesis de losa infinitamente rígida. Se concluye que la losa aligerada típica tiene un comportamiento marcadamente no lineal y moderadamente ductil al corte, presentando una rigidez distinta en las dos direcciones, con rigideces importantes. La validéz de la hipótesis de losa infinitamente rígida depende de los elementos que la losa conecta.

Las discrepancias con los resultados teóricos son debidas a la sobrestimación del módulo de elasticidad, al módulo de corte, al considerar la losa como un elemento isotrópico y a las condiciones de apoyo y de carga.

Aunque, por el número de especímenes, los resultados estadísticamente no son los suficientemente representativos, podrán usarse como un antecedente para posteriores estudios en este campo.

INDICE

INDICE

SUMARIO

CAPITULO I INTRODUCCION

1.1	Justificación y alcances del estudio	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Organización de la tesis	3

CAPITULO II PLAN DE ENSAYOS

2.1	Características de los especímenes	5
	a.-Losa aligerada tipo LA20VPC	5
	b.-Losa aligerada tipo LA17VPC	5
	c.-Losa aligerada tipo LA20VDC	5
	d.-Losa aligerada tipo LA17VDC	5
2.2	Método de ensayo: Ensayo estático con carga lateral cíclica	6
2.3	Equipo de ensayo utilizado	8
	a.- El sistema de carga	8
	b.- El sistema de medición	9
	c.- El sistema de control	10
2.4	Montaje del espécimen	11
2.5	Instrumentación	12
2.6	Procedimiento de ensayo	13

CAPITULO III DISEÑO DE LOS ESPECIMENES Y CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

3.1	Diseño de los elementos estructurales	18
3.1.1	Diseño de la losa aligerada	18
a.-	Especificaciones	18
b.-	Metrados de carga	18
c.-	Diseño	19
d.-	Acero por temperatura	21
3.1.2	Diseño de la viga de anclaje	22
a.-	Metrados de carga	22

	b.- Diseño	23
	c.- Diseño de la barra de izaje	23
	d.- Verificación del desplazamiento de la viga de anclaje	24
	e.- Verificación por aplastamiento	25
	3.1.3 Diseño de la viga de aplicación de carga	26
3.3	Materiales - Pruebas de laboratorio	26
	3.2.1 De los agregados	27
	3.2.2 Diseño de mezcla	28
	3.2.3 Del ladrillo hueco de arcilla para losa aligerada	29
	a.- Criterios de selección	29
	b.- Tipos de unidad	29
	c.- Características de las unidades	30
	d.- Ensayos en las unidades	30
	e.- Propiedades	30
	3.2.4 Del acero de refuerzo	31
	a.- Características del acero utilizado	31
	b.- Muestreo y ensayos	31
3.3	Proceso constructivo	32
3.4	Montaje del espécimen	33

CAPITULO IV RESULTADOS EXPERIMENTALES

4.1	Historia de desplazamientos	36
4.2	Resultado de las cargas cíclicas	36
4.3	Mecanismos de falla	37
4.4	Patrones de agrietamiento	37
	4.4.1 Descripción	37
4.5	Comportamiento en la etapa inicial	41
4.6	Degradación estructural	46
	4.6.1 En la resistencia	46
	4.6.2 En la rigidez	47
4.7	Disipación de energía	47
4.8	Amortiguamiento histerético	48
4.9	Ductilidad	49
	4.9.1 Indicadores de ductilidad	49
4.10	Relación de deformación del acero de refuerzo	51
4.11	La roseta de deformaciones	52
4.12	Comentarios finales	54

CAPITULO V COMPARACION CON RESULTADOS TEORICOS

5.1	Determinación de la carga de falla	56
5.2	Estudio teórico usando elementos finitos	57
5.2.1	Relaciones básicas de teoría de elasticidad	58
5.2.2	Las ecuaciones desplazamiento - deformación	59
5.2.3	Energía de deformación	60
5.3	Estimación de la rigidez	62
5.4	Determinación de los esfuerzos de corte	63

CAPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1	Observaciones	66
6.2	Recomendaciones	68
6.3	Conclusiones	69

ANEXO

a.-	Esquemas	70
b.-	Gráficos	76
c.-	Fotografías	117
d.-	Láminas	127
e.-	Otros	143

BIBLIOGRAFIA	149
---------------------	------------

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 JUSTIFICACION Y ALCANCES DEL ESTUDIO

En los edificios de muros portantes de mampostería y en las estructuras aporticadas de concreto armado, las losas horizontales tienen como función principal la de soportar las cargas verticales y transferirlas a los muros o pórticos. Las losas "aligeradas" son de uso común; en éstas la disposición de los diversos elementos responde justamente a la necesidad de mayor eficiencia en esta función principal, tratándose de incrementar la capacidad de carga vertical en relación al peso propio.

Sin embargo, las losas tienen un papel importante en la resistencia y rigidez de las edificaciones cuando éstas son sometidas a fuerzas laterales, como las originadas por un sismo. En tales casos las losas constituyen un elemento integrador, que permite aprovechar la rigidez y resistencia de todos los elementos verticales y en alguna medida evita colapsos a nivel local.

La mayor parte de los procedimientos de análisis sísmico suponen que la deformación de las losas debida a acciones en su plano es despreciable, es decir, se trata a las losas como diafragmas infinitamente rígidos. Esta hipótesis puede ser adecuada tratándose de losas macizas de concreto armado, pero podría no describir apropiadamente el comportamiento real tratándose de losas

aligeradas con las dimensiones típicas. Este tema, si bien se reconoce como muy importante, ha sido poco estudiado.

Este estudio se refiere a la investigación experimental de la rigidez y la resistencia de losas aligeradas de concreto armado sometidas a fuerzas cortantes en su plano. Adicionalmente se desarrollaron modelos numéricos con elementos finitos tridimensionales, con el propósito de interpretar mejor los resultados de los ensayos y eventualmente extender las conclusiones a situaciones distintas de las ensayadas. Esta investigación se realizó como parte de un programa en el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, con el apoyo de la Agencia Internacional de Cooperación del gobierno del Japón (JICA).

Se ensayaron especímenes con losas aligeradas de 17 cm y de 20 cm de espesor total, que son representativos de los casos más frecuentes. Se supuso que los esfuerzos debidos a las cargas verticales tienen poca influencia en la rigidez y resistencia al corte en el plano de la losa, por lo que los especímenes fueron ensayados en posición vertical, como si fueran muros de corte. Esto facilitó la fijación de los especímenes a la losa de ensayo y la colocación de los actuadores contra el muro de reacción del laboratorio, utilizando accesorios ya existentes.

El programa de ensayos se limitó a cuatro especímenes, dos de cada uno de los espesores mencionados, y en cada caso uno de los ensayos se realizó con las viguetas en dirección horizontal (paralela al actuador) y el otro con las viguetas en posición vertical (perpendicular a la dirección del actuador). A pesar de trabajarse con una muestra muy pequeña, se estima que algunos aspectos del comportamiento, consistentemente observados en todos los ensayos, son válidos en general; en otros casos los resultados cuantitativos pueden considerarse como una estimación preliminar, que podría confirmarse con un mayor número de ensayos.

1.2 OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es estudiar el comportamiento de losas aligeradas de concreto armado sometidas a fuerzas cortantes en su plano, evaluando su rigidez y resistencia, así como la posible degradación de esas propiedades frente a acciones cíclicas.

Sobre la base de esta información puede reconsiderarse la aplicabilidad de la hipótesis de losa rígida en los distintos casos.

1.3 ORGANIZACION DE LA TESIS

Para cumplir con los objetivos prescritos, se organizó la tesis de tal forma que el desarrollo sea comprensivo.

En el capítulo II se explica el porque del ensayo elegido para los especímenes con sus diferentes características, que conlleve a obtener los resultados de los parámetros directamente.

Detalla el fundamento teórico, la descripción del método, así mismo todo lo necesario para llevar a cabo dicho ensayo.

Se explica como se usó cada equipo de ensayo, con una breve descripción del montaje e instrumentación; además se dan las recomendaciones necesarias en la instrumentación y el procedimiento de ensayo propiamente dicho.

En el capítulo III trata sobre el diseño estructural de cada elemento que constituye al espécimen así como la construcción de estos, realizando un estudio previo sobre sus componentes como son los agregados, cemento, agua, acero y ladrillo de techo.

También se explica como se tomaron en cuenta el diseño del montaje en la elección del tamaño del espécimen.

En el capítulo IV se presentan los resultados experimentales de los parámetros buscados como rigidez y resistencia y la degradación de estas propiedades como resultado de las cargas cíclicas. En el capítulo V se presentan y discuten algunos resultados teóricos.

Se terminará con el capítulo VI que son las conclusiones y recomendaciones de la presente tesis.

CAPITULO II

PLAN DE ENSAYOS

El Laboratorio de Estructuras del CISMID realiza investigaciones tanto teóricas como experimentales en problemas estructurales, contando para este fin con una moderna infraestructura de experimentación, además del personal capacitado.

La investigación teórica regularmente recurre a modelos matemáticos simplificados que deben ser comprobados experimentalmente, o en otros casos a modelos más rigurosos cuyos parámetros deben ser también obtenidos observando el comportamiento de estructuras reales. En ambos casos es importante la investigación de laboratorio, preferentemente con especímenes a escala natural, más aún cuando se pretende estudiar el comportamiento en el rango no lineal.

Este capítulo trata de las técnicas de ensayo estructural utilizadas, su fundamento teórico, los equipos de ensayo, la instrumentación y el proceso de ensayo propiamente dicho.

Con el correcto montaje, instrumentación y la verificación cuidadosa de todo el equipo de ensayo, se puede encontrar la información más cercana a la real, para evaluar el comportamiento de la estructura al aplicar las cargas.

2.1 CARACTERISTICAS DE LOS ESPECIMENES

Se investigaron un total de cuatro (4) especímenes de losas aligeradas.

Las características de los especímenes se describen a continuación

a.- Losa aligerada tipo LA20VPC :

Este espécimen es representativo de la losa aligerada típica y se utilizó como patrón de comparación para evaluar la influencia de los diversos parámetros.

El espécimen consta de una viga de anclaje, la losa aligerada misma y la viga de aplicación de carga (Lámina N° 1).

La porción de losa tiene 180 cm de altura, 250 cm de largo y 20 cm de espesor con viguetas perpendiculares a la carga lateral (de donde viene la denominación VPC) y se construyó con ladrillos huecos de arcilla cocida de 15 x30 x30 cm.

b.- Losa aligerada tipo LA17VPC :

Es similar al tipo LA20VPC con las mismas características de ensayo y orientación de viguetas y tamaño, variando solo en el espesor de la losa que es de 17 cm y con ladrillos huecos de arcilla de 12 x30 x30 cm (Lámina N° 1).

c.- Losa aligerada tipo LA20VDC :

El espécimen LA20VDC, a diferencia de los anteriores, es de 170 cm de altura ,250 cm de largo con 20 cm de espesor. Varía en la posición de las viguetas que están en dirección de la carga (VDC)(Lámina N° 2).

d.- Losa aligerada tipo LA17VDC :

Este modelo es casi similar a la LA20VDC, variando en el espesor de la losa que es de 17 cm (Lámina N° 2). En el siguiente cuadro se resumen las medidas de cada elemento de los especímenes nombrados.

CUADRO N° 1

DIMENSIONES DE LOS ESPECIMENES

ELEMENTO		LA17VPC	LA20VPC	LA17VDC	LA20VDC
LOSA ALIGERADA	ESPESOR	17 cm	20 cm	17 cm	20 cm
	ALTURA	180 cm	180 cm	170 cm	170 cm
	LARGO	250 cm	250 cm	255 cm	255 cm
VIGA DE APLICACION DE CARGA	ANCHO	60 cm	60 cm	60 cm	60 cm
	PERALTE	25 cm	25 cm	25 cm	25 cm
	LARGO	250 cm	250 cm	255 cm	255 cm
VIGA DE ANCLAJE	ANCHO	90 cm	90 cm	90 cm	90 cm
	PERALTE	50 cm	50 cm	50 cm	50 cm
	LARGO	280 cm	280 cm	280 cm	280 cm

2.2 METODO DE ENSAYO : ENSAYO ESTATICO CON CARGA LATERAL CICLICA

Este tipo de ensayo fue escogido porque la aplicación de fuerzas y desplazamientos se desarrolla lentamente y por lo tanto permite observar secuencialmente el mecanismo de formación de fisuras y la falla. Se pueden evaluar parámetros de comportamiento de manera más directa.

Entre los aspectos que deben ser estudiados están

- La rigidez inicial
- La degradación de rigidez y resistencia
- La energía que se almacena en la estructura
- El amortiguamiento histerético
- La ductilidad
- La distribución de esfuerzos en los diversos elementos, en particular en la losa de concreto y en el acero de refuerzo.

Los especímenes fueron ensayados en posición vertical. Esto no corresponde directamente a la situación real, en la que las losas aligeradas son horizontales o casi horizontales. Se ha supuesto que la interacción entre los esfuerzos de flexión y de corte debidos a cargas verticales y los esfuerzos de corte en el plano de la losa es pequeña. Esta hipótesis es correcta en el rango lineal y se presume que los errores cometidos en la estimación de la capacidad última son pequeños.

El ensayo en posición vertical evitó una serie de dificultades para apoyar el espécimen. Si este se hubiera ensayado en posición horizontal se habrían requerido apoyos tales que impidan el desplazamiento vertical (para evitar la flexión en la losa) pero sin introducir fuerzas horizontales significativas, lo que es difícil de conseguir. En cambio, en el ensayo en posición vertical fue suficiente fijar el espécimen a la losa de reacción, es decir en la parte inferior. En el extremo superior solo se colocaron guías, separadas del espécimen, para evitar un posible colapso lateral en la etapa final del ensayo.

Siendo el objetivo estudiar el comportamiento de las losas frente a acciones cortantes en su plano, se aplicaron fuerzas horizontales en la parte superior del espécimen.

Por las proporciones de los elementos ensayados, las acciones cortantes fueron las más significativas. Sin embargo, los especímenes quedaron también sometidos a un momento flector (linealmente variable desde el extremo superior). Diversos intentos de ensayo agregando tirantes verticales para minimizar la flexión, teniéndose realmente un estado de compresión diagonal, no produjeron los resultados esperados. Por lo tanto, estos dispositivos solo fueron utilizados para el primer espécimen estudiado (LA20VPC).

Los equipos utilizados permiten controlar los ensayos bien sea por desplazamiento o por fuerza. En este caso se decidió por la primera alternativa, por considerarse que con ello se podía controlar el ensayo más adecuadamente, particularmente en la etapa final en la que se podría tener rigidez decreciente.

Los ensayos se planificaron para tener una serie de ciclos con amplitud creciente. La historia de desplazamiento se estableció originalmente sobre la base de estimaciones simples para la rigidez y resistencia de la losa. Como resultado de las observaciones en el primer ensayo, se modificó esta historia en las siguientes etapas del estudio.

Los detalles de estos desplazamientos "objetivo" y de los realmente aplicados se discuten en capítulo IV.

2.3 EQUIPO DE ENSAYO UTILIZADO

a.- El sistema de carga, compuesto por :

La losa de ensayo : Que sirve de apoyo a la cimentación del espécimen. En el laboratorio de estructuras del CISMID esta losa es de concreto pretensado, de 11 m de ancho, 22 m de largo y 0.8 m de espesor. Soporta una carga distribuida de hasta 10 t/m² y un momento flector máximo de 15 t m.

La losa tiene conductos verticales de 10 cm de diámetro a través del espesor de la losa, espaciados en ambas direcciones a 60 cm .

El muro de reacción : Es una estructura de concreto pretensado de 9 m de alto. La sección transversal es de tipo cajón, de 11 m por 4.50 m, con paredes y diafragmas de 0.80 m de espesor. Soporta 450 t por corte y 3300 t m por flexión.

También en esta estructura se tienen conductos a través del espesor del muro, de 10 cm de diámetro y espaciados cada 60 cm en ambas direcciones.

El marco de aplicación de carga, así como la base del espécimen, se anclan a la losa de ensayo y al muro de reacción por medio de estos conductos, utilizando pernos de alta resistencia ($f_y = 8400 \text{ Kg/cm}^2$) que son tensados haciendo uso de gatas hidráulicas.

Actuadores "SHIMADZU" : Cuya finalidad es aplicar las fuerzas a los especímenes. En el CISMID se cuenta con 4 actuadores con una capacidad máxima de 50 t y ± 200 mm de carrera del émbolo.

Cada actuador está equipado con una celda de carga para la medición de la fuerza aplicada y un transductor de desplazamiento interno ("STROKE"), detector que mide el desplazamiento del émbolo del pistón.

Los actuadores van sujetos por un lado al marco de carga y por otro lado al muro de reacción. Poseen rótulas tanto en la base como en el cabezal, con cierta libertad de movimiento o giro en ambos extremos.

El panel controlador "SERVO - PULSER" : Que dirige los movimientos del actuador y la unidad electro-hidráulica, mediante un sistema de realimentación.

Este equipo puede ser controlado por desplazamiento, fuerzas o aceleraciones con rangos de desplazamiento desde + 20 mm a + 200 mm y rangos de carga de + 5 t a + 50 t.

La servo válvula : Es una parte muy importante en el control de la máquina electro-hidráulica de prueba. Es accionada por una señal eléctrica. La válvula del servo permite corregir el flujo de aceite en el sistema para igualar la posición (o la fuerza) en el actuador con el objetivo

requerido.

La unidad electro - hidráulica : Cuya función es de impulsar a los actuadores (por medio de una bomba hidráulica) de un flujo constante de aceite para efectuar el empuje al émbolo del actuador (de acuerdo a la presión indicada por la servo válvula incrementa o disminuye la carga y el aceite necesario entrará por una manguera, mientras que el excedente saldrá por la otra). Es capaz de enviar 51 l/min de flujo de aceite a una presión de 210 Kg/cm². Esta unidad está controlada por la servo válvula.

Estas dos determinan la velocidad máxima del pistón de los actuadores para el equipo del CISMID es del orden 2 mm por segundo.

b.- El sistema de medición, constituido por

Transductores : Estos son dispositivos que permiten convertir una cantidad mecánica (desplazamiento o deformación, fuerza) en una diferencia de potencial eléctrico.

Los transductores de desplazamiento pueden ser de distinto tipo. La mayor parte son esencialmente transformadores (de allí su denominación común como LVDT, que corresponde a las iniciales del inglés **Linear Voltage Displacement Transducer**) en los que el voltaje depende de la posición de un núcleo, que se desplaza con el espécimen, en relación a un embobinado, que se fija a un punto de referencia. Para los ensayos se usaron transductores con rangos de ± 10 mm, ± 25 mm, ± 50 mm, ± 100 mm y ± 200 mm, seleccionados según los desplazamientos máximos previstos. En algunos casos se usaron transductores provistos de resortes que se instalan de modo que siempre estén comprimidos contra el espécimen; en otros casos se usaron dispositivos que permiten el libre movimiento del núcleo en uno y otro sentido.

Las deformaciones unitarias, pueden ser medidas mediante galgas de deformación (Strain Gages). Estas están constituidas por resistencias que, junto con otras en los dispositivos de acondicionamiento y amplificación de la señal constituyen un "PUENTE WHEATSTONE". En la condición inicial el puente esta "balanceado" teniéndose una diferencia de potencial nula entre dos puntos. Al ocurrir deformación, las resistencias adheridas al espécimen cambian de valor, desbalanceando el puente, lo que indirectamente permite determinar la deformación unitaria.

Las celdas de carga son dispositivos que miden indirectamente la fuerza aplicada, por medio de la deformación de un elemento de acero apropiadamente calibrado. Para los ensayos

realizados se utilizaron celdas de carga con una capacidad nominal de 50 t, que son parte integrante del sistema de actuadores.

Equipos de acondicionamiento y amplificación de las señales :

Estos son necesarios para completar los puentes eléctricos de algunos transductores (por ejemplo, las celdas de carga típicas tienen sólo 2 de las 4 resistencias del puente), para alimentar los circuitos eléctricos, filtrar componentes de alta frecuencia (debidas a "ruidos" mecánicos o a interferencias eléctricas) y para amplificar las señales a niveles tales que puedan ser leídas o captadas por otros dispositivos, por ejemplo una computadora digital con tarjetas de conversión A/D.

Unidad de adquisición de datos (UCAM-5B) : Este equipo integra dispositivos de acondicionamiento y amplificación, muestreo de hasta 100 canales de entrada y conversión análogo-digital (A/D), conectándose directamente al computador vía interfase GPIB. La unidad de adquisición puede complementarse con una caja de muestreo (Scanning Box) externa, lo que posibilita la lectura de un número de canales mayor.

Computadora para almacenamiento de los datos : En los ensayos se usó una microcomputadora IBM PS/2 modelo 50.

Como se mencionó anteriormente, la adquisición de datos del UCAM - 5B se realizó directamente por interfase GPIB. Las señales analógicas provenientes de otros equipos, incluyendo el equipo de control de los actuadores, se convirtieron a información digital mediante unidades A/D externas (MARK IB) de 16 canales de 8 bits.

c.- EL SISTEMA DE CONTROL

El equipo de control para los ensayos estáticos en el CISMID está constituido por una computadora IB PS/2 modelo 60 con 16 canales de entrada y 4 de salida que ordena la aplicación del desplazamiento y/o carga.

Esta computadora se comunica con el controlador servo-hidráulico por medio de sus convertidores de señales digitales a la forma analógica o viceversa. La conexión de la computadora con el controlador y con los convertidores D/A y A/D es vía GPIB.

El programa control se ha desarrollado con partes escritas en BASIC y otras en Lenguaje C. La entrada de datos Comprende

- Datos del modelo numérico como historia de desplazamiento o de carga, constantes de inicialización de la carga o desplazamientos etc.

- Datos de controlador "Servo Pulser" como por ejemplo rangos de fuerza y desplazamientos, los canales A/D donde se conectan las celdas de cargas, transductores de desplazamiento interno (actuador) y externo (espécimen) y canal D/A al que se conecta el equipo que controla el desplazamiento del actuador.

Se mejora la función de los convertidores D/A y la capacidad del equipo especificando los rangos de desplazamientos para cada transductor y fuerza para cada actuador (si hubieran más de uno). Esto depende de un estudio analítico previo en el cálculo de la carga de falla y desplazamientos.

2.4 MONTAJE DEL ESPECIMEN

Haciendo uso del puente grúa se ubicó al espécimen en posición vertical levantándolo directamente de las barras de izaje (que fueron diseñadas para este fin).

Se coloca al espécimen de tal forma que el plano de la losa sea perpendicular al plano del muro de reacción y luego se sujeta rígidamente la base del espécimen a la losa de ensayo por medio de pernos de anclaje de alta resistencia, los cuales ingresan por los orificios de la base y la losa de ensayo y son empernados por unas gatas hidráulicas, dándoles la condición de empotramiento.

La fuerza de tensado dada por este aparato obedece al diseño previo, para evitar que la base del espécimen falle por aplastamiento, siendo de 15 t para cada perno.

De este mismo modo se acoplan dos perfiles tipo mecano (C-2) en la parte superior de la viga de aplicación de carga, con la finalidad de distribuir de manera homogénea la fuerza horizontal a través de todo el espécimen.

De igual manera se coloca el marco de aplicación de carga al muro de reacción y a esta se acopla el actuador a la altura de la viga de aplicación de carga.

La conexión del actuador con el espécimen se hace por medio de un perfil de transición (P-12).

Es importante la horizontalidad del actuador y que éste sea paralelo al plano de la losa aligerada.

Se elabora una estructura con perfiles metálicos tipo mecano ("Castillo"), con rodillos que garantice un movimiento horizontal en dirección del plano de la losa y restrinja el movimiento vertical.

Se instalan los transductores de desplazamiento horizontal los cuales en ningún momento estarán en contacto ni con el espécimen ni con el "castillo", para que no distorsionen la medición de estos transductores.

También se hacen cuatro orificios en el plano de la losa aligerada, para instalar los pernos para la

Roseta de transductores llamada también roseta de deformaciones.

En las láminas N° 11, 12, 13, 14 se puede apreciar el montaje del espécimen.

2.5 INSTRUMENTACION

Con el objeto de medir las respuestas en los especímenes, la instrumentación se realizó de la siguiente manera .

- **Colocación de transductores de galgas de deformación en el acero de refuerzo (Strain gages) :**

Estos fueron colocados en el acero de refuerzo, antes de efectuar el vaciado del concreto, en el momento del encofrado.

Limando localmente la corrugación el acero, se obtiene una superficie plana donde se adhiere dicho medidor, soportando de este modo el vaciado.

En los especímenes LA20VPC y LA17VPC, fueron ubicados en el acero de 9 mm de diámetro pertenecientes a las viguetas de manera intercalada, a 10 cm del empotramiento con la viga de anclaje (señales 124, 125, 126, 127) y en los especímenes LA20VDC y LA17VDC se colocaron en el acero de 12 mm de diámetro de las dos vigas de arriostre a 10 cm del empotramiento (señales 124 y 125).

- **Colocación de transductores de desplazamientos (LVDT)**

. Transductor de desplazamiento de cuerpo rígido en la base, utilizado para corregir los desplazamientos absolutos de los transductores ubicados a los lados de la losa aligerada, convirtiéndolos en desplazamientos relativos (señal 101).

. Transductor de desplazamientos horizontales en otros puntos, seis colocados en los lados de la losa aligerada que miden el desplazamiento horizontal cuando el espécimen es jalado y empujado (señales 102, 103, 104, 105, 106, 107).

. Transductores de desplazamientos horizontales en la parte superior (principales); se colocaron tres en la parte central de la viga de aplicación de carga, que midieron el desplazamiento principal en el sentido de la carga. Fueron asignados como transductores A, B y C.

. Roseta de deformaciones, consiste en instalar un marco central en cada cara de la losa aligerada, de un tamaño tal que represente el plano de ésta. En cada uno de los cuatro vértices se empotran pernos pasantes donde se colocan transductores de desplazamientos, cada uno de ellos tira de un hilo metálico que puede ser diagonal, horizontal o vertical y que

en el momento de la carga y descarga puedan medir las deformaciones del plano de la losa aligerada. Estas fueron designadas como señales del 112 al 117.

Además se colocaron cuatro transductores en una cara de la losa, dos inferiores y dos superiores, ubicados en las esquinas, que midieron el desplazamiento vertical.

Cada transductor de desplazamiento en el momento de la instrumentación, fue fijado a la mitad de su carrera (para medir desplazamientos en ambos sentidos).

- **El cableado :** Todas las señales (LVDT y Strain gages) y los transductores principales A y C son conectados a un dispositivo de paso (Scannig Box) por medio de cables.

Enumerados igualmente las señales y los cables coincidirán con su ubicación análoga en el Scannig Box.

Igualmente el transductor B, es instalado a un amplificador.

- **Conexión con la unidad de control y la adquisición de datos :** Las señales (LVDT, Strain gages) y transductores A y C instalados en el dispositivo de paso (Scanning Box), son conectados a la unidad de medida UCAM 5B, luego a la computadora de adquisición de datos.

El transductor B que pasa por el amplificador, es conectado al convertidor A/D MARK IB, y de aquí a la computadora de adquisición de datos.

Del amplificador parte la señal del transductor B a juntarse con el eje "X" del plotter.

Las cargas y desplazamientos del actuador, gobernado por el servo pulsor, están conectados a éste, de aquí pasan al convertidor A/D luego a la computadora de adquisición de datos.

La señal de la carga, del convertidor A/D es transferida al eje "Y" del plotter.

La computadora de control IBM PS/2 modelo 60 es conectada al convertidor D/A y luego al Servopulsor.

En el esquema N° 1 se indica la conexión del sistema de ensayo desplazamiento controlado y en las láminas N° 3a y 3b la instrumentación.

2.6 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

En vista que el ensayo es a escala natural el nivel de aplicación de carga es muy alto, por ello se busca tener un control estricto de la carga que se aplica y del procesamiento de datos, así como la verificación constante de la seguridad del ensayo. Por esto, para una eficiente ejecución se realizan los ensayos por medio de computadoras, por ese motivo el nombre de proceso de ensayo con

computador en línea.

Terminado el montaje y la instrumentación del espécimen, el procedimiento de ensayo por desplazamiento controlado para un grado de libertad es como sigue

1.- Asignación de las constantes de los transductores de desplazamiento y galgas de deformación :

Por cada dispositivo de salida del UCAM 5BT se le asigna la constante respectiva al LVDT y STRAIN GAGES y transductores A y C y en el amplificador es inscrita la constante del transductor B.

En las láminas N° 3a y 3b se indica las señales de los transductores.

2.- Verificación de los transductores de desplazamientos y galgas de deformación

Asegurarse que los transductores de desplazamientos se encuentren bien sujetos en la posición indicada y el pistón debe estar a media carrera.

Asimismo, verificar la correcta instalación de las galgas de deformación del acero, ambos deben funcionar debidamente, marcar el rango establecido e indicar su verdadera polaridad, esto se verifica mediante el UCAM 5B.

3.- Verificación de equipo de carga :

Constatar que los cables de la celda de carga del actuador estén bien conectados al Servopulsor, así como también su transductor interno (Stroke). Ver que cuente con suficiente agua para el uso de la unidad electro - hidráulica (para enfriar el aceite impulsado).

4.- Elección de la historia de desplazamientos :

Conocida la carga de falla y el desplazamiento teóricos, se encuentra la distorsión.

Luego se inicia con distorsiones menores a ésta, que fueron incrementándose, comparándose éstos con los desplazamientos de la carga de falla teórica, hasta distorsiones mayores donde la estructura no soporte más de su capacidad máxima.

Se construyeron series de dos ciclos con desplazamientos crecientes y decrecientes para cada acción de la carga (cuando se empuja o jala al espécimen).

En los gráficos N° 2 se ilustra la historia de desplazamiento para cada espécimen.

5.- Elección del rango máximo de carga y desplazamiento en el Servopulsor :

Es importante elegir cual debe ser el rango máximo, ya que la precisión de los datos también depende de ésta y las cargas y desplazamientos serán un porcentaje de dicho rango.

6.- Selección de la condición de medición

En la computadora de adquisición de datos, se procede a seleccionar las condiciones indicando los rangos máximos de carga y desplazamientos, juntamente con sus respectivas unidades.

7.- Selección de la condición del control del actuador

En la computadora de control, se indica el rango máximo de desplazamiento de acuerdo a la historia seleccionada.

8.- Rutina de ensayo propiamente dicho

- Desajustar el actuador del espécimen.
- Mediante el servopulsor, juntar el actuador al espécimen con la bomba encendida pero sin carga, con desplazamiento cero, luego ajustar los pernos que unen a estos y ver con que carga jala a la estructura (fuerza de tensado).
- Nuevamente se desajusta el actuador al espécimen, con desplazamiento cero, pero con carga; se empuja al modelo con la fuerza de tensado, luego se ajustan los pernos.
- El espécimen estará luego en posición cero en carga y desplazamiento (o muy cercano a cero).
- Se le da presión en la proporción de 3 t/mm^2 por cada 1 t de fuerza máxima prevista.
- Se ajusta el valor del desplazamiento (dándole el signo contrario, para hacerlo cero), en la computadora de control.
- Inicializar los valores de los transductores en el UCAM 5B de preferencia que todos lleguen a cero.
- En la computadora de adquisición de datos, inicializar los valores de carga y desplazamiento (Stroke) del actuador y la señal del transductor B (colocar estas con signos cambiados).
- Se empieza el proceso por medio del Programa de Ensayo Estático.

Mediante la historia de desplazamiento, la computadora de control le proporciona al Servopulsor el desplazamiento deseado.

Convertido anteriormente de digital a analógico, este ordena al actuador, traduciéndolo por medio de la celda de carga a una fuerza.

Aplicada la carga, los valores del desplazamiento interno (Stroke) y carga del actuador pasan a registrarse al servopulsor de aquí llegan a la computadora de adquisición de datos convertidos de analógicos a digitales.

En el instante que la estructura es empujada o jalada, los transductores medirán los

desplazamientos, los cuales pasarán por el Scanning Box al UCAM 5BT convirtiendo la señal analógica a digital, que luego transmitirá a la computadora de adquisición de datos.

El valor de la señal del transductor B, modulado por el amplificador irá a la computadora de adquisición de datos cambiando de analógico a digital, que luego esta señal pasará del analógico al eje "X" del plotter, de este modo irá graficando los lazos histeréticos de la carga vs. desplazamientos del transductor principal "C" por cada ciclo.

Luego la impresora dará los resultados de las señales de los transductores.

Verificar cada media hora que la unidad electrohidráulica este funcionando bien, sin calentar.

Marcar las grietas en el espécimen necesariamente en cada pico de cada serie y por cada paso, de preferencia de dos colores para diferenciar cuando se jala o empuja al espécimen.

Terminar con el ensayo cuando se nota que la carga disminuye y los desplazamientos aumentan (en ningún momento apagar la impresora porque se interrumpe el proceso del programa de ensayo).

Es preferible, realizar el ensayo de manera continua, si este tomara más del tiempo esperado, parar solo en el rango elástico.

El procesamiento de los resultados puede hacerse facilmente con el auxilio de una hoja de cálculo.

CAPITULO III

DISEÑO DE LOS ESPECIMENES Y CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

Teniendo clara la idealización del espécimen, que busca reflejar la acción del cortante en el plano de la losa al realizar el ensayo experimental; este capítulo mostrará previamente el diseño estructural en concreto armado de cada elemento constitutivo, seguidamente la construcción y aspectos del montaje. Para obtener resultados confiables es necesario conocer las características propias, requisitos y exigencias mínimas para la selección de materiales para el concreto, el acero de refuerzo y el ladrillo hueco para techo, como también la determinación de las proporciones de los componentes del concreto, así como la aplicación de técnicas de construcción apropiadas.

La rigidez y la resistencia de la estructura dependen de factores ligados a cada componente, y conociendo tales características y su aporte en la estructura, podría predecirse el comportamiento del conjunto, con el aprovechamiento máximo de sus propiedades y su capacidad resistente y determinando parámetros reales para un análisis racional.

3.1 DISEÑO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

El diseño de los elementos de la losa aligerada en concreto armado se ha realizado en base a los requisitos de la Norma Técnica de Edificación E-060.

Para la viga de aplicación de carga y para la viga de anclaje, el diseño ha sido conservador, haciendo verificaciones para la seguridad en el izaje, el transporte, la colocación, el montaje y el ensayo propiamente dicho.

En cuanto a la colocación y montaje del espécimen, se ha tenido especial cuidado para reflejar lo que la idealización requiere en cuanto a las condiciones de apoyo, tratando de obtener de este modo resultados coherentes.

3.1.1 DISEÑO DE LA LOSA ALIGERADA :

Se definió el espécimen como una porción de losa con luz igual a 3.6 m.

a.- Especificaciones :

El diseño se basó en una resistencia nominal del concreto $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$. Esta característica es poco importante para el diseño en flexión, pero influye directamente en la resistencia frente a acciones cortantes, que son un tema principal en este estudio.

Todo el acero de refuerzo fue de grado 60, $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$.

Se utilizaron ladrillos huecos de arcilla, de $30 \times 30 \times 12$ para las losas de 17 cm de espesor y de $30 \times 30 \times 15$ para aquellas de 20 cm.

El ancho de las viguetas fue, según lo tradicional, de 10 cm.

b.- Metrados :

Carga permanente (D) :

PESOS	LOSA ALIGERADA espesor 17 cm	LOSA ALIGERADA espesor 20 cm
Peso propio	280 Kg/m ²	300 Kg/m ²
Piso terminado	100 Kg/m ²	100 Kg/m ²
Tabiquería	150 Kg/m ²	150 Kg/m ²
CARGA PERMANENTE	530 Kg/m²	550 Kg/m²

Sobrecarga (L) = 250 Kg/m²

c.- Diseño :

Por resistencia requerida (E-060 10.2.1)

CARGAS	LOSA ALIGERADA espesor 17 cm	LOSA ALIGERADA espesor 20 cm
CARGAS ULTIMAS $U = 1.5 D + 1.8 L$	1245 Kg/m ²	1275 Kg/m ²
CARGA POR VIGUETA $w = U / 2.5$	498 Kg/m ²	510 Kg/m ²

c.1.- Cálculo de Momentos (E-060 9.3.2) :

Considerando una losa de 2 tramos, con luz (L) = 3.6 m.

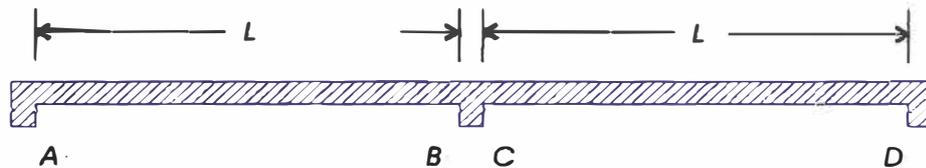


FIG N° 1

MOMENTOS NEGATIVOS	LOSA ALIGERADA espesor 17 cm	LOSA ALIGERADA espesor 20 cm
$M_A = M_D = -W l^2 / 24$	-269 Kg m	-275 Kg m
$M_B = M_C = -W l^2 / 9$	-717 Kg m	-734 Kg m
MOMENTOS POSITIVOS		
$M_{AB} = M_{CD} = W l^2 / 14$	587 Kg m	601 Kg m

c.2.- Comprobación por Flexión

$$bw = 10 \text{ cm}$$

$$\beta_1 = 0.85$$

$$\phi = 0.9$$

$$W_b = 0.85 - \beta_1 \frac{6000}{6000 + f_y}$$

$$W_b \text{ máx} = 0.75 W_b$$

$$MU \text{ máx} = \phi \cdot f'c \cdot b \cdot d^2 \cdot W_b \text{ máx} (1 - 0.59 W_b \text{ máx})$$

MOMENTO ULTIMO MAXIMO	LOSA ALIGERADA espesor 17 cm	LOSA ALIGERADA espesor 20 cm
d	14.1 cm	17.1 cm
W_b	0.425	0.425
$W_{b \text{ máx}}$	0.319	0.319
MU_{máx}	8050 Kg m	11850 Kg m

Siendo $MU_{\text{máx}}$ mayor que los momentos actuantes M_A, M_B, M_C, M_D , en ningún caso requieren acero en compresión.

c.3.- Cálculo del refuerzo por flexión :

$$W_b = 0.85 - \sqrt{0.7225 - 1.7 \frac{Mu}{\phi f'c \cdot b \cdot d^2}}$$

$$\rho = W_b \frac{f'c}{f_y}$$

$$A_s = \rho b d$$

MOMENTOS ULTIMOS	LOSA ALIGERADA espesor 17cm Area de acero (cm ²)	REFUERZO POR VIGUETA	LOSA ALIGERADA espesor 20 cm Area de acero (cm ²)	REFUERZO POR VIGUETA
$M_A = M_D$	0.509	1 ϕ 9mm	0.428	1 ϕ 9mm
$M_B = M_C$	1.369	1 ϕ 9mm	1.150	1 ϕ 12mm
$M_{AB} = M_{CD}$	1.118	1 ϕ 12mm	0.940	1 ϕ 12mm

c.4.- Verificación por Corte :

Corte actuante :

$$V_{AB} = V_{DC} = 0.5 w l$$

$$V_U = V_{BA} = V_{CD} = 1.15 \times 0.5 w l$$

Corte Admisible :

$$V_c = \phi \ 1,1 \cdot 0,53 \sqrt{f'c} \ b_w \ d$$

CORTANTES	LOSA ALIGERADA espesor 17 cm	LOSA ALIGERADA espesor 20 cm
$V_{AB} = V_{DC}$	896 Kg	918 Kg
$V_{BA} = V_{CD}$	1031 Kg	1056 Kg
V_c	920 Kg	1120 Kg

Luego $V_u > V_{admisible}$. No se requieren ensanches.

d.- Acero por temperatura :

Se usó 1 ϕ $\frac{1}{4}$ " a cada 5t = 25 cm

Las láminas N^o 4 y 5 muestran el acero de refuerzo utilizado.

3.1.2 DISEÑO DE LA VIGA DE ANCLAJE :

Aún cuando este no es propiamente el elemento ensayado, requiere un diseño cuidadoso y a la vez muy conservador, garantizándose que no ocurrirá una falla prematura. Las condiciones más críticas corresponden al izaje y a la instalación del espécimen sobre la losa de reacción.

Si la superficie de contacto fuera irregular y los pernos se ajustaran excesivamente, podrían ocasionarse grandes esfuerzos a nivel local.

$$f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\beta_1 = 0.9$$

$$\phi = 0.9$$

$$b \times h = 90 \times 50 \text{ cm}$$

$$l = 280 \text{ cm}$$

a.- Metrados:

P.p viga de anclaje	= $0.9 \times 0.5 \times 2.8 \times 2400$	= 3024 Kg
Carga distribuida w_1	= $3024/2.8$	= 1080 Kg/m
P.p viga de aplicación de carga	= $0.25 \times 2.5 \times 0.6 \times 2400$	= 900 Kg
P.p losa aligerada	= $1.8 \times 2.5 \times 300$	= 1350 Kg
Carga distribuida w_2	= $2250/2.5$	= 900 Kg/m
Peso total del espécimen	= 5212 Kg	

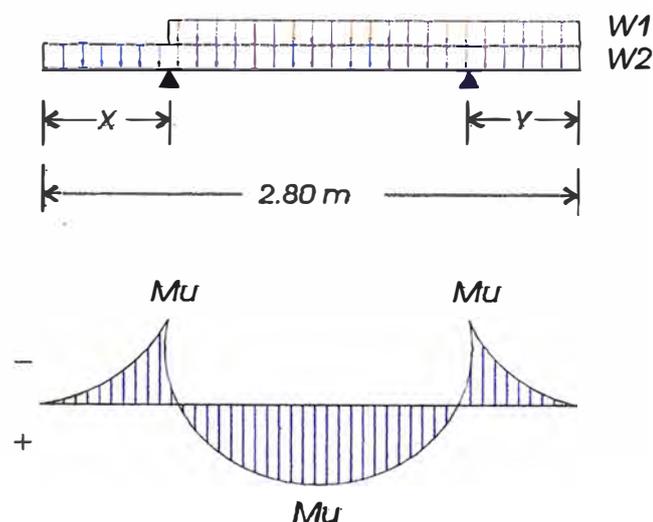


Fig. Nº 2. En el momento del izaje, igualando momentos, se ubica las barras de izaje en las posiciones $X = 0.67 \text{ m}$ e $Y = 56 \text{ m}$. Momento Ultimo $MU = 310 \text{ Kg m}$.

b.- Diseño :

b.1.- Verificación por Flexión :

Si usamos 4 ϕ 5/8"

$$d = 50 - 5.7 = 44.3 \text{ cm}$$

$$\text{Area de acero } A_s = 7.67 \text{ cm}^2$$

$$\text{Cuantía } (\rho) = 0.0019$$

$$\text{Cuantía mínima } (\rho_{\min}) = 0.0024$$

$$\text{Cuantía balanceada } (\rho_b) = 0.1275$$

$$\text{Cuantía máxima } (\rho_{\max}) = 0.0956$$

$$\text{Area de acero mínima} = 9.56 \text{ cm}^2$$

$$a = A_s \cdot \frac{f_y}{0.85 f'c \cdot b} = 2 \text{ cm}$$

$$\text{Momento admisible : } M_m = A_s f_y (d - 0.5 a) = 13949 \text{ Kg m}$$

$$\text{Momento Ultimo } (M_u) = 310 \text{ Kg m} < \phi M_n = 12554 \text{ Kg m}$$

Usar 4 ϕ 5/8" Estribos de ϕ de 9 mm cada 20 cm

c.- Diseño de la barra de izaje :

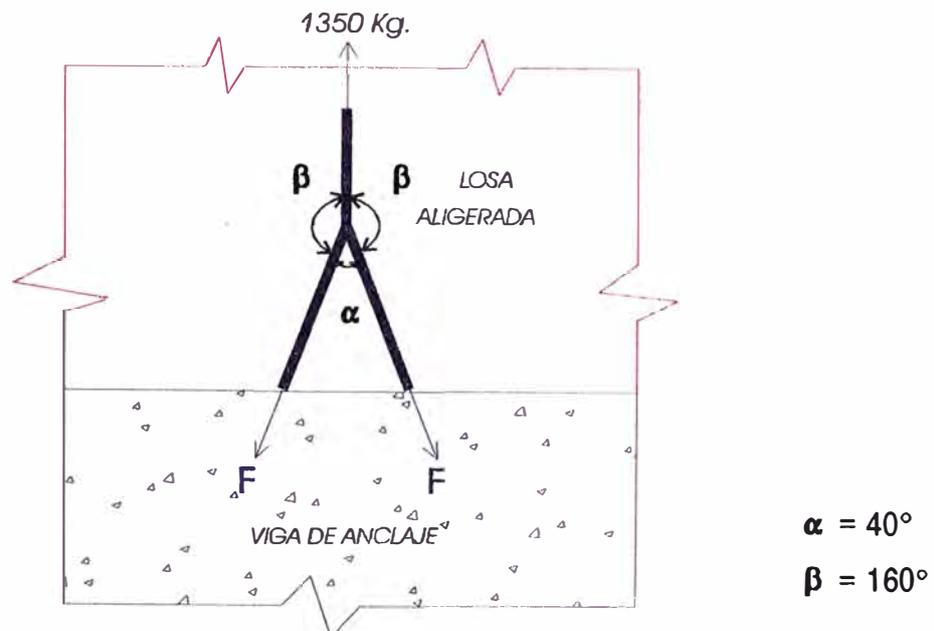


Fig. N° 3 Vista de perfil de la losa aligerada y la viga de anclaje.

$P = \text{Peso total del espécimen} / 4 = 1350 \text{ Kg}$

$A : \text{Area de acero}$

$$F = 1130 \cdot \frac{\text{seno } \beta}{\text{seno } \alpha} = 718 \text{ Kg} .$$

Si uso $\phi 9 \text{ mm}$ el área = 0.636 cm^2

$F/A = 1130 \text{ Kg/cm}^2 < 4200 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (Bien)}$

d.- Verificación del desplazamiento de la viga de anclaje :

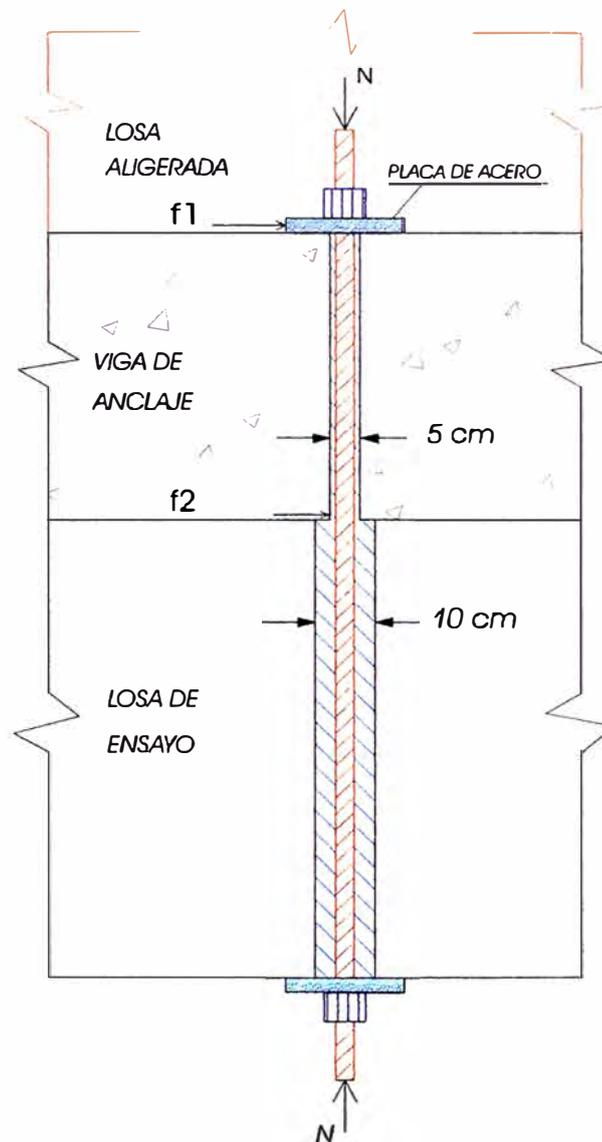


Fig. Nº 4 Se puede apreciar la viga de anclaje y la losa de ensayo en un corte transversal.

Sabiendo que

F : Fuerza lateral = 25 t

N : Fuerza de tensado de los pernos de anclaje = 15 t

f_1 : Fuerza de fricción entre el acero y el concreto

f_2 : Fuerza de fricción entre el concreto y concreto

μ_1 : Coeficiente de fricción del acero = 0.1

μ_2 : Coeficiente de fricción del concreto = 0.3

FSD = Factor de seguridad por deslizamiento = 1.25

n : Número de pernos de anclaje

(*) Punto donde se traslada la fuerza "F" lateral

$f_1 = N \mu_1 = 1.5$ t

$f_2 = N \mu_2 = 4.5$ t

$f_t = n (f_1 + f_2) = 60$ t

Verificación:

$F \times \text{FSD} < f_t$

31.25 t < 60 t

e.- Verificación por aplastamiento (E-060 12.8.1) :

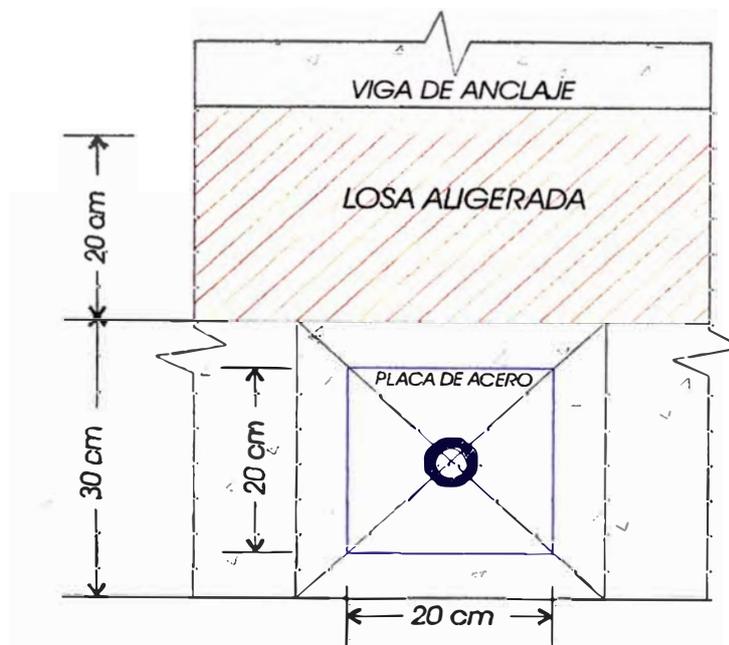


Fig. Nº 5 Vista en planta del anclaje del espécimen.

Sabiendo que

P : Carga por aplastamiento

P_u : Resistencia última por aplastamiento

A₁ : Area de la placa de acero

A₂ : Area de concreto

Acero : ϕ 1½"

$$f_y = 8400 \text{ Kg/cm}^2$$

$$A_1 = 400 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 900 \text{ cm}^2$$

$$\phi = 0.7$$

Aplastamiento :

$$P = A_1 f_b$$

$$f_b = \phi \cdot 0.85 \cdot f'_c \cdot \frac{A_2}{A_1} = 187.5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$P = 75 \text{ t}$$

$$P_u = 1.7 \text{ N}$$

$$P_u = 1.7 \times 15 = 25.5 \text{ t}$$

$P_u < P$, no se produce aplastamiento.

Se ilustra en la lámina N° 6 la distribución del acero.

3.1.3 DISEÑO DE LA VIGA DE APLICACION DE CARGA :

$$b \times h = 60 \times 25 \text{ cm.}$$

$$f'_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$$

Usar 3 ϕ 9 mm, estribos con ϕ de 9 mm cada 20 cm.

En la lámina N°7 y 8 indica la distribución del acero y las conexiones en la lámina N° 9 y 10

3.2 MATERIALES - PRUEBAS DE LABORATORIO

Entre los materiales componentes de la estructura ensayada se tienen: El concreto, el acero de refuerzo y el ladrillo hueco de arcilla para techo.

Seguendo las recomendaciones y especificaciones de la Norma Técnica ITINTEC para obtener concreto con una resistencia a la compresión determinada, se tiene que realizar el estudio previo de agregados para el posterior diseño de mezcla.

Es importante, mencionar que se trabajó en lo posible con materiales selectos, obteniendo un producto óptimo que represente lo que se considera la buena práctica de la ingeniería.

3.2.1 DE LOS AGREGADOS :

Las características físicas y químicas de estos elementos inertes tienen influencia en prácticamente todas las propiedades del concreto.

Los agregados ocupan aproximadamente las 3/4 partes del volumen total. Estos serán aglomerados por la pasta de cemento para formar una estructura resistente.

Son primordiales las características de densidad, resistencia, porosidad, granulometría o distribución volumétrica, que pueden apreciarse con ensayos standard para compararlos con valores de referencia establecidos por las normas ITINTEC 400.037 o ASTM C-33 empleados en la preparación de concreto normal (2300 - 2500 Kg/m³).

En el cuadro N^o 2 se indican las características físicas de los agregados empleados:

CUADRO N^o 2

CARACTERISTICAS FISICAS	NORMAS	AGREGADO FINO	NORMAS	AGREGADO GRUESO
Peso específico aparente	ITINTEC 400.022	2.62 g/cm ³	ITINTEC 400.021	2.71 g/cm ³
Peso específico de masa	ITINTEC 400.022	2.56 g/cm ³	ITINTEC 400.021	2.64 g/cm ³
Peso específico de masa "sss"	ITINTEC 400.022	2.59 g/cm ³	ITINTEC 400.021	2.69 g/cm ³
Absorción	ITINTEC 400.022	0.54 %	ITINTEC 400.021	0.72 %
Contenido de humedad	ASTM C-566	0.556 %	ASTM C-566	0.335 %
Peso unitario suelto	ITINTEC 400.017	1755.40 Kg/m ³	ITINTEC 400.017	1429.61 Kg/m ³
Peso unitario compactado	ITINTEC 400.017	2023.80 Kg/m ³	ITINTEC 400.017	1562.85 Kg/m ³
Módulo de fineza	ITINTEC 400.012	3.39	ITINTEC 400.012	7.93
Tamaño máximo nominal				1"

3.2.2 DISEÑO DE MEZCLA

El diseño de mezcla es la aplicación práctica y técnica de todos los conocimientos de sus componentes y la interacción entre ellos para lograr un material que satisfaga de manera más eficiente los requerimientos que el proyecto exige.

El cemento utilizado fue cemento " SOL " Portland tipo I, con peso específico 3,150 Kg/m³ cumpliendo con la Normas ITINTEC 334.009 o ASTM C-150.

El agua empleada en la preparación y curado, de preferencia agua potable cumple con los requisitos de las Norma ITINTEC 334.088.

Las características de los agregados son las indicadas en el cuadro N° 2.

El diseño fue realizado por el método del comite ACI - 211 que consiste en la aplicación sistemática de ciertas tablas y proporciones ya establecidas que sátsifacen prácticamente todas las situaciones normales en obra, aunque también depende en gran parte al proceso constructivo. La resistencia a la compresión del concreto $f'c$ es el parámetro de referencia más difundido, tanto a nivel de diseño estructural, como en la tecnología del concreto. Esta abarca un concepto más amplio e integral, en él descansan las filosofías de diseño actuales y el Reglamento Nacional de Construcciones.

En el cuadro N° 3 se muestran las resistencias a la compresión de diseño y sus respectivas proporciones.

CUADRO N° 3

ELEMENTO	$f'c$ (Kg/cm²)	PROPORCION EN PESO
Viga de aplicación de carga Losa aligerada	175	1:2.9:3.2/0.67
Viga de anclaje	210	1:2.4:2.8/0.62

El estudio está enfocado a las losas aligeradas para estructuras de albañilería, viviendas, edificios multifamiliares de pocos pisos, en las que se acostumbra usar un $f'c$ de diseño no menor de 175 Kg/cm² a los 28 días, (estructuras con muros de albañilería resistentes a cargas de gravedad y de sismo, siempre que se considere que los elementos sismoresistentes son los muros de albañilería). Para elementos estructurales que deberán comportarse como elementos sismoresistentes se diseñan

con $f'c$ no menor que 210 Kg/cm^2 .

La certificación del cumplimiento de los requisitos para la resistencia del diseño, se basa en los resultados de las probetas cilíndricas standard de la misma muestra de concreto a los 28 días de moldeados.

En el anexo se presentan estos resultados.

3.2.3 DEL LADRILLO HUECO DE ARCILLA PARA LOSA ALIGERADA :

Las losas aligeradas unidireccionales regularmente se construyen con unidades de diferentes tipos y dimensiones.

Estas pueden ser de ladrillo hueco de arcilla cocida o de concreto vibrado de peso ligero.

Dentro de este estudio se consideró usar unidades de arcilla por ser las más comunes en la construcción.

a.- CRITERIOS DE SELECCION :

La unidad debe estar bien cocida, no presentando vitrificaciones.

No debe presentar materias extrañas en la superficie ni en su interior, como material salitroso que afecta su resistencia.

Deben producir sonido metálico al ser golpeado.

No debe presentar resquebrajaduras, fracturas ni grietas que degraden su resistencia.

b.- TIPOS DE UNIDAD :

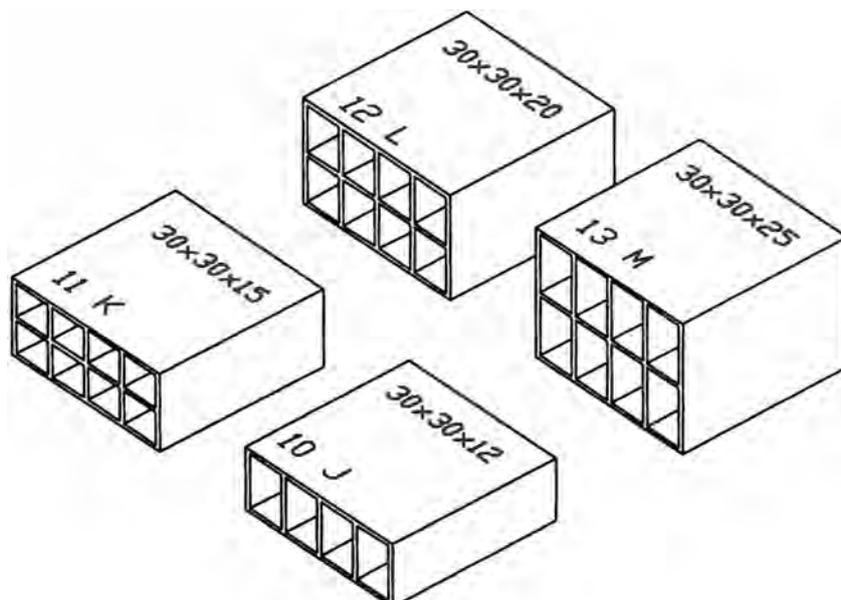


Fig. N° 6 Tipos de unidades comunmente usadas.

c.- CARACTERISTICAS DE LAS UNIDADES :

Por ser unidades huecas son más frágiles y cuando son sometidas a compresión presentan fallas bruscas.

d.- ENSAYOS EN LAS UNIDADES : Se ensayaron la cantidad de 5 unidades de diferentes espesores para evaluar cada propiedad, tomando el valor promedio de estas.

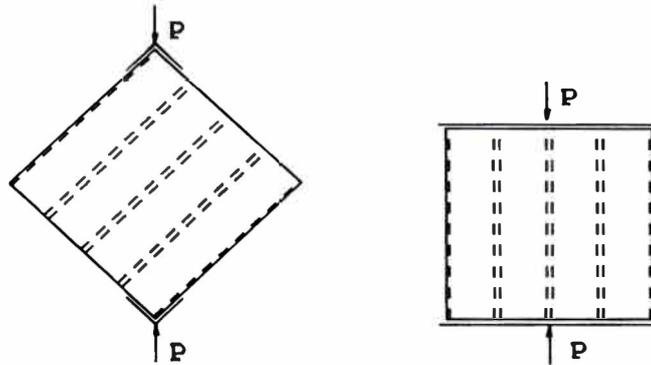


Fig. Nº 7 Ensayos en las unidades para evaluar el Módulo de Elasticidad

e.- PROPIEDADES : Para evaluar el esfuerzo de compresión se divide la fuerza entre el área neta perpendicular a esta carga. En compresión diagonal se toma la mayor área neta perpendicular. Las propiedades físicas y mecánicas en promedio se aprecian en el siguiente cuadro.

CUADRO Nº 4

PROPIEDADES MECANICAS		ESPESOR 12 cm	ESPESOR 15 cm
Módulo de elasticidad	Diagonal	157.1 Kg/cm ²	339.8 Kg/cm ²
	Perpendicular a la sección tubular	3765.2 Kg/cm ²	6614.6 Kg/cm ²
Resistencia a la Compresión	Diagonal	4.95 Kg/cm ²	6.20 Kg/cm ²
	Perpendicular a la sección tubular	130.48 Kg/cm ²	138.02 Kg/cm ²
Resistencia a la Flexotracción	Directa	3.5 Kg/cm ²	3.5 Kg/cm ²
PROPIEDADES FISICAS			
Peso		6.8 Kg	8.0 Kg
Peso Específico		2.0 gr/cm ³	2.0 gr/cm ³
Absorción		12.77 %	9.63 %
Succión		118.05 gr	93.33 gr

3.2.4 DEL ACERO DE REFUERZO

La calidad de una estructura de concreto armado depende en gran medida al acero usado y de su correcta colocación en el proceso constructivo.

a.- CARACTERISTICAS DEL ACERO UTILIZADO :

Se utilizaron barras provenientes de la planta de SIDER-PERU.

Se optó por utilizar acero corrugado grado 60; los diámetros fueron de 9 mm y 12 mm en las viguetas y vigas de arrioste respectivamente y varillas lisas de diámetro de ¼" como acero de contracción y temperatura. Estos diámetros resultaron de un diseño estructural previo.

b.- MUESTREO Y ENSAYOS:

Se utilizaron varillas libres de impurezas y que no presentaron oxidación. Para verificar sus valores de fluencia, se realizaron ensayos de tracción con muestras representativas, usando un mínimo de tres varillas por cada uno de los tres diámetros utilizados.

Estas varillas de 20 cm fueron ensayadas presentando los valores promedios que se indican en el Cuadro N°5 (ver anexo).

CUADRO N° 5

CARACTERISTICAS MECANICAS	VALORES MINIMOS GARANTIZADOS NORMAS ASTM A 615 a GRADO 60 ITINTEC 341.031-A-42	VALORES OBTENIDOS EN EL ENSAYO No incluye ϕ ¼ "	
Límite de Fluencia	42.20 Kg/mm ²	ϕ ¼ "	No presenta fluencia
		ϕ 9 mm	45.09 Kg/mm ²
		ϕ 12 mm	45.38 Kg/mm ²
Resistencia a la Tracción (Esfuerzo Máximo)	63.30 Kg/mm ²	ϕ ¼ "	9.40 Kg/mm ²
		ϕ 9 mm	68.12 Kg/mm ²
		ϕ 12 mm	71.56 Kg/mm ²
Alargamiento Mínimo	9 %	ϕ ¼ "	3 %
		ϕ 9 mm	17 %
		ϕ 12 mm	14 %

3.3 PROCESO CONSTRUCTIVO

La construcción de los especímenes se realizó de acuerdo a la práctica establecida para la construcción de losas aligeradas, siguiendo las siguientes etapas:

Colocación del material impermeable entre el espécimen a vacear (viga de anclaje) y la losa de ensayo para, evitar la adherencia.

Armado del acero de construcción: Se cortó y dobló el acero de acuerdo a la medida indicada en los planos , respetando los traslapes, longitudes de desarrollo y ganchos en los estribos.

El encofrado se realizó de manera conjunta, tanto para la viga de anclaje, la losa aligerada y la viga de aplicación de carga, colocándose soportes de madera para la colocación de los tubos PVC (ductos para pernos de anclaje).

Se colocó el acero teniendo en cuenta los recubrimientos especificados en los planos.

La colocación de los ladrillos de techo con los orificios en la dirección de las viguetas.

Se evitó el ingreso de concreto a las unidades, taponeando los orificios, además se dejó en agua las unidades para reducir la succión, que puede restarle agua al concreto.

Colocación de los tubos PVC tanto en la viga de aplicación de carga como en la viga de anclaje, estos en forma horizontal sujetos a los soportes del encofrado, de tal modo que al colocar al espécimen en la posición de ensayo tengan una buena verticalidad y que los pernos de anclaje puedan ingresar comodamente.

Colocación de los Strain Gages en las viguetas perpendiculares a la carga, en forma intercalada a 10 cm del empotramiento y en los otros especímenes en el acero de las vigas de arriostre.

El vaciado del concreto se realizó de manera conjunta (viga de aplicación de carga, losa aligerada, y viga de anclaje), siguiendo las recomendaciones del diseño de mezcla y extrayendo probetas, 3 por cada resistencia de diseño.

La compactación y vibración fueron efectuadas para obtener una mezcla homogénea, evitando de este modo la formación de cangrejeras.

Se realizaron mediciones del revenimiento del concreto (slump) tratando que éste se encuentre en el intervalo de 2 a 4 pulgadas (ASTM C-143).

El curado se realizó inmediatamente, sin dañar la superficie del concreto prolongándose ininterrumpidamente, puesto que este proceso ayuda indirectamente a la resistencia ya que es el complemento al proceso de hidratación con un tiempo máximo exigido que no supera

los 14 días.

Se realizó empleando el método usual de las "arroceras" creando un estancamiento de agua, colocando arena sin impurezas, en los bordes del elemento horizontal o con tela de yute mojadas.

- Se desencofró al cabo de una semana.

El proceso constructivo fue controlado de acuerdo a las condiciones de laboratorio.

3.4 MONTAJE DEL ESPECIMEN

El montaje consta entre otras cosas, de la colocación del espécimen y del mecanismo excitador para luego proceder a la instrumentación y el ensayo experimental.

Para diseñar la ubicación y las dimensiones del modelo, es necesario conocer a priori las medidas tanto de implementos útiles para el montaje, como para el espacio a ocupar en el laboratorio durante el ensayo.

Para determinar la altura del espécimen , se tomó en cuenta lo siguiente:

- Inicio de los conductos de 10 cm de diámetro en el muro de reacción es de 45 cm de la losa de ensayo luego cada 60 cm en dirección vertical, separados horizontalmente 60 cm de eje a eje.
- Los espaciamientos de agujeros en el marco de aplicación de carga son de 10 cm.
- Eje longitudinal en el cabezal del actuador.

Como se sabe la losa fue diseñada para una luz de 3.6 m, construyendo los especímenes a la mitad de su luz.

Para determinar la distancia del espécimen al muro de reacción se consideró

- Los conductos en la losa de ensayo empiezan a 90 cm del muro de reacción y espaciados cada 60 cm.
- La longitud del actuador a media carrera (± 20 cm), que es de 270 cm.
- Espesor del marco de aplicación de carga es de 10 cm.
- Espesor del perfil de transición actuador y viga de aplicación de carga (P-12) que es de 22 cm.

Se ubicó el espécimen a una distancia de 302 cm del muro de reacción.

Para la distribución de la carga fue a través de todo el espécimen, se colocó 2 perfiles tipo mecano (C-2) cuyos agujeros estan espaciados 15 cm.

En las láminas N° 11, 12, 13, 14 se aprecian como fue el diseño previo al montaje.

Terminado el proceso constructivo del espécimen, se realizó el transporte al lugar de ensayo , a un costado del muro de reacción , haciendo uso del puente grúa.

El transporte se realizó manteniendo al espécimen en posición vertical, usando dos grúas con cables fijadas directamente a las cuatro barras de izaje del espécimen, que fueron diseñadas para este fin. La estructura se trasladó con especial cuidado de no golpear la base del espécimen, ni soltarlo ubicándola en el lugar previsto.

Se sujetó rígidamente la base del espécimen a la losa de ensayo por medio de los pernos de anclaje de alta resistencia, los cuales fueron tensados antes de ajustar las tuercas, haciendo uso de gatas hidráulicas.

La fuerza de tensado dado por este aparato obedece al diseño previo, lo que evita que la base del espécimen falle por aplastamiento. Esta fuerza fue de 15 t por cada perno.

De este mismo modo se acoplaron dos perfiles tipo mecano (C-2) en la parte superior de la viga de aplicación de carga, con la finalidad de distribuir de manera homogénea la fuerza horizontal a través de todo el espécimen.

Finalmente se colocó el marco de aplicación de carga al muro de reacción y a éste se acopló el actuador a la altura de la viga de aplicación de carga.

CAPITULO IV

RESULTADOS EXPERIMENTALES

A partir de las propiedades mecánicas obtenidas experimentalmente como rigidez, resistencia, capacidad de deformación y disipación de energía y amortiguamiento, se evalúa el comportamiento global de la estructura. Estas pueden ser obtenidas de las curvas histeréticas del cortante y la distorsión angular como resultado de una prueba destructiva.

4.1 HISTORIA DE DESPLAZAMIENTOS

El desplazamiento teórico puede considerarse como un objetivo, que no puede lograrse con absoluta precisión. En primer lugar, el actuador se controla mediante una señal analógica obtenida de un convertidor D/A que tiene 12 bits, de lo que resulta que solo se puede ubicar el cabezal en posiciones a intervalos discretos. El sistema hidráulico no permite tampoco mantener el actuador en una posición fija, observándose vibraciones al rededor de la posición media. Adicionalmente la conexión del actuador al espécimen no es infinitamente rígida. Por lo tanto puede hablarse de tres distintas historias de desplazamientos.

La historia de desplazamientos teórica fue predeterminada, estimando primero la carga de falla teórica. Se encuentra el desplazamiento teórico para esa carga de falla, idealizando al espécimen con un modelo de estado plano de esfuerzos, con un grado de libertad. La distorsión se calcula dividiendo este desplazamiento entre la altura, medida desde el empotramiento al punto de aplicación de la carga lateral.

Luego se construye la historia de desplazamientos iniciando con distorsiones menores a la distorsión de la carga de falla teórica con series de dos ciclos (esperando estabilizar el lazo histerético) cada uno con desplazamientos crecientes y decrecientes para cada acción de la carga (cuando se empuja o jala al espécimen).

Sin embargo se aprecian tres historias de desplazamientos (Gráficos N° 1), en primer lugar la historia de desplazamientos teórica como "objetivo inicial", fue aquel que se ordenó al actuador, iniciando el ensayo con una distorsión angular de $1/20000$ (0.01 mm); éste midió otra historia de desplazamientos por medio del "stroke del actuador" y la historia del desplazamiento "real" registrado por el espécimen durante el ensayo.

Se muestran las historias de desplazamiento reales para cada espécimen (Gráficos N° 2), dos de los primeros inician con una distorsión angular de $1/13000$ y los otros con $1/6500$, así mismo la historia de fuerzas que originaron (Gráficos N° 3).

4.2 RESULTADO DE LAS CARGAS CICLICAS

Al aplicar cargas cíclicas sobre la estructura, pueden medirse y calcularse parámetros muy importantes que están ligados al comportamiento.

Estos parámetros incluyen la rigidez inicial y la degradación de la misma en los sucesivos ciclos, la

resistencia, la energía de disipación, la energía de deformación y la ductilidad. Se presentan las curvas histeréticas de fuerzas cortantes y desplazamientos obtenidas al procesar las lecturas registradas del transductor principal a partir de la prueba cíclica (Gráficos N° 4).

4.3 MECANISMOS DE FALLA

Los especímenes sujetos a carga lateral presentan dos tipos fundamentales de falla: por flexión y por corte.

Se puede decir que el comportamiento inelástico frente a la sollicitación cíclica, se relaciona directamente con el mecanismo de falla.

Se han realizado importantes investigaciones al respecto, que evidencian este hecho cuando comparan relaciones de carga versus desplazamiento.

En flexión la carga máxima es mantenida sobre un rango prolongado de desplazamiento, en cambio cuando es por corte, la carga última es mantenida sobre un rango pequeño de desplazamiento, seguido luego de una pronta caída en la resistencia del espécimen, en otras palabras las fallas por corte son frágiles, en contraste con las fallas más dúctiles asociadas con la flexión.

Además, los elementos estructurales que fallan a flexión tienen un comportamiento cíclico más estable que aquellos que fallan por corte.

4.4 PATRONES DE AGRIETAMIENTO

El patrón de grietas fue registrado cuidadosamente para cada espécimen, inmediatamente después de formadas las primeras fisuras hasta la situación de agrietamiento próxima al colapso.

En las gráficas que se presentan más adelante se identifica la serie, diferenciando por el color las grietas producidas cuando el espécimen es cargado positivamente o negativamente (esto es cuando la estructura es jalada o empujada respectivamente).

Este patrón de fallas muestra el agrietamiento en los costados del espécimen cuando existen efectos de flexión y las grietas de tracción diagonal debidas al corte.

4.4.1 DESCRIPCION:

Se presentan las distintas formas de falla del espécimen en forma gráfica y descriptiva (Figs. N° 8 y 9).

Cabe indicar que cuando se menciona la palabra "cara anterior" se esta tratando de la superficie donde se observa los ladrillos juntamente con las viguetas.

- LA20VPC :

1.- Primeras fisuras de tracción por corte a lo largo del empotramiento con la base en ambas caras del espécimen. Estas suceden para:

SENTIDO	CARGA (t)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION ANGULAR
NEGATIVO	24.5	1.00	1/1900

2.- Fisuras de tracción por flexión en los costados del espécimen para:

SENTIDO	CARGA (t)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION ANGULAR
NEGATIVO	26.30	1.34	1/1400
POSITIVO	20.31	1.00	1/1900

3.- Fisuras de tracción diagonal en la cara anterior, en viguetas y ladrillos, cercanas al empotramiento para :

SENTIDO	CARGA (t)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION ANGULAR
NEGATIVO	27.29	1.76	1/1100

4.- Grietas de tracción diagonal que se incrementan hasta llegar a la parte superior cortando viguetas y ladrillos en la cara anterior; en la cara posterior las mismas grietas pero cercanas al empotramiento, para:

SENTIDO	CARGA (t)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION ANGULAR
NEGATIVO	27.54	3.48	1/550

Observaciones : En la cara anterior se presenta mayor cantidad de grietas de tracción diagonal típicas de las fallas por corte cercanas al empotramiento. Esto puede explicarse porque la adherencia entre ladrillo y concreto es inferior a la capacidad del concreto, mientras que en la cara posterior hay menor cantidad de daños.

- LA17VPC :

1.- Fisuras de tracción por corte, en toda la longitud del empotramiento con la base, en las dos caras del espécimen, para:

SENTIDO	CARGA (t)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION ANGULAR
NEGATIVO	19.10	1.63	1/1200
POSITIVO	13.63	0.70	1/2750

2.- Fisuras de tracción diagonal muy cerca del empotramiento que se suceden en la cara anterior para :

SENTIDO	CARGA (t)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION ANGULAR
NEGATIVO	22.03	2.12	1/900
POSITIVO	16.78	1.25	1/1500

3.- Fisuras por flexión en los extremos laterales; que se presentan para :

SENTIDO	CARGA (t)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION ANGULAR
NEGATIVO	26.21	3.34	1/600
POSITIVO	18.88	1.88	1/1000

4.- Grietas de tracción diagonal que se propagan en toda la cara anterior cortando viguetas y ladrillos alcanzando la parte superior del espécimen.

En la cara posterior se observa una grieta típica de tracción a lo largo de la diagonal de estructura, para :

SENTIDO	CARGA (t)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION ANGULAR
NEGATIVO	26.21	3.34	1/600

Observaciones : Al igual que en el espécimen LA20VPC, se presentan mayor cantidad de grietas en la cara anterior y menor fisuración en la cara posterior.

- LA20VDC :

1.- Fisuras de tracción por flexión en las viguetas secundarias en los costados del espécimen para :

SENTIDO	CARGA (t)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION ANGULAR
NEGATIVO	19.89	1.69	1/1050
POSITIVO	11.01	1.02	1/1800

2.- Grietas de tracción diagonal, distribuidos en toda la cara anterior.

Estas grietas se formaron en los ladrillos más no en las viguetas.

En la cara posterior se aprecia una grieta longitudinal cercanas al empotramiento para

SENTIDO	CARGA (t)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION ANGULAR
NEGATIVO	19.89	1.69	1/1050
POSITIVO	5.47	0.46	1/4000

3.- Grietas de tracción diagonal en la cara posterior para :

SENTIDO	CARGA (t)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION ANGULAR
NEGATIVO	21.5	2.1	1/850

Observaciones : La cara anterior es la más afectada, la posterior sufre menos daños, y se aprecian grietas longitudinales en los ladrillos.

Las grietas de tracción por flexión y tracción diagonal se iniciaron en forma simultánea.

-LA17VDC :

1.- Grieta longitudinal cerca al empotramiento en la cara posterior para :

SENTIDO	CARGA (t)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION ANGULAR
NEGATIVO	7.69	0.58	1/3150
POSITIVO	9.36	0.83	1/2200

2.- Fisuras de tracción por flexión en las vigas secundarias y grietas de tracción diagonal en toda la cara anterior propagadas en todo su plano, solo en los ladrillos para :

SENTIDO	CARGA (t)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION ANGULAR
NEGATIVO	10.82	1.00	1/1800
POSITIVO	12.78	1.76	1/1050

3.- Grietas de tracción diagonal en la cara posterior para :

SENTIDO	CARGA (t)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION ANGULAR
NEGATIVO	19.95	3.05	1/600
POSITIVO	18.38	4.61	1/400

Observaciones : Como siempre la cara anterior es la más deteriorada. Se presentan grietas longitudinales en los ladrillos.

4.5 COMPORTAMIENTO EN LA ETAPA INICIAL

Es importante determinar el rango donde el comportamiento de la estructura es lineal (Gráfico N° 5). En esta etapa se aprecia como el espécimen recupera su estado inicial cuando se retira la carga. La rigidez inicial es evaluada sobre la base de envolventes de fuerzas y desplazamientos en carga y descarga.

En el siguiente cuadro se muestra hasta que punto la estructura presenta dicho comportamiento elástico y su respectiva degradación.

ESPECIMEN	LA20VPC			
	RIGIDEZ (t/mm)	FUERZA (t)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION ANGULAR
INICIAL	39.6	18.02	0.455	1/4200
CICLO	RIGIDEZ (t/mm)	E.DISIPACION (t mm)	E.DEFORMACION (t mm)	AMORTIGUAMIENTO
3	46.22	1.2	2.5	0.0522
4	47.05	1.8	2.4	0.068
5	44.75	4.2	5.2	0.0713
6	38.21	6.1	7.3	0.0728
7	32.29	13	12.1	0.0822
8	16.37	18.2	14.4	0.089
10	18.08	49.6	20.1	0.1133
11	20.86	64.1	21.5	0.1191
12	17.69	81.3	23.2	0.1239
13	14.58	100	28.6	0.1237
14	15.9	117.9	30.3	0.1267
15	13.78	136.9	37.1	0.1252
16	13.96	155.5	30.4	0.1332
17	12.42	180.6	37.8	0.1316
18	12.26	204.9	43.4	0.1313
19	11.18	246.1	49.1	0.1327
20	11.74	272.6	45.7	0.1363
21	7.14	322.5	57.3	0.1351
22	9.2	369.8	64.2	0.1356
23	9.22	421.1	66.2	0.1375
24	8.86	466.9	67.3	0.1391
25	6.89	544.5	73.1	0.1403
26	7.6	620.8	86	0.1398
27	6.23	728.3	119	0.1368
28	5.89	838.6	120.9	0.1391
29	4.91	1022	170.2	0.1364
30	4.42	1174.6	168.3	0.1392

ESPECIMEN	LA17VPC			
	RIGIDEZ (t/mm)	FUERZA (t)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION ANGULAR
INICIAL	28.04	11.36	0.405	1/4750
CICLO	RIGIDEZ (t/mm)	E.DISIPACION (t mm)	E.DEFORMACION (t mm)	AMORTIGUAMIENTO
1	33.07	0.1	0.40	0.0266
2	32.09	0.20	0.50	0.0436
3	29.98	0.70	1.90	0.0436
4	29.64	1.10	2.30	0.0507
5	23.01	4.30	5.50	0.0695
6	22.46	6.80	5.60	0.0873
7	16.32	13.50	9.20	0.0947
8	16.15	17.60	9.20	0.1043
9	14.74	24.00	13.60	0.1017
10	14.62	29.60	14.30	0.1073
11	13.8	38.00	19.60	0.1049
12	12.99	45.80	22.20	0.1073
13	12.5	53.20	25.20	0.108
14	11.75	63.70	29.40	0.1088
15	11.36	73.30	30.50	0.1123
16	11.26	84.40	33.50	0.1140
17	10.03	98.80	46.00	0.1086
18	9.62	113.20	49.00	0.1110
19	9.35	128.70	51.10	0.1140
20	9.12	144.50	55.10	0.1152
21	8.85	161.30	55.20	0.1186
22	8.64	180.20	59.60	0.1196
23	8.36	199.90	61.50	0.1217
24	8.19	219.80	66.30	0.1223
25	7.86	239.40	67.70	0.1241
26	7.77	259.80	72.10	0.1246
27	7.6	279.20	73.00	0.1262
28	7.11	311.20	90.60	0.1233
29	6.85	339.10	91.30	0.1254
30	5.45	433.60	115.2	0.1257

ESPECIMEN	LA20VDC			
	RIGIDEZ (t/mm)	FUERZA (t)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION ANGULAR
INICIAL	11.2	16.81	1.500	1/1200
CICLO	RIGIDEZ (t/mm)	E.DISIPACION (t mm)	E.DEFORMACION (t mm)	AMORTIGUAMIENTO
1		0.2	0.6	
2		0.20	0.6	
3	13.14	0.70	3.4	0.0277
4	12.34	1.40	5.0	0.0445
5	12.35	3.10	10.2	0.0343
6	11.91	5.0	12.8	0.0368
7	11.94	9.70	19.8	0.0445
8	11.25	13.40	20.7	0.0524
9	10.39	21.30	28.0	0.0626
10	10.06	27.40	29.9	0.0688
11	9.20	37.90	36.7	0.0761
12	8.70	48.40	40.4	0.0809
13	7.76	74.30	46.9	0.0868
14	7.41	79.50	50.9	0.0920
15	6.76	99.50	56.8	0.0970
16	6.49	121.140	61.4	0.1013
17	5.94	147.00	66.9	0.1057
18	5.78	174.00	69.7	0.1094
19	5.4	203.90	76.7	0.1137
20	5.19	236.70	80.5	0.1188
21	4.96	270.1	86.1	0.1207
22	4.86	306.70	89.3	0.1233
23	4.56	360.7	99.0	0.1249
24	4.04	408.20	101.0	0.1276
25	3.42	493.7	116.3	0.1288

ESPECIMEN	LA17VDC			
	RIGIDEZ (t/mm)	FUERZA (t)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION ANGULAR
INICIAL	11.33	10.19	0.900	1/2000
CICLO	RIGIDEZ (t/mm)	E.DISIPACION (t mm)	E.DEFORMACION (t mm)	AMORTIGUAMIENTO
1	14.97	0.6	1.1	0.0584
2	15.41	1.7	1.8	0.0766
3	14.71	3.1	2.5	0.0876
4	14.84	4.4	2.7	0.0992
5	14.02	6.7	4.0	0.0994
6	14.02	8.6	4.0	0.1085
7	13.16	11.5	5.4	0.1082
8	12.81	14.3	5.9	0.1130
9	11.17	19.7	9.2	0.1086
10	9.85	24.1	12.4	0.1053
11	10.19	33.2	20.2	0.0999
12	8.44	40.6	22.5	0.1024
13	8.16	48.6	25.6	0.1042
14	7.85	56.0	27.3	0.1069
15	7.75	67.8	36.2	0.1038
16	7.14	83.0	45.2	0.1031
17	6.57	95.0	47.4	0.1062
18	6.27	106.4	47.6	0.1100
19	6.18	118.2	50.3	0.1116
20	5.95	132.5	56.3	0.1117
21	5.83	145.6	57.0	0.1144
22	5.60	161.6	62.6	0.1147
23	5.43	176.8	62.2	0.1177
24	5.29	195.0	67.9	0.1181
25	5.14	212.1	68.0	0.1205
26	4.93	233.9	73.6	0.1211
27	4.81	254.7	74.4	0.1232
28	4.61	280.2	80.5	0.1236
29	4.48	304.4	81.3	0.1256
30	4.00	356.3	98.5	0.1247
31	3.85	395.8	99.0	0.1273

Comparando los cuatro especímenes (Gráfico N° 8) se puede apreciar que los especímenes con viguetas perpendiculares presentan mayor rigidez que aquellos con las viguetas en dirección de la carga.

4.6 DEGRADACION ESTRUCTURAL

Otro aspecto del comportamiento de la estructura ante cargas alternadas, es su deterioro en la resistencia y rigidez.

4.6.1 EN LA RESISTENCIA :

La resistencia de una estructura depende en gran manera de la capacidad que tenga cada elemento de los cuales esta constituido y la interrelación que tengan, como puede ser la adherencia entre concreto y acero.

Se entiende por degradación en la resistencia, a la disminución de la capacidad de transmisión de carga de un elemento estructural entre ciclos sucesivos de carga.

Esta degradación se incrementa, cuando se cambia el sentido de la carga y sucede después de alcanzar la carga máxima.

Este parámetro guarda cierta relación con la degradación de la rigidez .

Se presenta a continuación los resultados experimentales de la envolvente de fuerzas y desplazamientos indicando las cargas máximas (Gráfico N° 5).

ESPECIMEN	CARGA MAXIMA (+) (t)	DESPLAZAMIENTO (+) (mm)	RIGIDEZ (+)(t mm)	DISTORSION (+)
LA20VPC	30.23	5.89	5.13	1/300
LA17VPC	24.60	3.68	6.68	1/500
LA20VDC	19.63	5.28	3.71	1/300
LA17VDC	20.11	5.77	3.48	1/300
ESPECIMEN	CARGA MAXIMA (-) (t)	DESPLAZAMIENTO (-) (mm)	RIGIDEZ (-)(t mm)	DISTORSION (-)
LA20VPC	27.56	5.89	4.68	1/300
LA17VPC	26.40	3.86	6.84	1/500
LA20VDC	23.38	5.16	4.53	1/350
LA17VDC	20.10	3.96	5.08	1/450

En los gráficos N° 7 se muestra el efecto de la degradación de carga, apreciando como después de ocurrida las primeras fisuras (cuando el acero empieza a trabajar) antes de alcanzar la carga máxima; se nota una importante reducción de la rigidez, pero sin embargo no afecta considerablemente a la resistencia, sino después de alcanzar la carga máxima.

4.6.2 EN LA RIGIDEZ

Este parámetro es útil para analizar el comportamiento elástico e inelástico de la estructura sometida al ciclaje de cargas.

Esta degradación se produce en dos etapas

Una degradación que ocurre antes de alcanzar la carga última, ocurre fisuras moderadas, otra degradación ocurrida en la condición post-elástica donde ocurren agrietamientos importantes.

Se trabajó con la rigidez secante propuesta por Mayes y Clough para cada ciclo de histéresis.

Este cálculo se realiza encontrando la pendiente que une los puntos máximos de desplazamientos, de carga y descarga.

$$K_s = \frac{| \text{Máx. Carga Positiva} | + | \text{Máx. Carga Negativa} |}{| \text{Máx. Desplazamiento Positivo} | + | \text{Máx. Desplazamiento Negativo} |} \quad (4.1)$$

Se muestra las curvas de la degradación de rigidez por cada ciclo haciéndose una comparación con la rigidez inicial (Gráfico N° 6).

4.7 DISIPACION DE ENERGIA

El comportamiento no lineal en los sucesivos ciclos de carga y descarga origina "lazos de histéresis" como el que se muestra en la figura :

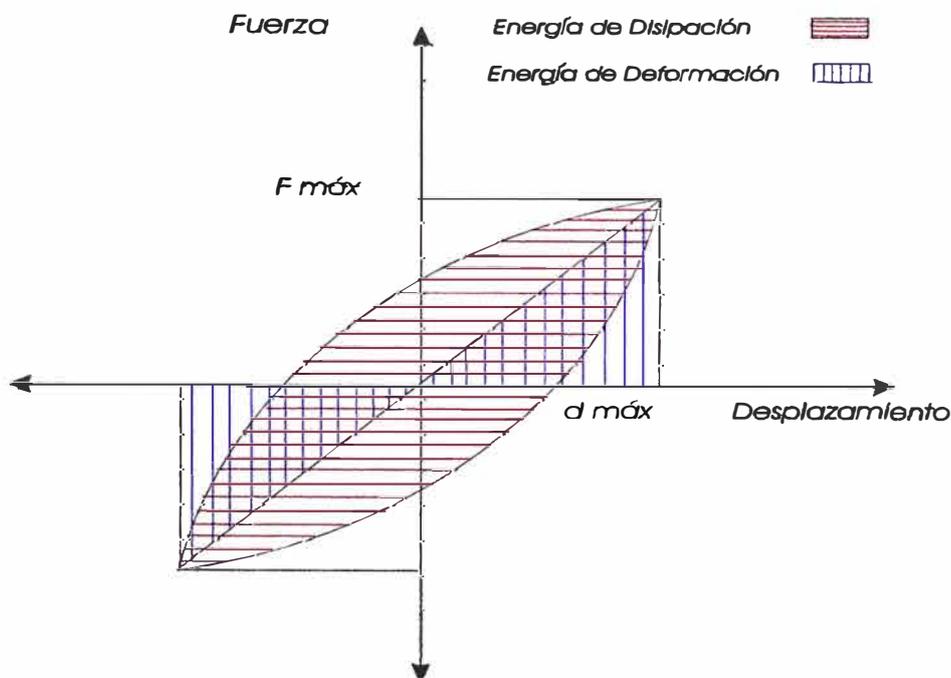


Fig. N° 8

El área encerrada por un lazo de histéresis representa la energía disipada en el ciclo (Si el diagrama se refiriera a la relación esfuerzo - deformación, el área encerrada representaría la energía disipada por unidad de volumen). Para cuantificar ésta pérdida de energía en términos de amortiguamiento conviene referirse a la energía de deformación de un sistema hipotético de comportamiento lineal, con la misma fuerza y el mismo desplazamiento máximo que el sistema real.

Si observamos cada lazo histerético encontramos que el ancho por cada ciclo crece debido a que se va disipando energía de manera creciente.

4.8 AMORTIGUAMIENTO HISTERETICO

El coeficiente de amortiguamiento histerético β_1 , puede obtenerse de

$$\beta_1 = \frac{EDT_1}{2\pi} \quad (4.2)$$

Donde EDT_1 es el indicador de disipación de energía.

$$EDT_1 = \frac{WD_1}{WD_1 + Wd_1} \quad (4.3)$$

Donde WD_1 y Wd_1 corresponden al área del lazo de histéresis y a la energía de deformación que se almacenaría en un sistema de comportamiento lineal con igual fuerza y desplazamiento máximos. Se presentan en el gráfico N° 11 el amortiguamiento histerético durante el ensayo por cada espécimen.

En el gráfico N° 12 se puede observar que los modelos con viguetas verticales alcanzan mayor amortiguamiento.

ESPECIMEN	AMORTIGUAMIENTO HISTERETICO MAXIMO
LA20VPC	0.140
LA17VPC	0.125
LA20VDC	0.129
LA17VDC	0.127

4.9 DUCTILIDAD

La definición cualitativa se refiere a la capacidad que tiene un miembro estructural de mantener cierta resistencia bajo el incremento de deformación después de alcanzada la carga máxima.

Es importante conocer la capacidad de deformación después de alcanzada esta carga, sin que la estructura colapse totalmente o sea, si tiene capacidad para disipar energía mediante deformaciones inelásticas ante cargas cíclicas.

La definición cuantitativa denomina como " **Relación de ductilidad** " al cociente del desplazamiento máximo en que la carga máxima no puede mantenerse por más tiempo, entre el desplazamiento en que esta carga es alcanzada primero como se muestra en la Fig N° 9.2.

$$\mu = \frac{\delta f}{\delta i} \quad (4.4)$$

4.9.1 INDICADORES DE DUCTILIDAD :

Los indicadores de ductilidad puede establecerse al 90% ó 70% después de alcanzada la carga máxima.

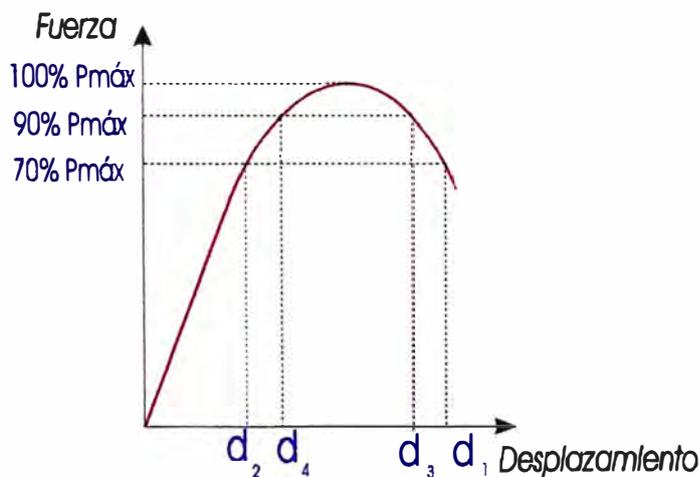


Fig. N° 9.1

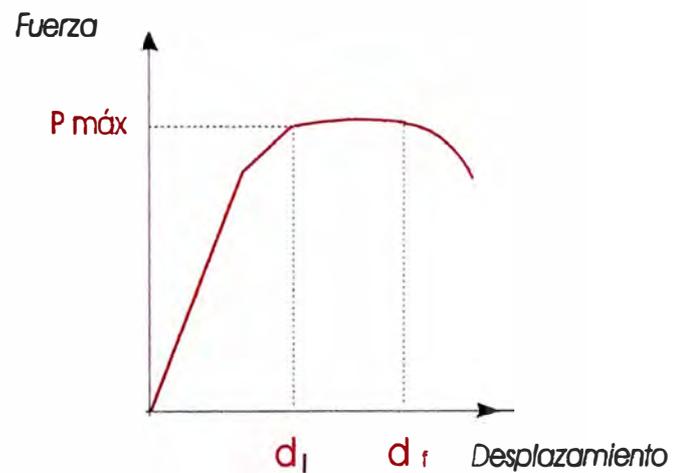


Fig. N° 9.2

$$I_d 70 \% = \frac{\delta_2}{\delta_1} \quad I_d 90 \% = \frac{\delta_4}{\delta_3} \quad (4.5)$$

Esta ductilidad está ligada al tipo y técnica de ensayo, al modo de falla, a la cuantía del acero, etc.

Estos indicadores de ductilidad se calculan como el promedio de la carga y descarga.

$$\mu_{prom} = \frac{\mu_d + \mu_c}{2} \quad (4.6)$$

También se tiene dos diferentes definiciones para vigas de concreto armado:

La primera definición de índice de ductilidad al corte μ_1 se refiere a la razón del área hasta un 75 % después de alcanzada la carga máxima y el área de la primera porción.

$$\mu_1 = \frac{A_1 + A_2}{A_1} \quad (4.7)$$

La segunda definición μ_2 es la razón del área comprendida hasta tres veces el desplazamiento correspondiente a la carga máxima y el área hasta la carga máxima.

$$\mu_2 = \frac{A_3 + A_4}{A_3} \quad (4.8)$$

Esta definición puede ser válida si idealizamos al espécimen como una viga.

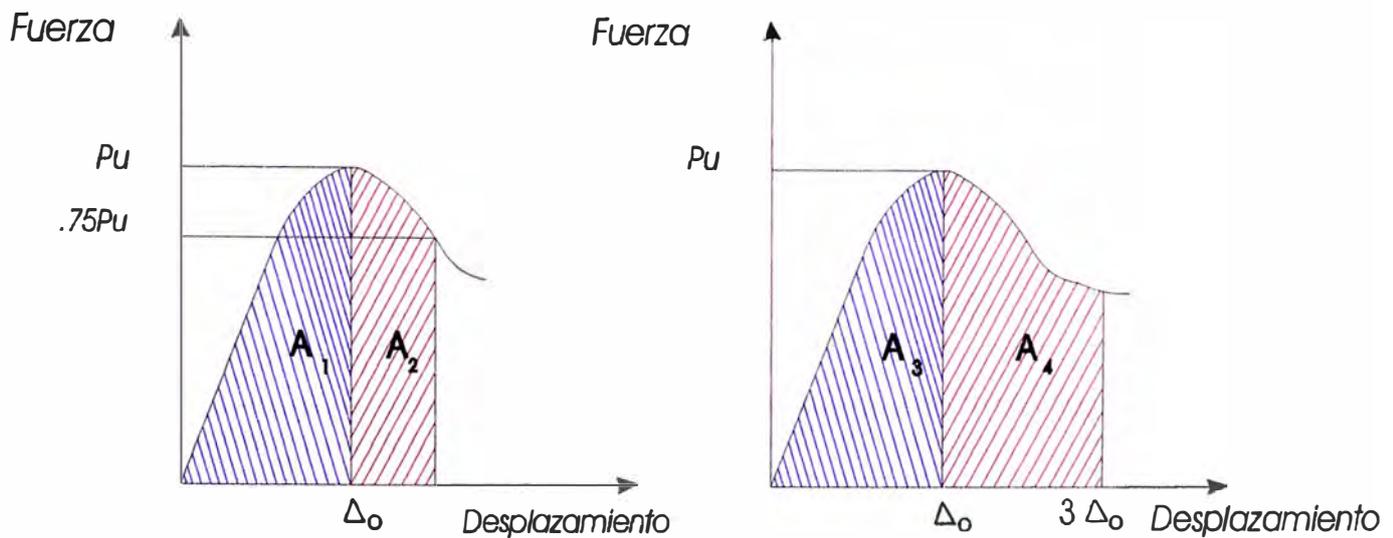


Fig. Nº 10

ESPECIMEN	RELACION DE DUCTILIDAD
LA20VPC	2.90
LA17VPC	1.65
LA20VDC	-----
LA17VDC	-----

4.10 RELACION DE DEFORMACION DEL ACERO DE REFUERZO

Los medidores de deformación usados en el ensayo son catalogados como medidores de resistencia eléctrica, que se adhieren en este caso al acero de refuerzo en la dirección conocida de la tensión. Estos son sensibles y capaces de detectar una deformación de una longitud finita.

Cada medidor tiene un factor de medida (FM), definiendo a éste factor como la relación entre el cambio de resistencia eléctrica por unidad al cambio de longitud por unidad :

$$FM = \frac{\Delta R / R}{\Delta L / L} = 1 + 2 \nu + \frac{d \rho / \rho}{d L / L} \quad (4.9)$$

Donde la resistividad esta dada por ρ , la resistencia por R, el cambio total de resistencia y longitud, ΔR y ΔL respectivamente.

Se indica la relación de deformación del acero entre los primeros ciclos, en el estado lineal y en el estado último.

ESPECIMEN	ESTADO FINAL (+) (t)	ESTADO LINEAL MAX. (+) (t)	PRIMER CICLO (+)	RELACION DE DEFORMACION (compresión)	RELACION DE DEFORMACION (Tracción)
LA20VPC	30.23	18.6	3.42	1: 21: 29	1: 59:117
LA17VPC	24.60	11.8	1.81	1: 46: 83	1: 13:233
LA20VDC	19.88	13.95	3.05	-----	-----
LA17VDC	20.11	9.5	4.28	1: 8: 31	1: 27: 29

ESPECIMEN	ESTADO FINAL (-) (t)	ESTADO LINEAL MAX. (-) (t)	PRIMER CICLO (t)	RELACION DE DEFORMACION (Compresión)	RELACION DE DEFORMACION (tracción)
LA20VPC	27.56	21.8	7.59	1:1,4:7,5	1:1,1: 21
LA17VPC	26.40	13.18	5.25	1: 43: 53	1: 35:310
LA20VDC	23.38	18.18	8.97	-----	-----
LA17VDC	20.10	11.5	6.20	1:1.3: 8	1:1.2:7.5

4.11 LA ROSETA DE DEFORMACIONES

Para encontrar las direcciones y cuantía de los esfuerzos principales, se necesitan conocer tres valores de la deformación ϵ_x , ϵ_y , γ_{xy} , como se ve en la Fig. N° 11.

Mediante tres deformaciones lineales ϵ_a , ϵ_b , ϵ_c en tres direcciones arbitrarias θ_a , θ_b , θ_c en el mismo punto, resulta el siguiente sistema de ecuaciones :

$$\begin{aligned}\epsilon_a &= \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} + \frac{\epsilon_x - \epsilon_y}{2} \cos 2\theta_a - \frac{\gamma_{xy}}{2} \operatorname{sen} 2\theta_a \\ \epsilon_b &= \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} + \frac{\epsilon_x - \epsilon_y}{2} \cos 2\theta_b - \frac{\gamma_{xy}}{2} \operatorname{sen} 2\theta_b \\ \epsilon_c &= \frac{\epsilon_x + \epsilon_y}{2} + \frac{\epsilon_x - \epsilon_y}{2} \cos 2\theta_c - \frac{\gamma_{xy}}{2} \operatorname{sen} 2\theta_c\end{aligned}\quad (4.10)$$

La solución de este sistema determina los valores de las componentes de la deformación ϵ_x , ϵ_y , γ_{xy} .

Por conveniencia práctica se escoge una de estas tres combinaciones de tres extensómetros :

1.- Tres instrumentos colocados con sus ejes a 45°.

$$\epsilon_x = \epsilon_a \qquad \epsilon_y = \epsilon_c \qquad \frac{1}{2} \gamma_{xy} = \frac{\epsilon_a + \epsilon_c}{2} - \epsilon_b$$

2.- Tres instrumentos colocados con sus ejes a 60°.

$$\epsilon_x = \epsilon_a \qquad \epsilon_y = \frac{1}{3} (2 \epsilon_b + 2 \epsilon_c - \epsilon_a) \qquad \frac{1}{2} \gamma_{xy} = \frac{1}{\sqrt{3}} (\epsilon_c - \epsilon_b)$$

Para el caso de los ensayos se colocaron estos medidores con sus ejes a 35° o sea $\theta_a=0$, $\theta_b=35^\circ$, $\theta_c=90^\circ$, que reemplazados en la ecuación (4.10) resulta :

$$\epsilon_x = \epsilon_a \qquad \epsilon_y = \epsilon_c$$

Para los especímenes LA20VPC y LA17VPC se tiene :

$$\gamma_{xy} = \frac{0.6710765 \epsilon_a + 0.3289235 \epsilon_c - \epsilon_b}{0.4698221} \quad (4.11)$$

Para los especímenes LA20VDC y LA17VDC se tiene :

$$\gamma_{xy} = \frac{0.6438156 \epsilon_a + 0.3561432 \epsilon_c - \epsilon_b}{0.4788706} \quad (4.12)$$

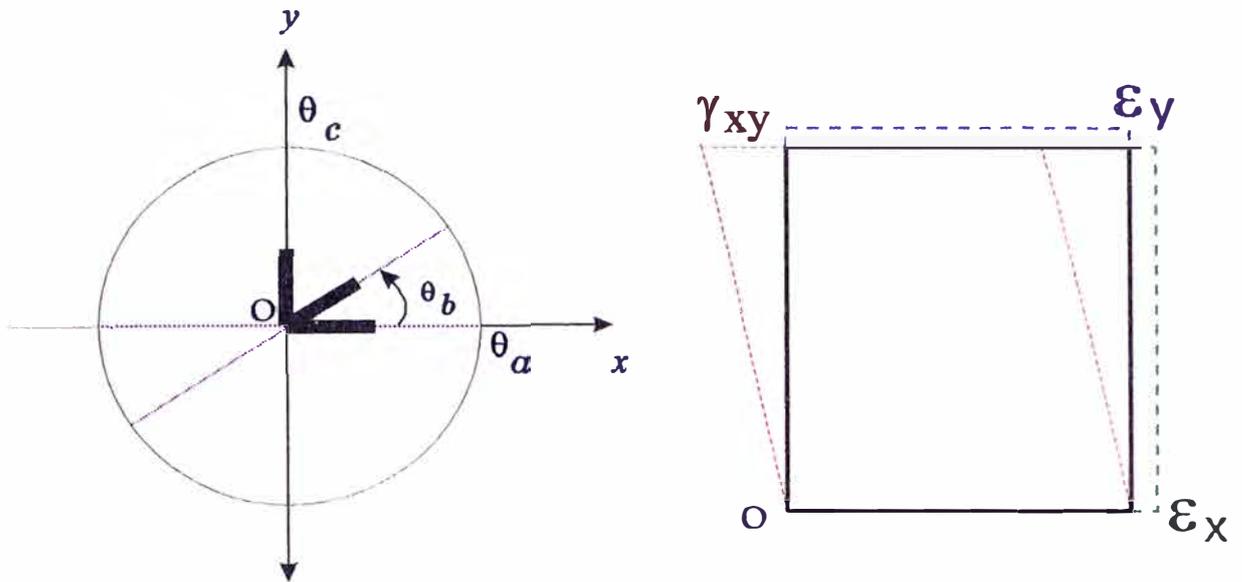


Fig. Nº 11 La Roseta de Deformaciones

En un caso típico de análisis experimental de esfuerzos en un punto de la superficie de un cuerpo, una vez medidas las deformaciones unitarias en ese punto se puede calcular los esfuerzos usando la Ley de Hooke, de tal manera que el material obedezca a esta ley y se conozca su constante elástica :

$$\sigma_{xx} = \frac{E}{1 - \nu^2} (\epsilon_{xx} + \nu \epsilon_{yy})$$

$$\sigma_{yy} = \frac{E}{1 - \nu^2} (\epsilon_{yy} + \nu \epsilon_{xx}) \quad (4.13)$$

$$\tau_{xy} = \frac{E}{2 (1 + \nu)} \gamma_{xy}$$

En los gráficos Nº 14 se presenta las fuerzas frente a las distorsiones angulares en el plano del espécimen.

4.12 COMENTARIOS FINALES

- El equipo de ensayo no se ajustó a lo programado teóricamente, por lo tanto el desplazamiento efectivo es el registrado por el transductor principal, ésta es la historia de desplazamiento real de la estructura para ser utilizado en la evaluación de los parámetros.

-Las fisuras en el empotramiento son debidas a la concentración de esfuerzos provocados por el cambio en la geometría al pasar de la viga de anclaje a la losa aligerada.

Aparte de las grietas de tracción diagonal y las de tracción por flexión, se apreciaron grietas horizontales en los ladrillos debido al deslizamiento ocasionados por las viguetas en forma paralelas. La capacidad resistente a la flexión se debe al refuerzo vertical perpendicular a la carga y al corte por el refuerzo horizontal.

- Se eligió comparar las rigideces secantes sucesivas con respecto de la rigidez basada en la envolvente de fuerzas y desplazamientos viendo de éste modo su degradación.

- Se deja para un posterior estudio las deformaciones unitarias en el acero de refuerzo en vista que se desconoce el factor de medida del medidor de deformaciones del acero (strain gages), más bien se aprovechó estos resultados para ver la relación que existe en la deformación del acero entre un estado y otro de carga.

- Las rosetas de transductores o rosetas de deformaciones se utilizaron para evaluar la distorsión angular en el plano de la losa durante todo el ensayo y las deformaciones unitarias en las dos direcciones (x, y) , las cuales sirvieron para encontrar el esfuerzo cortante en el plano de la losa en el rango lineal.

- La evaluación de la energía de disipación sirvió para comparar que espécimen liberó mayor cantidad de energía ya sea por las fisuras, grietas y cuantificarla de un modo por medio del amortiguamiento histerético.

CAPITULO V

COMPARACION CON RESULTADOS TEORICOS

En este capítulo se presenta una estimación de la carga de falla del espécimen y con ésta se encuentra el desplazamiento respectivo, que servirá para elaborar directamente la historia de desplazamientos.

Se realiza el análisis teórico idealizando al modelo de tal manera que represente por lo menos todas las acciones en la estructura real para comprender todos sus efectos, por lo tanto se descompone al modelo como un medio discreto, o sea un número finito de elementos donde en cada uno de ellos pueda conocerse claramente su comportamiento.

Se hace la formulación bastante breve del método de los elementos finitos y se obtienen los resultados con la ayuda de un programa de cómputo, realizando luego la comparación con los resultados experimentales de rigidez, esfuerzos de corte en el plano, deformaciones.

5.1 DETERMINACION DE LA CARGA DE FALLA TEORICA

Considerando al espécimen como una viga y usando la ecuación

$$\tau_{xy} = \frac{V Q}{I t} \quad (5.1)$$

Como una aplicación práctica para determinar el esfuerzo cortante en cualquier punto de la sección transversal.

Se determinaron los esfuerzos cortantes correspondientes a una carga de 1000 Kg.

Para los especímenes LA20VPC y LA17VPC : El momento centroidal de inercia (incluyendo el acero) I_z , y el espesor de la losa, b_1 , son :

ESPECIMEN	I_z (cm^4)	b_1
LA20VPC	1.349×10^7	20.57
LA17VPC	1.219×10^7	17.57

De donde resultan *

$$\begin{aligned} \tau_{xy} &= V (125 - 0.5 y) y / I_z & 0 \leq y \leq 10 \\ \tau_{xy} &= V (240b_1 + 0.5 (y-10) (240-y)) / I_z & 10 \leq y \leq 40 \\ \tau_{xy} &= V (1200b_1 + 15000 + b_1 (y - 40) (105 - 0.5y)) / (I_z \cdot b_1) & 40 \leq y \leq 50 \\ \tau_{xy} &= V (400b_1 + 3000 + 0.5 (y - 50) (200 - y)) / I_z & 50 \leq y \leq 80 \\ \tau_{xy} &= V (2000b_1 + 24000 + b_1 (y - 80) (85 - 0.5y)) / (I_z \cdot b_1) & 80 \leq y \leq 90 \\ \tau_{xy} &= V (480b_1 + 4800 + 0.5 (y - 90) (160 - y)) / I_z & 90 \leq y \leq 120 \\ \tau_{xy} &= V (2400b_1 + 27000 + b_1 (y - 120) (180 - 0.5y)) / (I_z \cdot b_1) & 120 \leq y \leq 125 \end{aligned}$$

Del diagrama de esfuerzo cortante (Gráfico N° 16) se observa un máximo : $\tau_{xy} = 1.13 \text{ P}$.

Igualando con el esfuerzo cortante admisible (afectado por un factor 1.5 para considerar que no se esta usando un esfuerzo promedio sino el máximo).

$$V_c = 1.5 \times 0.53 \sqrt{f'c} = 10.9 \text{ K/cm}^2 = 1.13 \text{ P}.$$

Se concluye que $P_{\text{máx}} = 9.6 \text{ t}$.

Para esta fuerza puede estimarse el desplazamiento :

$$x = \left(\frac{4 + \phi}{12} \right) \frac{P L^3}{E I} \quad (5.2)$$

Donde: $\phi = \frac{12 E I}{G A_s L^2}$

El desplazamiento será 0.1787 cm para ambos especímenes, lo que corresponde a una distorsión (h = 180) $\Delta = 1/1020$.

De igual forma para los especímenes LA20VDC y LA17VDC se tienen :

ESPECIMEN	Iz (cm ⁴)	b (cm)
LA20VDC	0.6909 × 10 ⁷	5
LA17VDC	0.6909 × 10 ⁷	5

De donde resultan :

$$\tau_{xy} = V (127.5 - 0.5 y) y / I_z \quad 0 \leq y \leq 127.5$$

Tomando un esfuerzo cortante máximo $\tau_{xy} = 1.18 \text{ Kg/cm}^2$.

Igualando con el esfuerzo cortante admisible $V_c = 10.9 \text{ k/cm}^2 = 1.18 \text{ P}$.

Se concluye que $P_{\text{máx}} = 9.2 \text{ T}$.

El desplazamiento para los dos especímenes será $x = 0.331 \text{ cm}$.

Entonces la distorsión es (h = 170 cm) $\Delta = 1/510$

En base a estas distorsiones se realiza la historia de desplazamientos teórico.

5.2 ESTUDIO TEORICO UTILIZANDO ELEMENTOS FINITOS

El método de los elementos finitos es un procedimiento numérico para obtener soluciones a ecuaciones en derivadas parciales.

Este método es usado ampliamente en la solución de problemas prácticos, como el de determinar esfuerzos en estructuras. Utilizando muchos elementos se puede aproximar cualquier continuo con las más complejas condiciones de borde y carga que pueda presentar. La formulación aquí empleada se basa en aproximaciones para los desplazamientos.

5.2.1 RELACIONES BASICAS DE LA TEORIA DE ELASTICIDAD :

El estado de esfuerzos en un punto es definido por seis componentes, como se muestra: Fig. Nº 12.

Estas componentes se expresan como :

$$\{ \sigma \}^T = [\sigma_{xx} , \sigma_{yy} , \sigma_{zz} , \tau_{xy} , \tau_{xz} , \tau_{yz}] \quad (5.3)$$

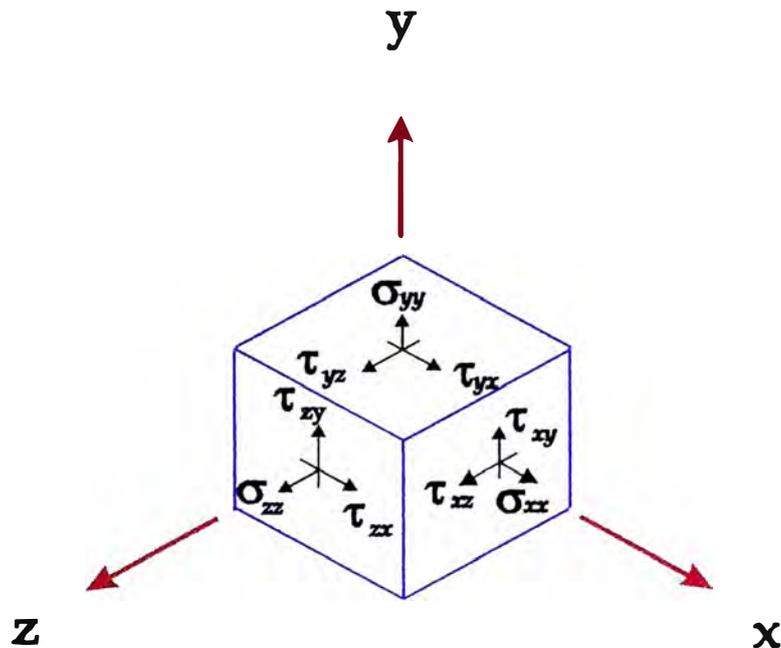


Fig. Nº 12 Esfuerzos en un Punto

Cada punto del cuerpo se mueve a una nueva ubicación y los desplazamientos resultantes tienen tres componentes u, v y w paralelos a X, Y y Z respectivamente.

Las componentes de deformación pueden también agruparse en una matriz columna.

$$\text{Deformación elástica :} \{ \epsilon \}^T = [\epsilon_{xx} , \epsilon_{yy} , \epsilon_{zz} , \epsilon_{xy} , \epsilon_{xz} , \epsilon_{yz}] \quad (5.4)$$

Las componentes de esfuerzo y deformación elásticas se relacionan mediante :

$$\{ \epsilon \} = [C] \{ \sigma \} \text{ ó } \{ \sigma \} = [D] \{ \epsilon \} \quad (5.5)$$

Lo que habitualmente se denomina la "ley de Hooke generalizada".

Para el caso isotrópico los coeficientes en [C] son :

$$[C] = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\mu & -\mu & 0 & 0 & 0 \\ -\mu & 1 & -\mu & 0 & 0 & 0 \\ -\mu & -\mu & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

Donde E es el módulo de elasticidad, μ es el módulo de Poisson, y $a = 2(1 + \mu)$

Los coeficientes en [D] son :

$$[D] = \begin{bmatrix} \lambda + 2G & \lambda & \lambda & 0 & 0 & 0 \\ \lambda & \lambda + 2G & \lambda & 0 & 0 & 0 \\ \lambda & \lambda & \lambda + 2G & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & G & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & G & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & G \end{bmatrix} \quad (5.7)$$

Donde : $\lambda = \frac{G \mu}{1 - 2\mu}$ y $G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$ (5.8)

Nótese que el módulo de Poisson debe ser menor que 1/2.

5.2.2 LAS ECUACIONES DESPLAZAMIENTO - DEFORMACION :

Cada componente de desplazamiento de cada punto es una función de las tres coordenadas, como es :

$$u = f(x, y, z) , \quad v = g(x, y, z) , \quad w = h(x, y, z) \quad (5.9)$$

En el análisis por Elementos Finitos las funciones f, g, y h pueden aproximarse localmente (en cada subregión. Elemento) mediante interpolación de los valores de u, v, w en los "nudos" de la malla.

Al resolver problemas de elasticidad, las ecuaciones de desplazamientos quedan indicados en la forma general :

$$[u] = \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = [N] \{ U^{(e)} \} \quad (5.10)$$

Donde $\{ \mathbf{U}^{(e)} \}$ es el vector columna que contiene los desplazamientos nodales del elemento, la matriz $[\mathbf{N}]$ contiene las funciones de forma (de interpolación) del elemento.

Las componentes de deformación y desplazamientos se relacionan como :

$$\begin{aligned} \epsilon_{xx} &= \frac{\partial u}{\partial x}, & \epsilon_{yy} &= \frac{\partial v}{\partial y}, & \epsilon_{zz} &= \frac{\partial w}{\partial z} \\ \epsilon_{xy} &= \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}, & \epsilon_{xz} &= \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x}, & \epsilon_{yz} &= \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \end{aligned} \quad (5.11)$$

De lo anterior :

$[\partial] [\mathbf{N}]$ se denomina $[\mathbf{B}]$, definida para la evaluación de :

$$\epsilon = [\partial] \{ \mathbf{u} \} = [\mathbf{B}] [\mathbf{N}] \{ \mathbf{U}^{(e)} \} = [\mathbf{B}] \{ \mathbf{U}^{(e)} \} \quad (5.12)$$

La matriz $[\mathbf{B}]$ contiene seis filas y tantas columnas como filas tenga $\{ \mathbf{U}^{(e)} \}$.

La primera fila de $[\mathbf{B}]$ resulta de diferenciar la ecuación de desplazamiento para u con respecto a x , es decir $\epsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x}$. La segunda fila contiene $\epsilon_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y}$, etc.

5.2.3 ENERGIA DE DEFORMACION :

La energía de deformación :

$$A^{(e)} = \int_V (\sigma_{xx} \epsilon_{xx} + \sigma_{yy} \epsilon_{yy} + \sigma_{zz} \epsilon_{zz} + \sigma_{xy} \epsilon_{xy} + \sigma_{xz} \epsilon_{xz} + \sigma_{yz} \epsilon_{yz}) \quad (5.13)$$

que puede ser escrito como :

$$A^{(e)} = \int_V \{ \sigma \}^T \{ \epsilon \} dV \quad (5.14)$$

Las componentes de esfuerzo puede ser reemplazada como la segunda forma de (5.5) resultando:

$$A^{(e)} = \int_V \{ \epsilon \}^T [\mathbf{D}] \{ \epsilon \} dV \quad (5.15)$$

porque $[\mathbf{D}]$ es simétrica.

Se sustituye la ecuación (5.15) por $\{ \epsilon \}$. La ecuación de la energía de deformación se escribe en términos de desplazamientos nodales del elemento.

$$A^{(e)} = \frac{1}{2} \int_V \{ \mathbf{U}^{(e)} \}^T [\mathbf{B}]^T [\mathbf{D}] [\mathbf{B}] \{ \mathbf{U}^{(e)} \} dV \quad (5.16)$$

5.2.4 TRABAJO DE LAS FUERZAS EXTERNAS :

Todo trabajo debido a la aplicación de cargas puede ser dividido dentro tres diferentes partes: Aquellas debidas a cargas concentradas que es el producto de $\{ \mathbf{U} \}^T \{ \mathbf{P} \}$, aquellos que resultan de la acción de las cargas distribuídas que actúan en la superficie dada por :

$$W^{(\theta)}_p = \int_{\Gamma} (u p_x + v p_y + w p_z) \partial \Gamma \quad (5.17)$$

Donde p_x , p_y y p_z son las componentes de las fuerzas en las tres direcciones. Usando (5.10) permite que (5.17) se escriba como :

$$W^{(\theta)}_p = \int_{\Gamma} \{ \mathbf{U}^{(\theta)} \}^T [\mathbf{N}]^T \begin{Bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{Bmatrix} \partial \Gamma \quad (5.18)$$

Y el trabajo realizado por todas aquellas fuerzas del cuerpo (peso propio) X , Y , y Z esta dado por :

$$W^{(\theta)}_{pp} = \int_V (u X + v Y + w Z) dV \quad (5.19)$$

Tenemos u , v , y w son las componentes de los desplazamientos. Usando (5.10) permite (5.19) escribirse como :

$$W^{(\theta)}_{pp} = \int_V \{ \mathbf{U}^{(\theta)} \}^T [\mathbf{N}]^T \begin{Bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{Bmatrix} dV \quad (5.20)$$

5.2.5 CALCULO DE LAS MATRICES CORRESPONDIENTES A UN ELEMENTO :

Energía potencial total en un sistema tridimensional contínuo elástico (en la estructura) es :

$$\Pi = \sum_{\theta} \Pi^{(\theta)} - \{ \mathbf{U} \}^T \{ \mathbf{P} \} \quad (5.21)$$

donde el potencial en un elemento es :

$$\Pi^{(\theta)} = \mathbf{A}^{(\theta)} - W^{(\theta)}_{pp} - W^{(\theta)}_p \quad (5.22)$$

Sustituyendo (5.16), (5.18) y (5.20) en (5.22) tenemos :

$$\begin{aligned} \Pi^{(e)} = & \frac{1}{2} \{ \mathbf{U}^{(e)} \}^T \left(\int_V [\mathbf{B}]^T [\mathbf{D}] [\mathbf{B}] dV \right) \{ \mathbf{U}^{(e)} \} \\ & - \{ \mathbf{U}^{(e)} \}^T \left(\int_V [\mathbf{N}]^T \begin{Bmatrix} \mathbf{X} \\ \mathbf{Y} \\ \mathbf{Z} \end{Bmatrix} dV + \int_{\Gamma} [\mathbf{N}]^T \begin{Bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{Bmatrix} d\Gamma \right) \end{aligned} \quad (5.23)$$

El principio de Energía Potencial establece que para la posición de equilibrio el funcional se debe hacer estacionario (mínimo) es decir :

$$\frac{\partial \Pi^{(e)}}{\partial \{ \mathbf{U} \}} = [\mathbf{0}] \quad (5.24)$$

Tendremos de este modo la matriz de rigidez del elemento :

$$[\mathbf{K}] = \int_V [\mathbf{B}]^T [\mathbf{D}] [\mathbf{B}] dV \quad (5.25)$$

y el vector fuerza del elemento es :

$$\{ \mathbf{f}^{(e)} \} = \int_V [\mathbf{N}]^T \begin{Bmatrix} \mathbf{X} \\ \mathbf{Y} \\ \mathbf{Z} \end{Bmatrix} dV + \int_{\Gamma} [\mathbf{N}]^T \begin{Bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{Bmatrix} d\Gamma \quad (5.26)$$

Lo que conduce a un sistema de ecuaciones lineales:

$$[\mathbf{K}^{(e)}] \{ \mathbf{U}^{(e)} \} - \{ \mathbf{f}^{(e)} \} = [\mathbf{0}] \quad (5.27)$$

Luego se hace la compatibilidad entre el elemento y sus vecinos. Esto se hará en el momento de ensamblar la matriz de rigidez sumando apropiadamente la matriz de rigidez de los elementos, aquí es donde intervienen las cargas concentradas.

Resolviendo este sistema se determinan los desplazamientos nodales $\{ \mathbf{U}^{(e)} \}$; a partir de los cuales se determina las deformaciones unitarias :

$$\{ \boldsymbol{\varepsilon} \} = [\mathbf{B}] \{ \mathbf{U}^{(e)} \}$$

Con éstos se determinan los esfuerzos :

$$\{ \boldsymbol{\sigma} \} = [\mathbf{D}] \{ \boldsymbol{\varepsilon} \}$$

5.3 ESTIMACION DE LA RIGIDEZ

Para realizar el análisis elástico, que sirvió para hacer la comparación con los resultados experimentales.

Se utilizó el programa de cómputo SAP - 90, que permitió evaluar el comportamiento teórico en el rango lineal.

Este programa desarrollado por Edward L. Wilson y Ashral Habibullah, fue elaborado en la Universidad de California en Berkeley, hace uso del Método de los Elementos Finitos teniendo alcances tanto para el análisis estático y dinámico.

El elemento usado fue " SOLID " de ocho nudos el análisis estático o dinámico con elementos en el estado tridimensional, esta diseñado para que trabaje con características de material diferente en cada dirección de los ejes de coordenadas globales.

Para el análisis la discretización incluyó la losa aligerada, la viga de aplicación de carga, el ladrillo de techo en un caso y en el otro sin el.

Las dimensiones de los elementos solidos se indican a continuación

DIMENSIONES	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
LA20VPC y LA17VPC	10	15	5
LA20VDC y LA17VDC	10	10	5

La rigidez se calcula dividiendo el valor de la fuerza aplicada entre el desplazamiento promedio del punto superior central del espécimen obtenidas de los gráficos N° 16 y 17. Se puede apreciar en el eje de aplicación de la carga que el desplazamiento decrece a medida que se aleja del punto de aplicación es por ello que se toma como desplazamiento representativo, el desplazamiento central ya que no esta distorsionado por la carga. En este gráfico se presentan los desplazamientos por cada plano, en el primer plano empieza la losa de concreto, en el segundo el ladrillo de techo y terminando luego en el tercer plano (ver Fig.N° 13).

En el siguiente cuadro se muestran estas rigideces para cada espécimen.

ESPECIMEN	RIGIDEZ TEORICA (μmm) (Considerando el ladrillo)	RIGIDEZ TEORICA (μmm) (sin considerar el ladrillo)	RIGIDEZ EXPERIMENTAL DE LA ENVOLVENTE DE FUERZAS Y DESPLAZAMIENTOS (μmm)	RIGIDEZ EXPERIMENTAL SECANTE PROMEDIO (μmm)
LA20VPC	74.8	74.4	39.6	46.0
LA17VPC	73.0	72.7	28.1	31.2
LA20VDC	68.8	68.5	11.2	12.6
LA17VDC	67.3	67.2	11.3	14.7

5.4 DETERMINACION DE LOS ESFUERZOS DE CORTE

Los esfuerzos de corte han sido evaluados para una carga proporcional a 1000 kg, por medio del Programa SAP90 y son comparados con los esfuerzos de corte obtenidos de la roseta de

deformaciones según la ecuación (4.13) en el rango lineal.

La comparación se realiza en el punto central del plano de la losa, ya que el esfuerzo obtenido por la roseta de deformaciones, se asume como un esfuerzo promedio en el plano representativo tanto para el plano superior y anterior

En el siguiente cuadro se muestran los esfuerzos cortantes en el plano para cada espécimen.

PLANO POSTERIOR (Cara de la losa)

ESPECIMEN	CARGA (+)	ESFUERZOS DE CORTE TEORICO 1 (+) (K/cm ²)	ESFUERZOS DE CORTE TEORICO 2 (+) (K/cm ²)	ESFUERZOS DE CORTE EXPERIMENTAL (+) (K/cm ²)	CARGA (-)	ESFUERZOS DE CORTE TEORICO 1 (-) (K/cm ²)	ESFUERZOS DE CORTE TEORICO 2 (-) (K/cm ²)	ESFUERZOS DE CORTE EXPERIMENTAL (-) (K/cm ²)
LA20VPC	10.44	7.69	8.87	2.95	14.94	11.01	12.69	0.55
LA17VPC	9.01	7.07	8.22	15.61	10.45	8.20	8.20	1.85
LA20VDC	13.72	11.03	12.67	16.19	14.93	12.01	13.79	19.16
LA17VDC	12.76	10.44	12.11	12.44	11.18	9.15	10.61	13.44

PLANO ANTERIOR (Cara de las viguetas)

ESPECIMEN	CARGA (+)	ESFUERZOS DE CORTE TEORICO 1 (+) (K/cm ²)	ESFUERZOS DE CORTE TEORICO 2 (+) (K/cm ²)	ESFUERZOS DE CORTE EXPERIMENTAL (+) (K/cm ²)	CARGA (-)	ESFUERZOS DE CORTE TEORICO 1 (-) (K/cm ²)	ESFUERZOS DE CORTE TEORICO 2 (-) (K/cm ²)	ESFUERZOS DE CORTE EXPERIMENTAL (-) (K/cm ²)
LA20VPC	10.44	0.36	0.38	1.92	14.94	0.51	0.55	0.14
LA17VPC	13.73	0.23	0.33	7.62	5.25	0.09	0.13	2.40
LA20VDC	3.62	0.10	0.04	16.16	3.62	0.03	0.01	7.94
LA17VDC	12.76	0.06	0.02	2.52	7.69	0.03	0.01	10.65

En la Fig.Nº 14 se indica la posición donde se calcula el esfuerzo cortante en el plano de la losa y de las viguetas evaluada por la roseta de deformaciones.

En los gráficos Nº 18 se muestran la distribución de los esfuerzos cortantes en los tres planos y en sus tres ejes, superior, central e inferior que es en el empotramiento, dando resultados de esfuerzos máximos como se indican en el siguiente cuadro :

ESPECIMEN	ESFUERZOS MAXIMOS (Kg/cm ²)		
	SECCION INFERIOR	SECCION CENTRAL	SECCION SUPERIOR
LA20VPC	0.7474	0.9594	0.2920
LA17VPC	0.7647	0.9710	0.2967
LA20VDC	0.5319	1.0820	0.3328
LA17VDC	0.5463	1.1020	0.3486

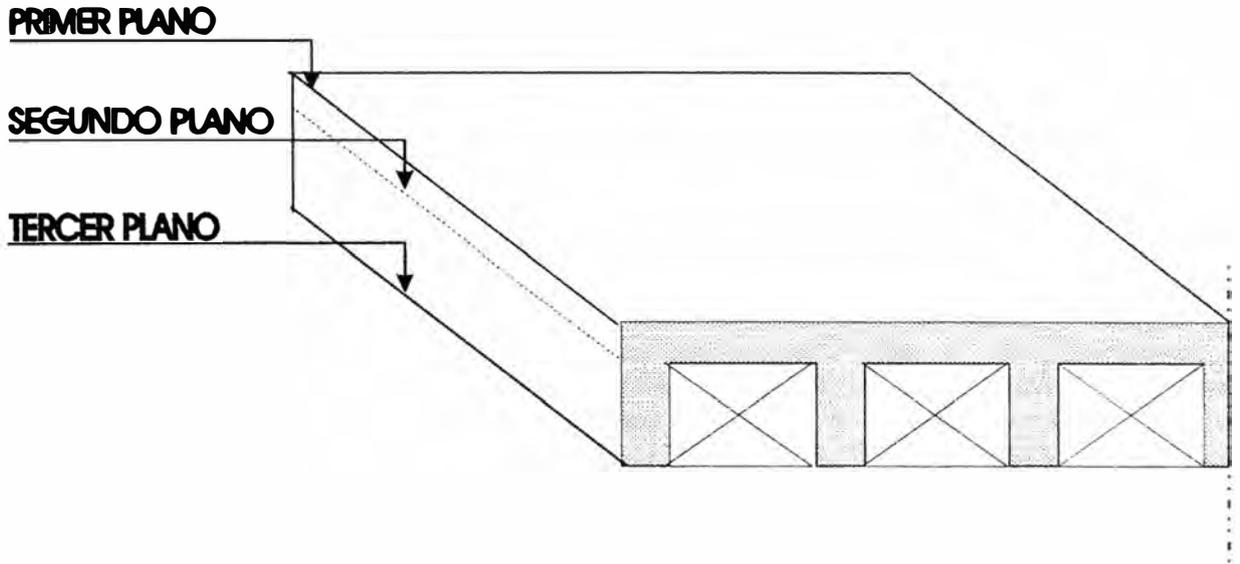


Fig. N 13

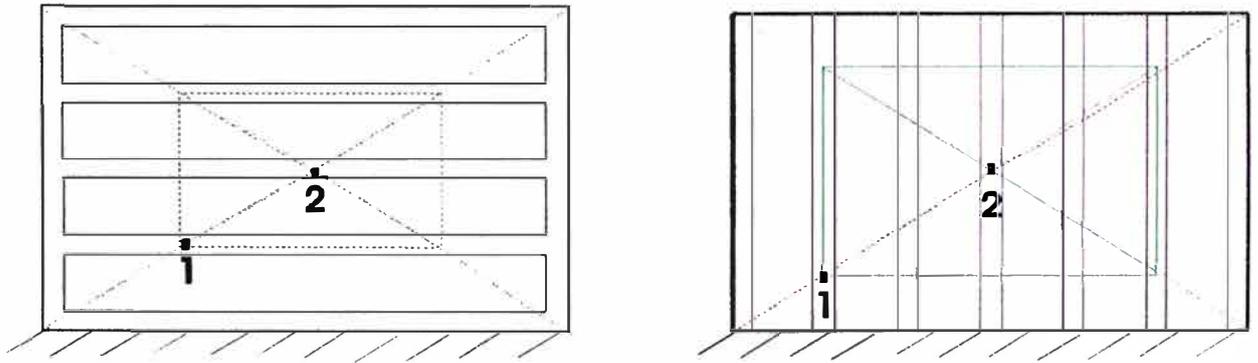


Fig. N 14

CAPITULO VI

OBSERVACIONES, RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

6.1- OBSERVACIONES

Cuando las losas aligeradas se solicitan con cargas en dirección perpendicular a las viguetas presentan grietas de tracción diagonal en ambas caras (típicas de efectos por corte). El patrón de agrietamiento es distinto cuando se cargan en la dirección de las viguetas; en éstas se forman grietas horizontales en los ladrillos debido al movimiento relativo de las viguetas mientras que en la otra cara aparecen grietas horizontales a lo largo del empotramiento como de cizallamiento. Además la cara de las viguetas sufre mayor cantidad de daños, porque la adherencia entre ladrillo y vigueta es pequeña comparada con la resistencia del concreto.

Cualquiera que sea la dirección en el plano de la losa se presentan mayor cantidad de grietas en el empotramiento y cerca a él debido a que las acciones combinadas de corte y momento flector son máximas en ese extremo. Por otro lado, también influye el cambio brusco de rigidez entre la losa y la viga de anclaje, de mucho mayor dimensión.

Si se comparan los esfuerzos en las caras de la losa y en el plano límite entre los ladrillos

y la losa de 5 cm, se concluye que no existe uniformidad de esfuerzos en esos tres planos. Esto es confirmado por la mayor cantidad de grietas en una cara en comparación con la otra.

Tanto los esfuerzos evaluados por la ecuación (5.1) y los resultados obtenidos por elementos finitos indican una disminución de esfuerzos en los tramos donde la losa pasa a la sección de vigueta, aunque los valores discrepan en un 35 %.

Al evaluar la resistencia en las losas de 20 y 17 cm de espesor y en cualquiera de las dos direcciones se aprecia una diferencia no sustancial entre las losas aligeradas de distinto espesor. La resistencia de la losa de 20 cm de espesor es aproximadamente del 10% mayor que aquella de la losa de 17 cm, mientras que la rigidez es 33% mayor. Esto se debe a que la losa de 5 cm toma la mayor parte de la fuerza en relación a las viguetas.

Al comparar las cuatro envolventes de fuerzas y desplazamientos, se aprecia directamente que hay mayor rigidez cuando la carga es aplicada perpendicularmente a las viguetas que en la otra dirección. Dado que es la losa continua de 5 cm la que toma la mayor parte del corte, se concluye que las diferencias en rigidez deben ser causadas por los efectos de flexión, que no pudieron ser evitados en los ensayos.

Otra dificultad al evaluar la rigidez radica en la imprecisión de las mediciones de desplazamientos (por lo pequeños que éstos son) en los primeros ciclos de histéresis, acompañada de una diferencia en la capacidad al comprimir que al traccionar, es por ello que difieren en algunos ciclos sucesivos los valores de la rigidez secante. Sin embargo para conocer el orden de magnitud se comparó la rigidez promedio de los primeros ciclos de histéresis con la rigidez evaluada de la envolvente de las fuerzas y desplazamientos.

Por medio de los resultados de la energía disipada se puede apreciar que los especímenes de 20 cm de espesor liberaron mayor cantidad de energía ya sea por la cantidad de grietas o el tamaño de las mismas.

Aunque el ensayo no llevó al colapso a los especímenes, los resultados muestran un comportamiento más dúctil, que lo inicialmente esperado.

La discrepancia entre resultados teóricos y experimentales se deben a diversos factores como son:

En la parte experimental, uno de ellos es el efecto de flexión, que no se pudo cuantificar y diferenciar del efecto por corte.

En la parte teórica sería la sobrestimación del módulo de elasticidad (E) y el módulo de

corte (G) para el concreto aunque se trabajó con el módulo de elasticidad en el momento del ensayo. También el considerar a la losa como un material uniforme isotrópico y homogéneo.

Y por último en la idealización del modelo teórico, las condiciones de apoyo y la solicitación de la carga.

De los resultados teóricos por elementos finitos, se puede apreciar que una gran parte de la fuerza la toma la losa de 5 cm (Gráficos N° 18) y esto se puede verificar ya que la parte más resistente es la losa por lo tanto podrían ignorarse las viguetas y obtener rigidez y resistencia por fórmulas más simples.

La discretización del modelo por elementos finitos consideró dos formas, una incluyendo el ladrillo de techo y otra prescindiendo de él, viendo de este modo que el aporte de los ladrillos huecos a la rigidez y resistencia de la losa es despreciable como del 0.5%.

6.2.- RECOMENDACIONES

Es necesario dar un mantenimiento periódico al equipo de ensayo. El instrumento de medición como es el transductor de desplazamientos debe ser resistente al desgaste, se recomienda que sean del tipo láser por su precisión.

En este trabajo de investigación se sugieren algunas recomendaciones para ensayos estáticos cíclicos.

La planificación de los ensayos y el cuidado en las instalaciones garantiza que los resultados sean precisos.

Por ello es importante tener un espécimen de prueba para verificar que todo el equipo esté conforme y que los primeros resultados experimentales tengan relación con los resultados teóricos.

Se recomienda usar un dispositivo como parte del montaje del espécimen, para que trabaje únicamente por corte y reducir en lo posible la flexión.

Se sugieren algunos temas de investigación que sirvan como complemento o comparación referente al estudio en mención como:

- * Interacción losa aligerada-placa que permita comparar su comportamiento y sus rigideces, ya que experimentalmente esta zona es la más dañada.
- * El Método de los elementos discretos distintos en losas aligeradas, como una técnica de

simulación de ensayos asistido por computadora y compararlas con este estudio.

* Estudio del proceso constructivo híbrido de aligerados, en ese caso viguetas prefabricadas in situ y losa continua vaceada monolíticamente, ya que la losa de 5 cm toma la mayor parte de la rigidez y resistencia que las viguetas resultando un ahorro de encofrado.

* Estudio no lineal en losas aligeradas como complemento a este trabajo de investigación y por último un posible estudio de reparación en losas aligeradas.

6.3- CONCLUSIONES

Los procedimientos de análisis sísmico suponen a las losas aligeradas como diafragmas isotrópicos e infinitamente rígidos. De los resultados experimentales, se puede decir que la rigidez en ambas direcciones no es la misma ya que se tiene mayor rigidez en la dirección perpendicular a las viguetas.

Para losas de luz de 3.5 m aproximadamente presentan valores de rigidez y resistencia las que siguen :

Viguetas en dirección perpendicular a la carga:

Las losas de 20 cm espesor presentan una rigidez del orden de 40 t/mm para una distorsión de 1/4200 y una resistencia máxima de 30 t.

Las losas de 17 cm de espesor tienen una rigidez del orden de 30 t/mm para una distorsión de 1/4750 y una resistencia máxima de 25 t.

Viguetas en dirección de la carga:

Las losas de 20 y 17 cm de espesor presentan una rigidez aproximada de 11 t/mm para una distorsión de 1/2000 y alcanzaron una resistencia de 20 t.

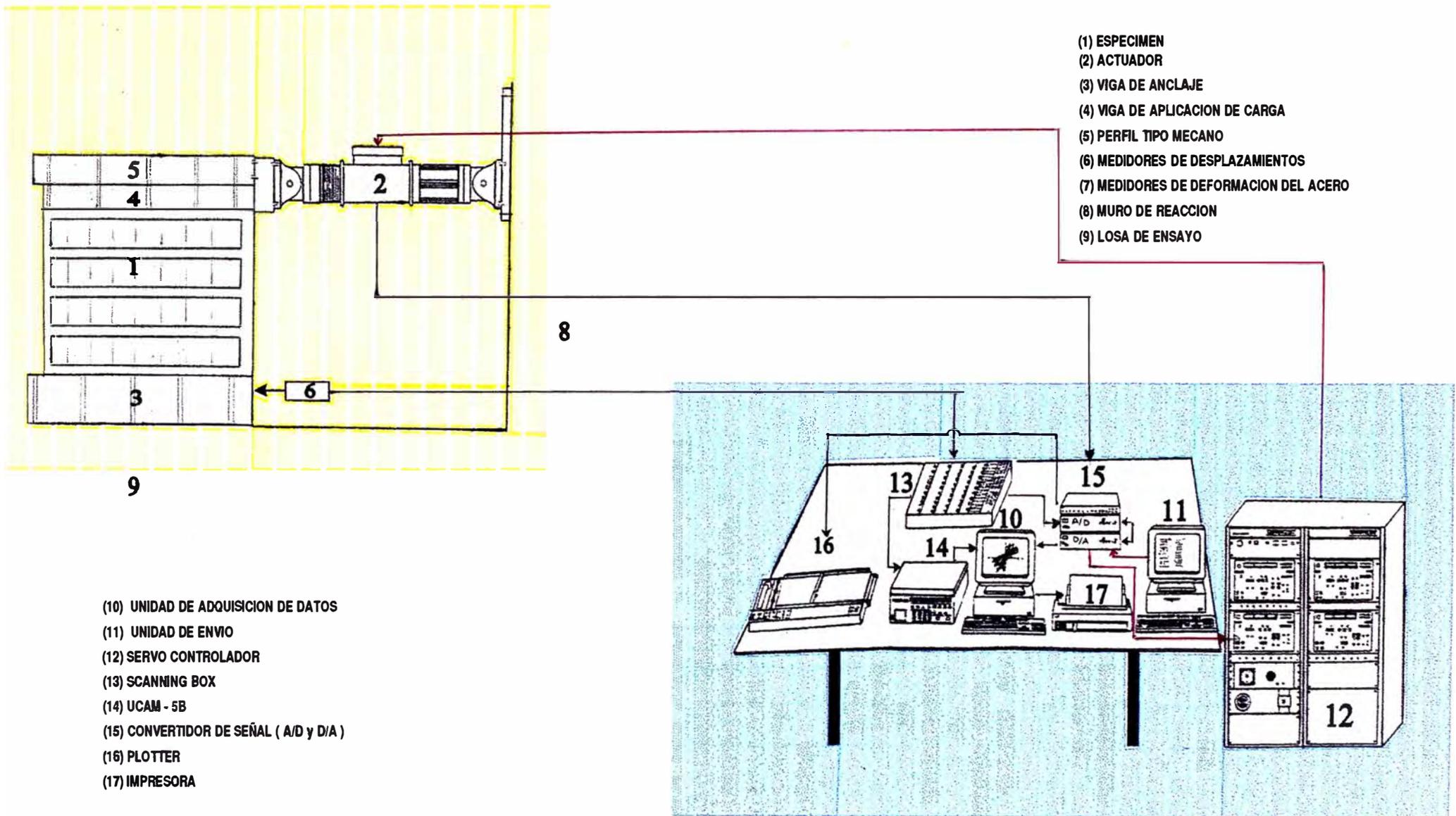
Por lo tanto no se puede suponer a la losa como un elemento infinitamente rígido.

Aunque todas estimaciones son preliminares, dado el pequeño número de ensayos efectuados, es evidente que las losas aligeradas son elementos muy rígidos, aunque por supuesto no infinitamente rígidos.

Las viguetas y los ladrillos huecos tienen poco aporte en la rigidez y resistencia frente a acciones cortantes en la losa. Sin embargo son elementos necesarios para dar rigidez a la losa en dirección transversal, no solamente para soportar las cargas verticales sino también para evitar el pandeo debido a la compresión diagonal asociada a las acciones de corte en su plano.

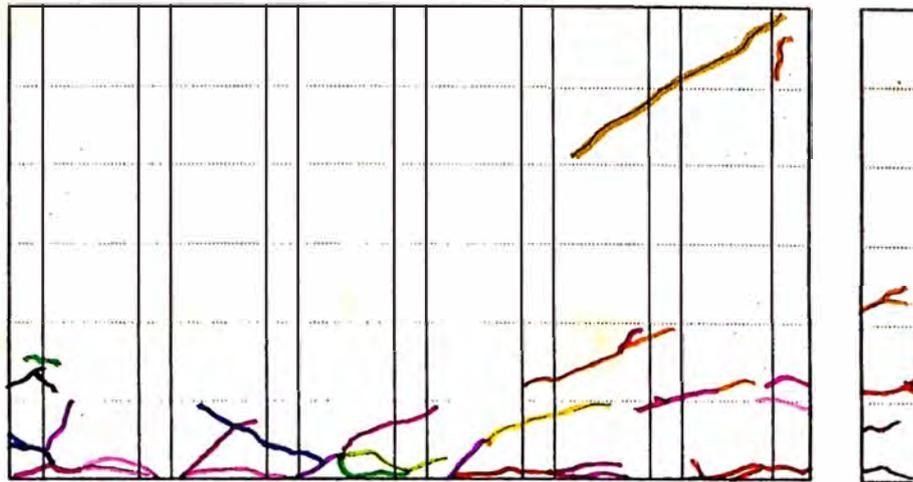
ANEXO

a.- Esquemas



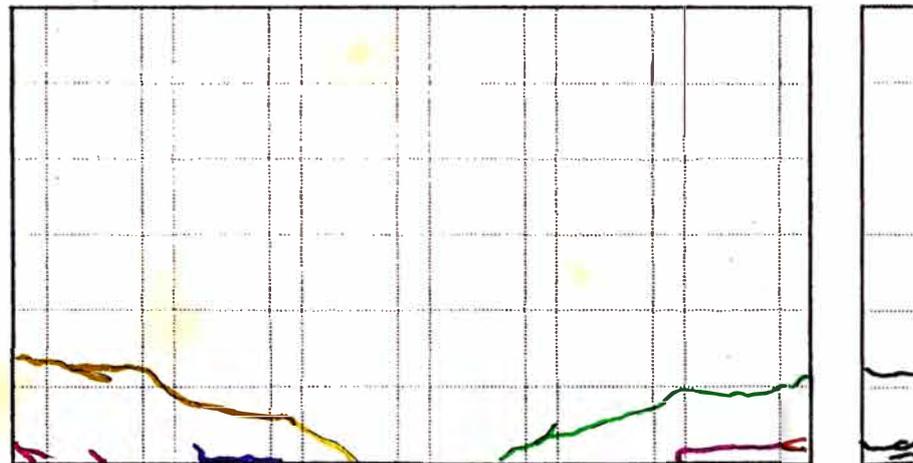
Esquema Nº 1 SISTEMA DE APLICACION DE CARGA y SISTEMA DE CONTROL Y ADQUISICION DE DATOS

LA 20VPC



MURO DE REACCION

ANTERIOR



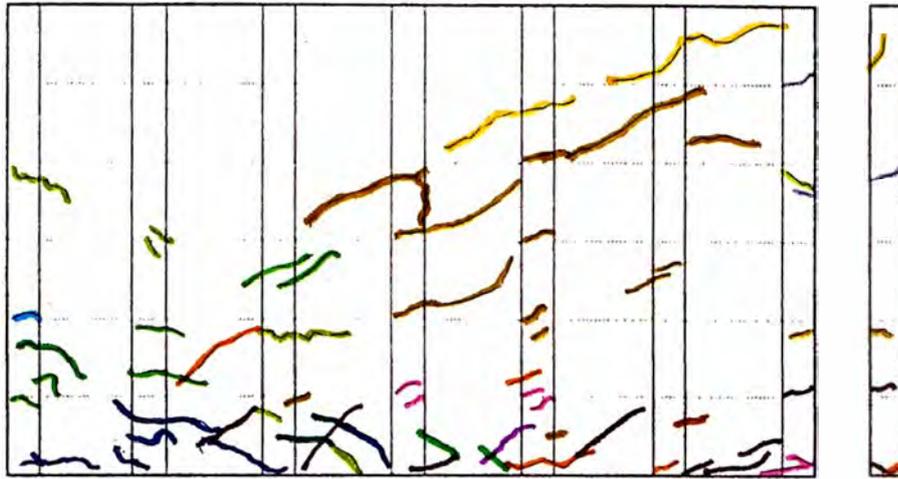
MURO DE REACCION

POSTERIOR

LEYENDA						
LA20VPC SENTIDO POSITIVO						
PASOS	SERIES	CARGA (T)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION	COLOR	
585	15-1	20.31	1.00	1/1900	●	
745	19-1	25.49	2.29	1/800	●	
787	20-1	27.25	3.93	1/600	●	
827	21-1	30.23	5.89	1/300	●	
847	21-2	27.10	5.85	1/300	●	
LA20VPC SENTIDO NEGATIVO						
PASOS	SERIES	CARGA (T)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION	COLOR	
414	10-2	24.50	1.00	1/1900	●	
434	11-1	26.30	1.34	1/1400	●	
474	12-1	27.29	1.76	1/1100	●	
514	13-1	27.49	2.03	1/950	●	
575	14-2	27.44	2.28	1/850	●	
615	15-2	27.51	2.79	1/700	●	
715	18-1	27.54	3.48	1/650	●	
775	19-2	27.54	4.30	1/450	●	
818	20-2	27.56	5.13	1/400	●	
838	21-1	27.56	5.89	1/300	●	

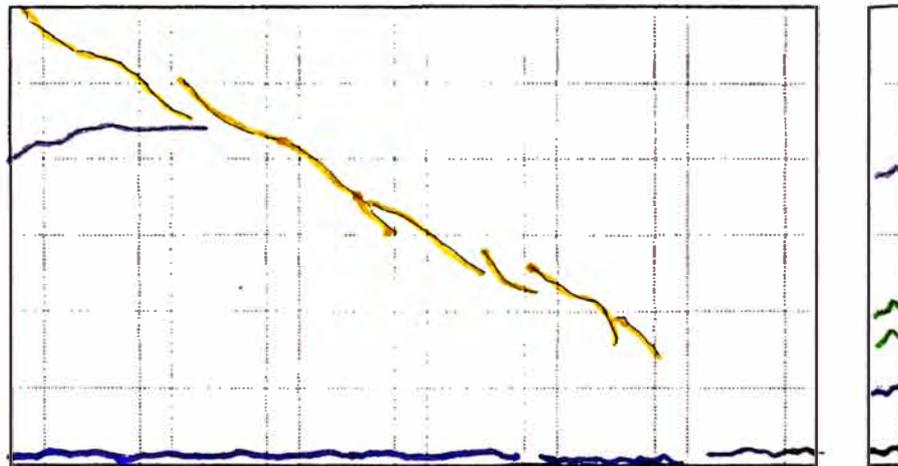
PATRON DE GRIETAS

LA 17VPC



ANTERIOR

MURO DE REACCION

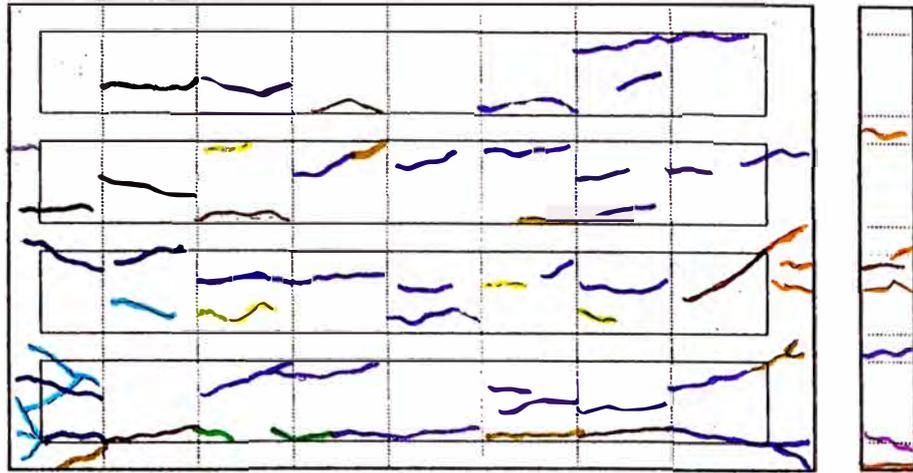


POSTERIOR

LEYENDA					
LA 17VPC SENTIDO POSITIVO					
PASOS	SERIES	CARGA (T)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION	COLOR
216	6-1	13.63	0.70	1/2750	●
256	7-1	15.41	1.00	1/1900	●
296	8-1	16.78	1.25	1/1650	●
397	9-2	16.93	1.52	1/1250	●
417	10-1	18.32	1.71	1/1100	●
457	11-1	18.88	1.88	1/1000	●
497	12-1	20.13	2.20	1/900	●
578	14-1	24.35	3.29	1/600	●
618	15-1	24.60	3.68	1/500	●
LA 17VPC SENTIDO NEGATIVO					
PASOS	SERIES	CARGA (T)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION	COLOR
166	5-1	19.10	1.63	1/1200	●
246	7-1	22.03	2.12	1/900	●
367	9-1	25.94	2.90	1/650	●
427	10-2	26.16	3.17	1/600	●
467	11-1	26.21	3.34	1/600	●
568	14-1	26.38	3.72	1/500	●
639	15-2	26.30	5.66	1/350	●

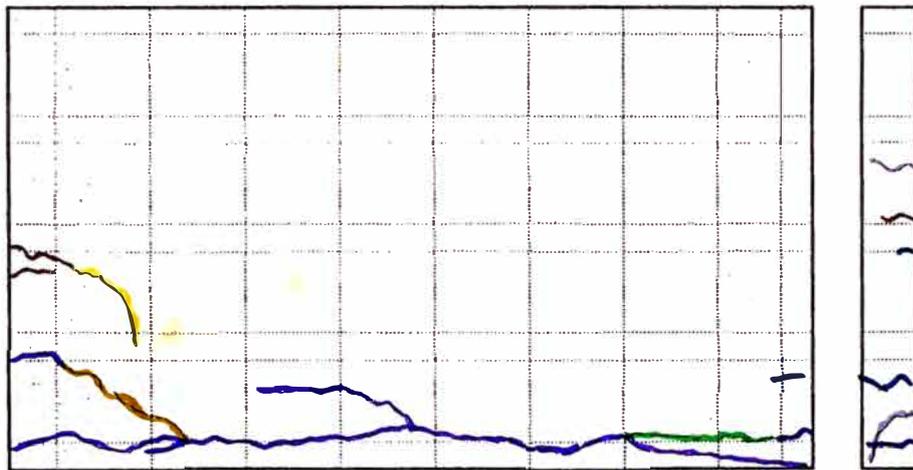
PATRON DE GRIETAS

LA20VDC



ANTERIOR

MURO DE REACCION



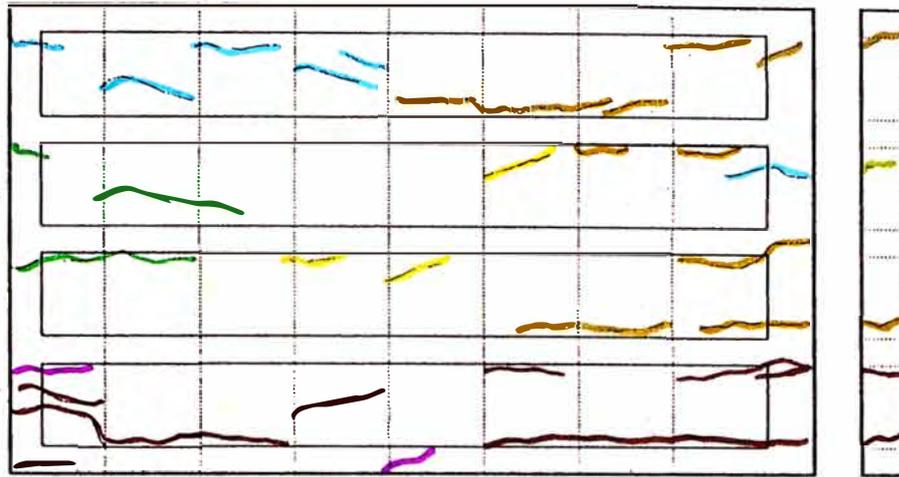
POSTERIOR

LEYENDA

LA20VDC SENTIDO POSITIVO					
PASOS	SERIES	CARGA (T)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION	COLOR
451	2-1	5.47	0.46	1/4000	●
531	4-1	11.01	1.02	1/1800	●
571	5-1	13.72	1.31	1/1400	●
611	6-1	15.70	1.76	1/1000	●
692	8-1	17.56	2.56	1/700	●
732	9-1	18.32	3.04	1/600	●
752	10-1	17.88	3.26	1/550	●
LA20VDC SENTIDO NEGATIVO					
PASOS	SERIES	CARGA (T)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION	COLOR
521	4-1	19.89	1.69	1/1050	●
561	5-1	21.50	2.10	1/850	●
601	6-1	22.33	2.58	1/700	●
641	7-1	22.43	3.01	1/600	●
682	8-2	22.55	3.54	1/500	●
722	9-1	22.72	4.03	1/450	●

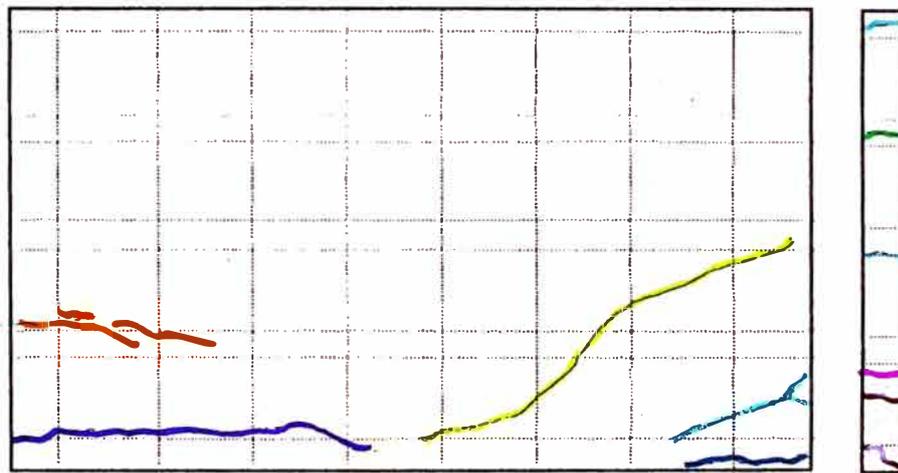
PATRON DE GRIETAS

LA17VDC



ANTERIOR

MURO DE REACCION



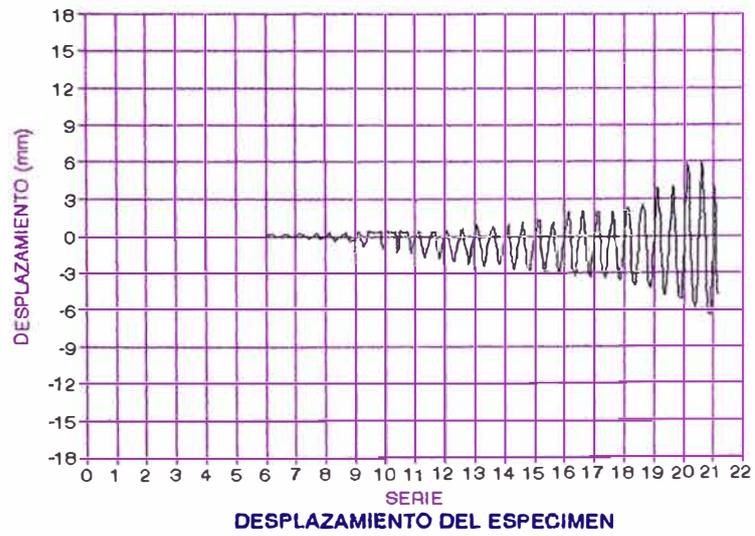
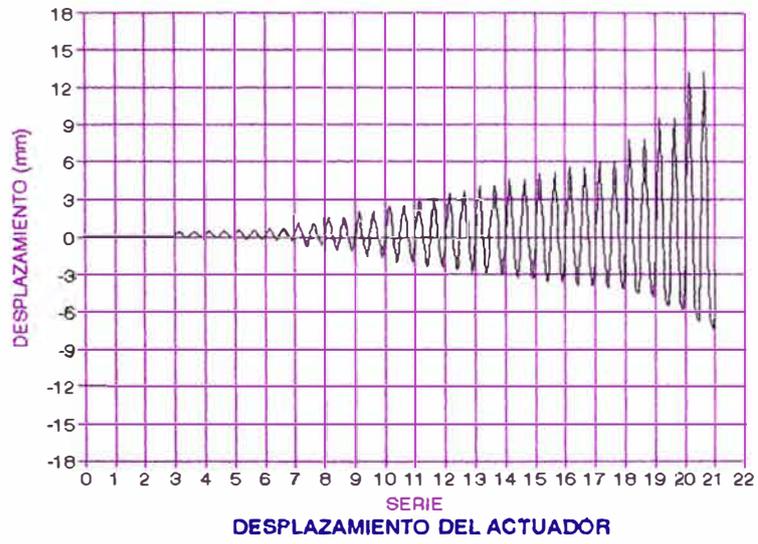
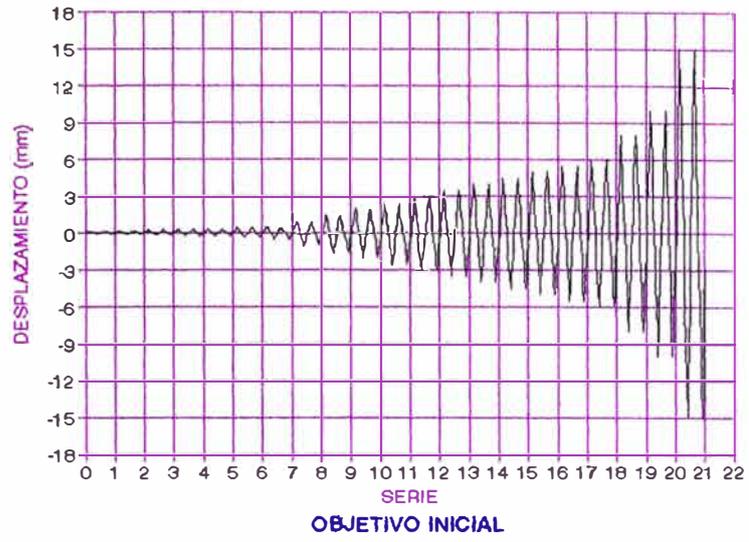
POSTERIOR

LEYENDA

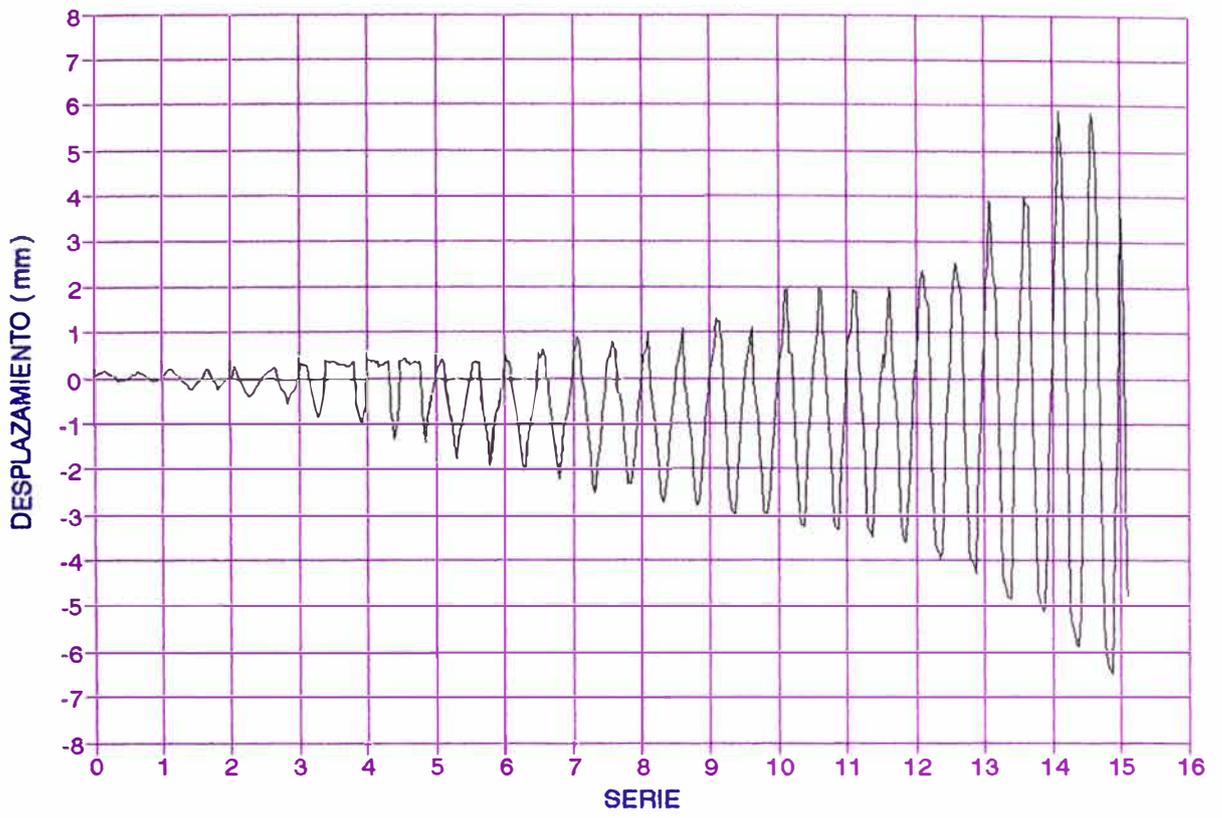
LA17VDC SENTIDO POSITIVO						
PASOS	SERIES	CARGA (T)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION	COLOR	
175	6-1	9.36	0.83	1/2200	●	
275	7-2	12.78	1.76	1/1050	●	
458	12-1	18.08	3.80	1/600	●	
558	14-2	18.38	4.61	1/400	●	
LA17VDC SENTIDO NEGATIVO						
PASOS	SERIES	CARGA (T)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION	COLOR	
45	2-1	7.69	0.58	1/3150	●	
145	4-1	10.82	1.00	1/1800	●	
205	6-1	18.14	1.88	1/1000	●	
245	7-1	18.61	2.20	1/800	●	
366	10-1	19.96	3.05	1/600	●	
408	11-1	19.97	3.15	1/600	●	

PATRON DE GRIETAS

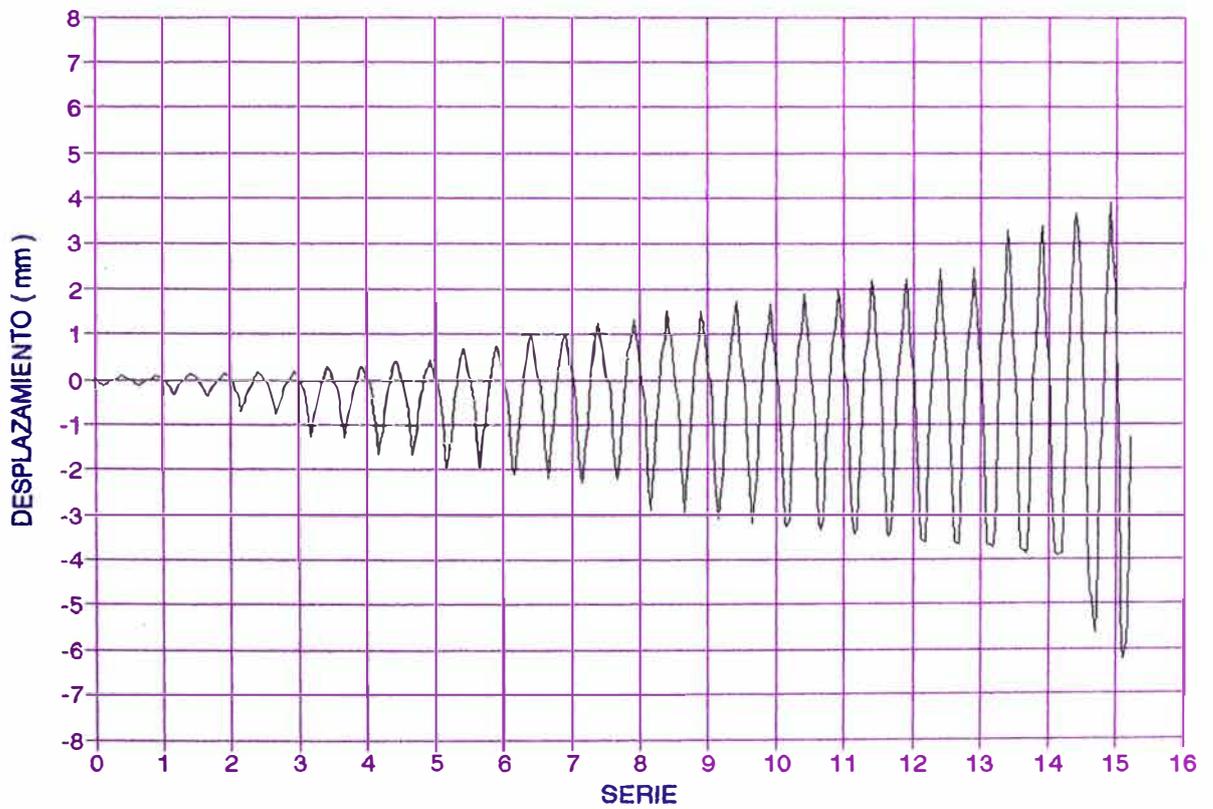
b.- Gráficos



**DESPLAZAMIENTOS EN EL PRIMER ESPECIMEN (LA20VPC)
GRAFICOS N° 1**

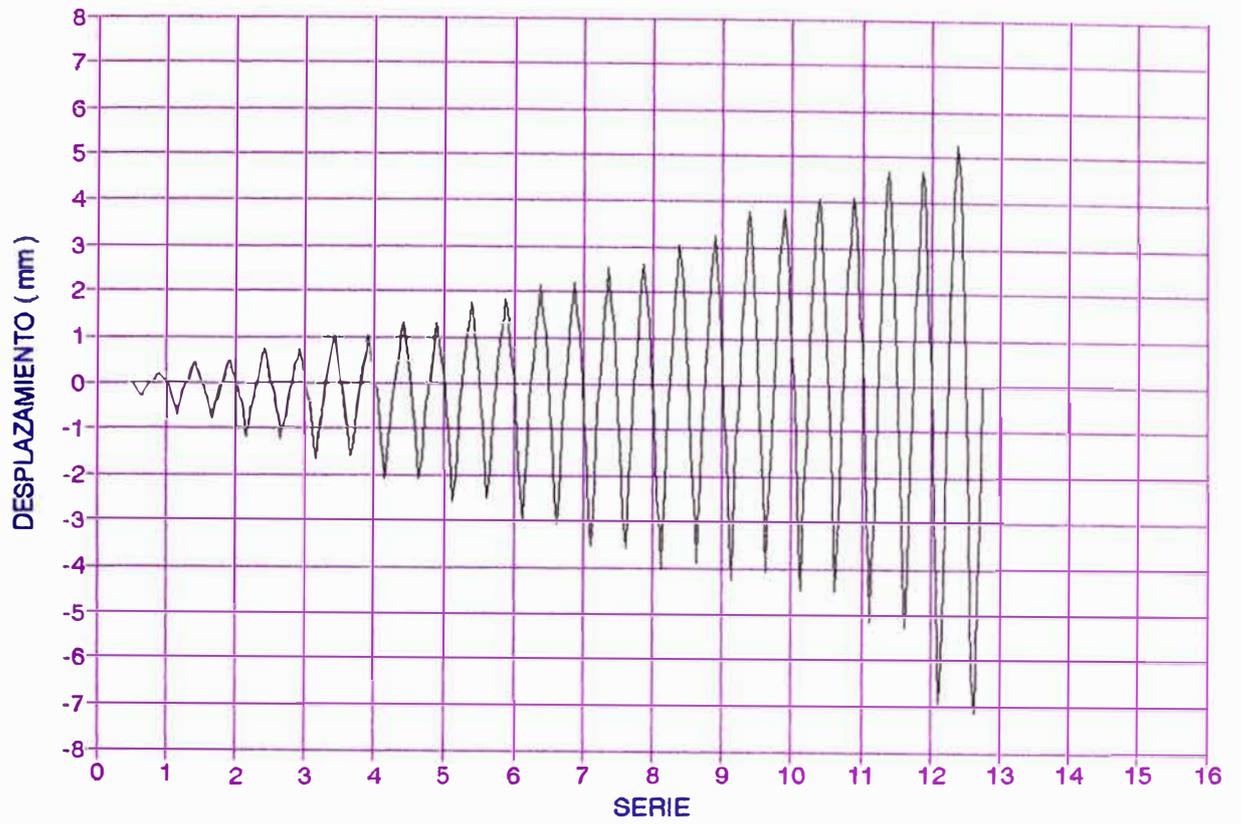


LA20VPC

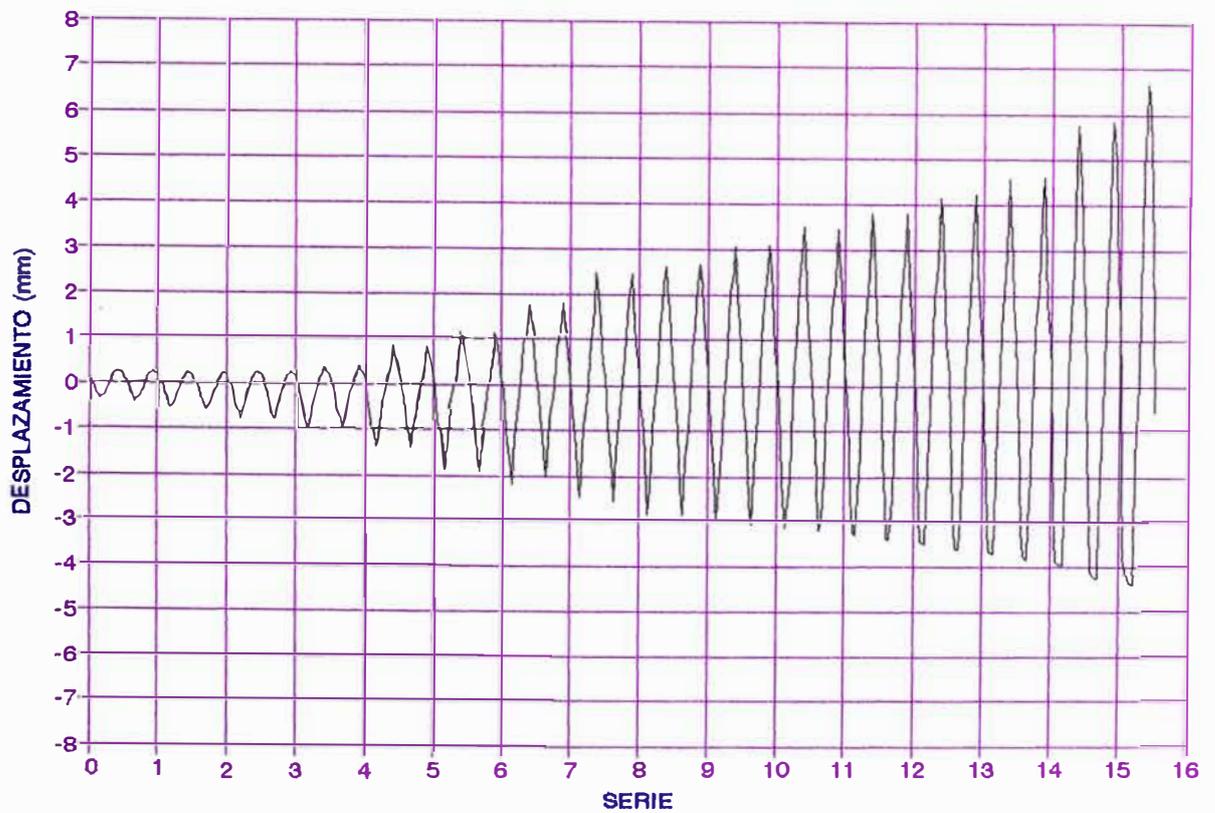


LA17VPC

DESPLAZAMIENTOS DE LOS ESPECIMENES
GRAFICOS Nº 2

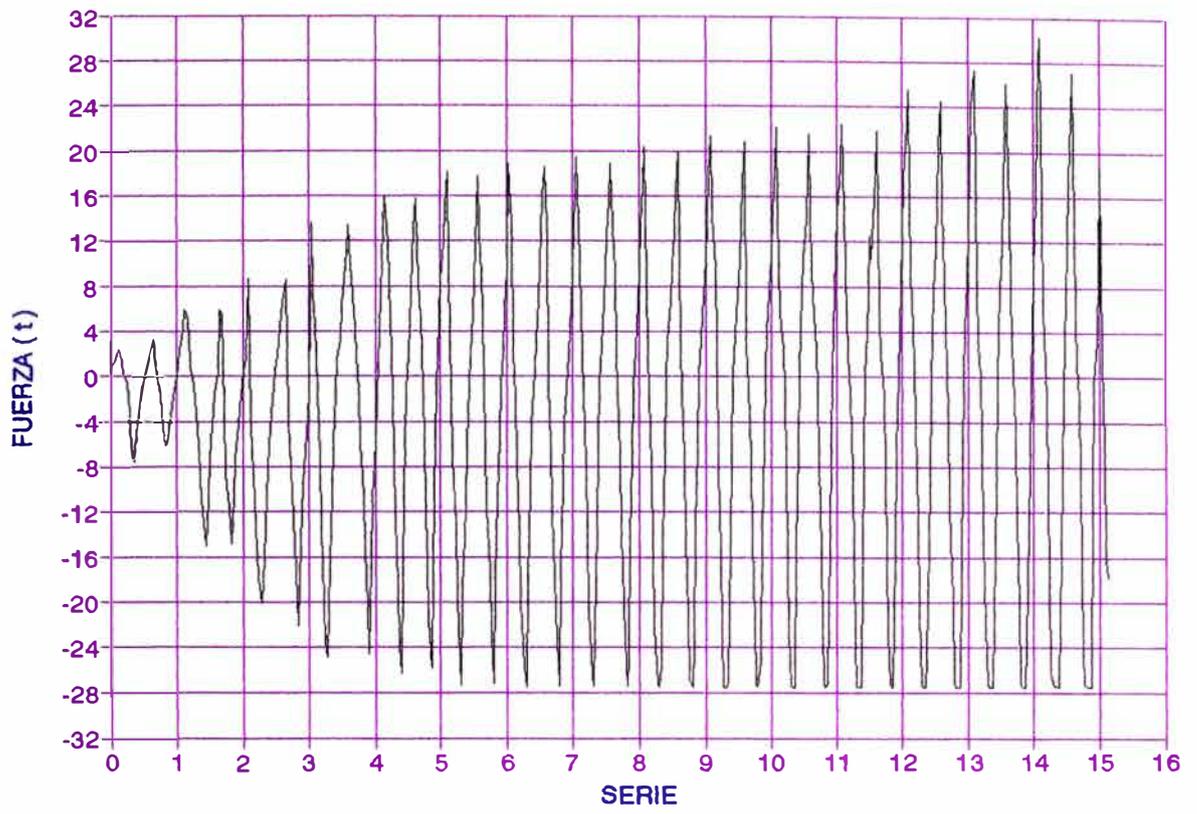


LA20VDC

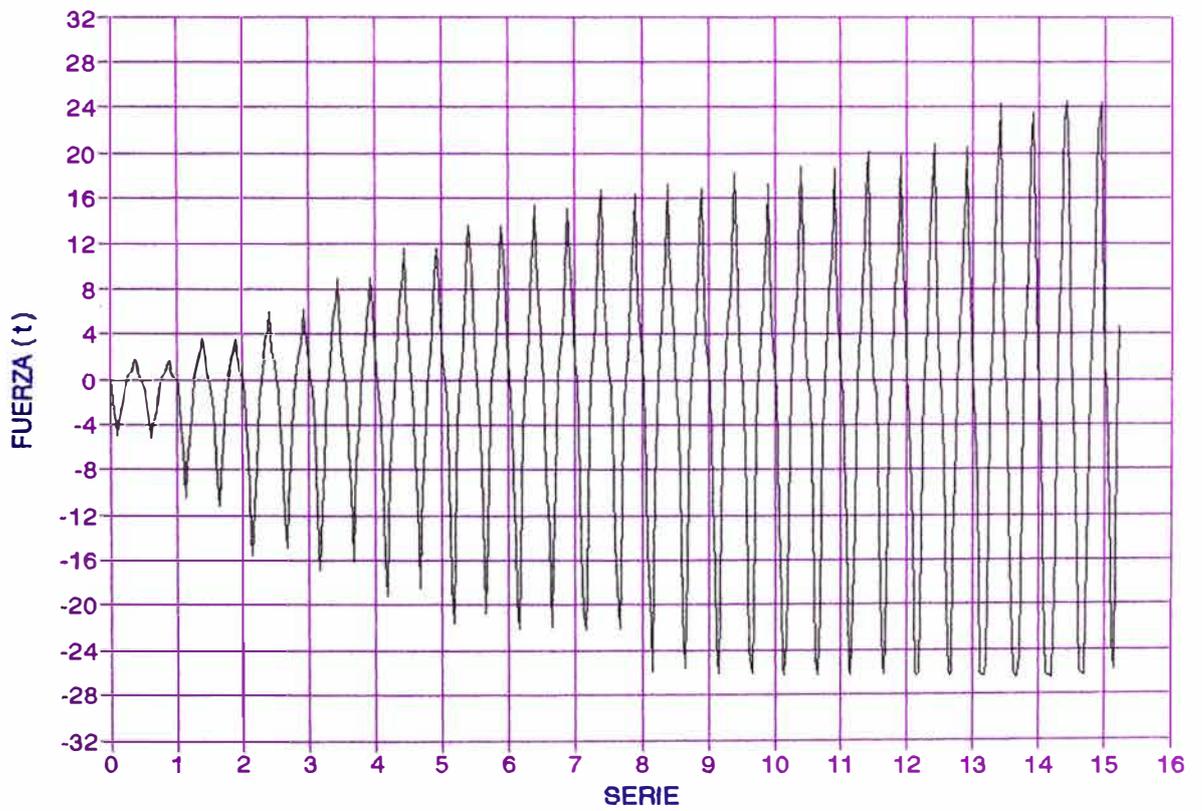


LA17VDC

DESPLAZAMIENTOS DE LOS ESPECIMENES
GRAFICOS Nº 2

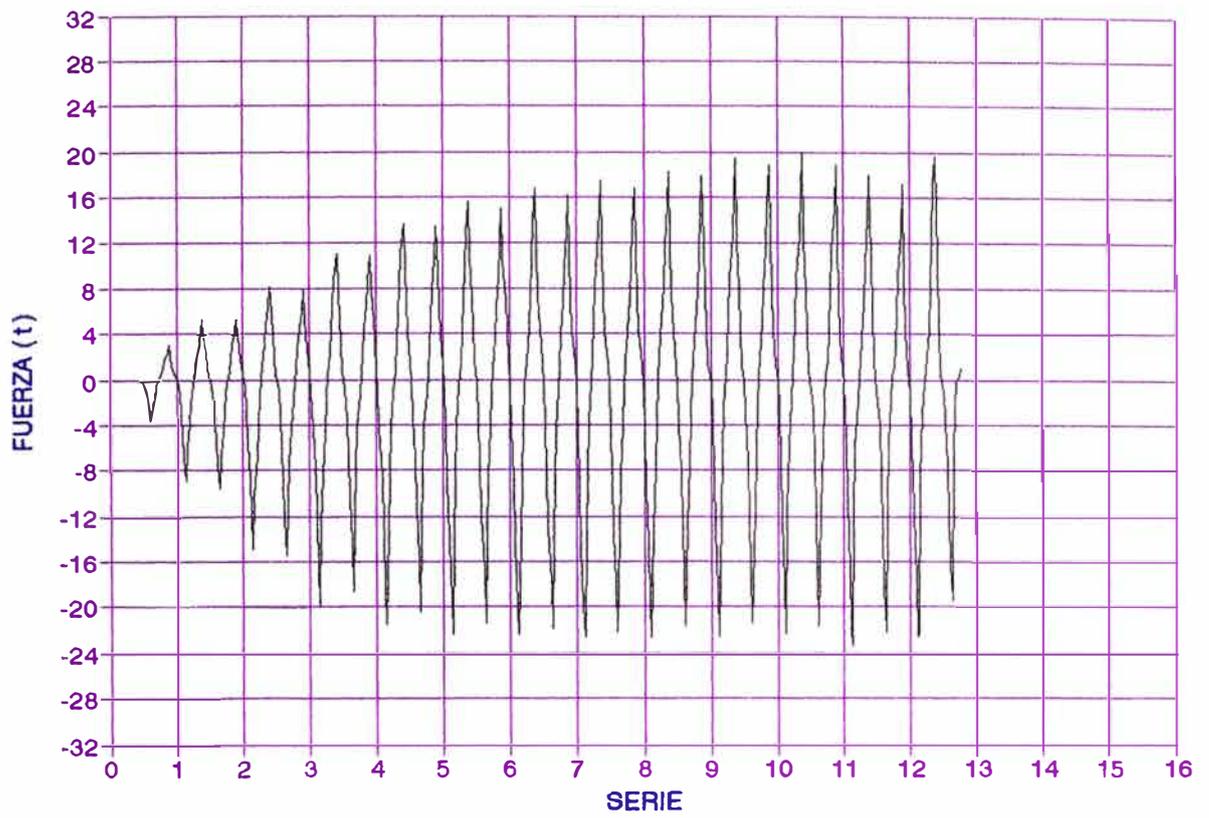


LA20VPC

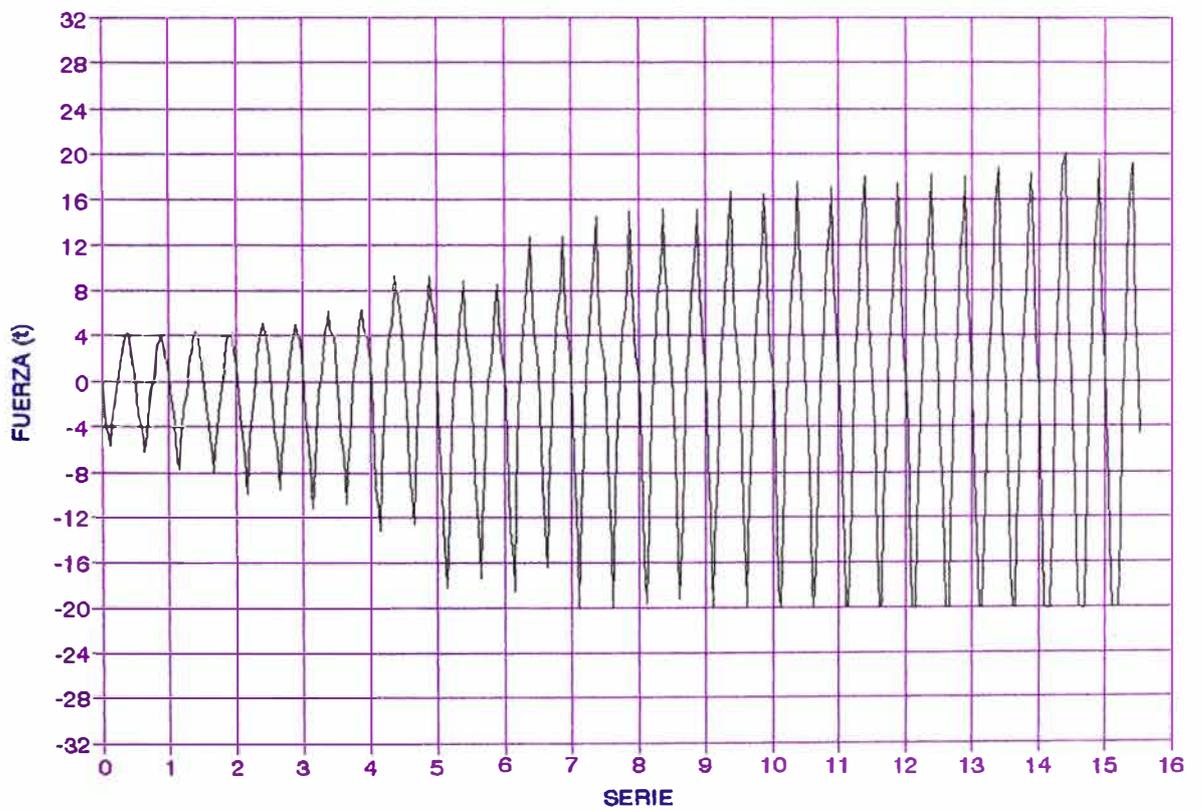


LA17VPC

**FUERZAS APLICADAS A LOS ESPECIMENES
GRAFICOS N° 3**

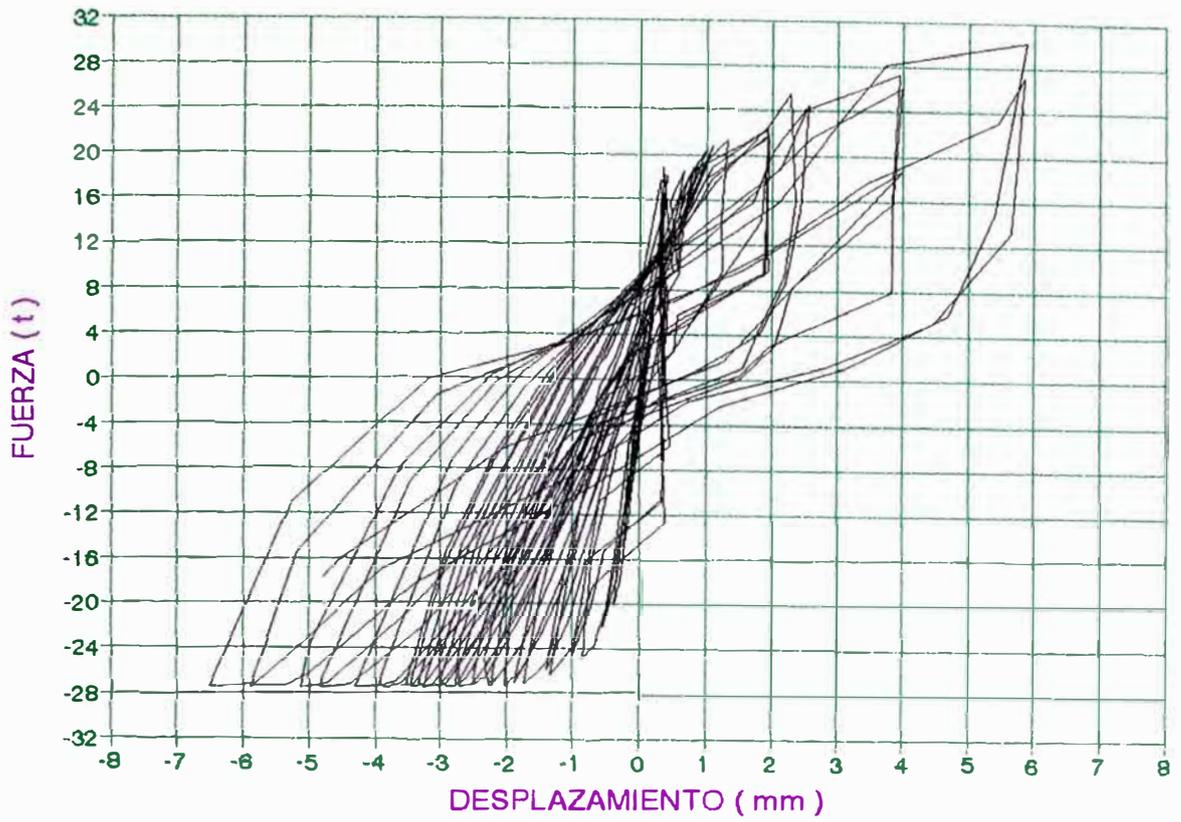


LA20VDC

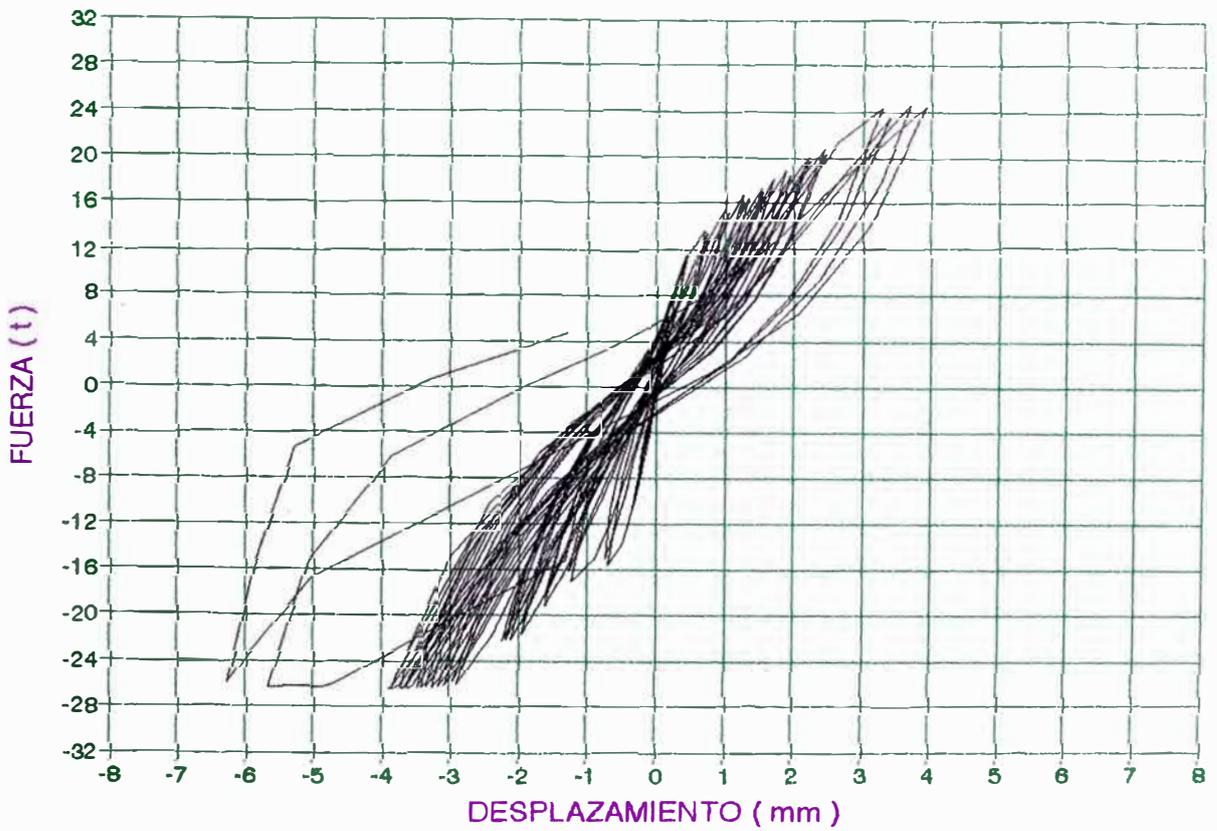


LA17VDC

FUERZAS APLICADAS A LOS ESPECIMENES
GRAFICOS N° 3

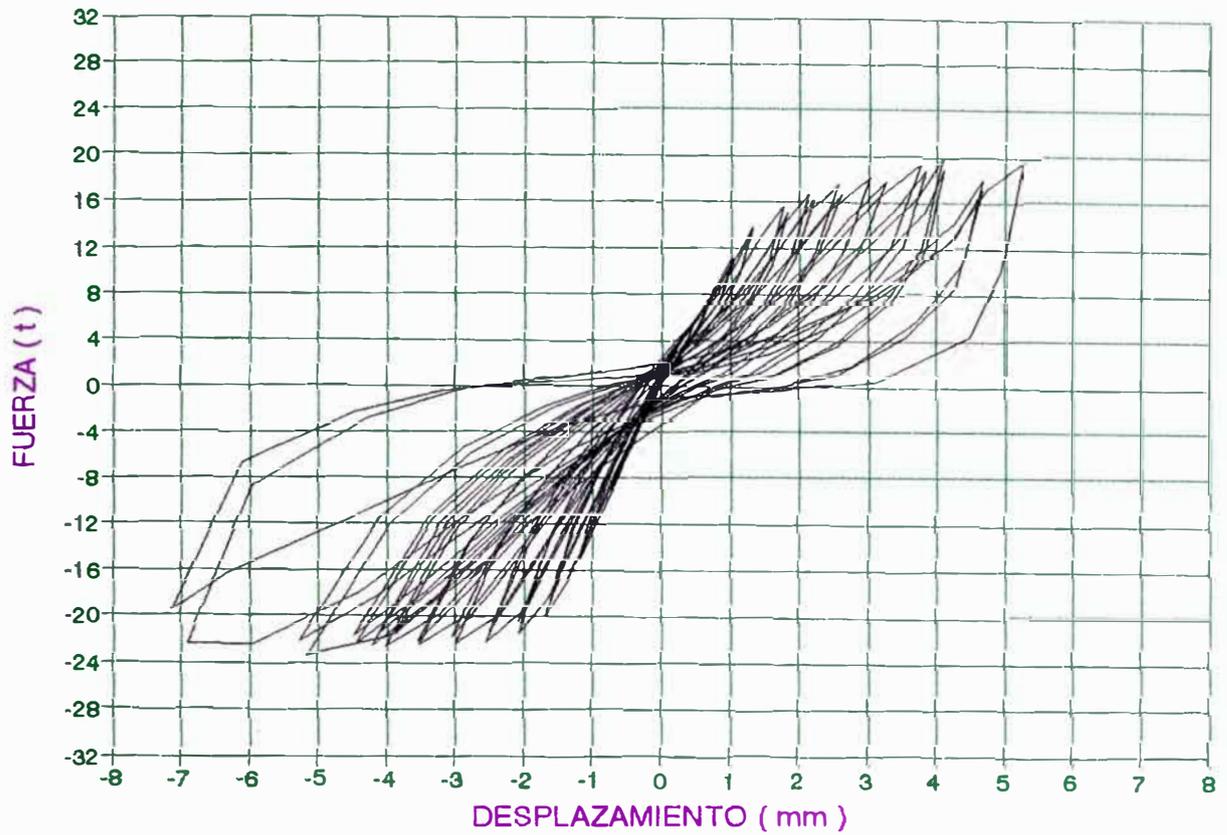


LA 20 VPC

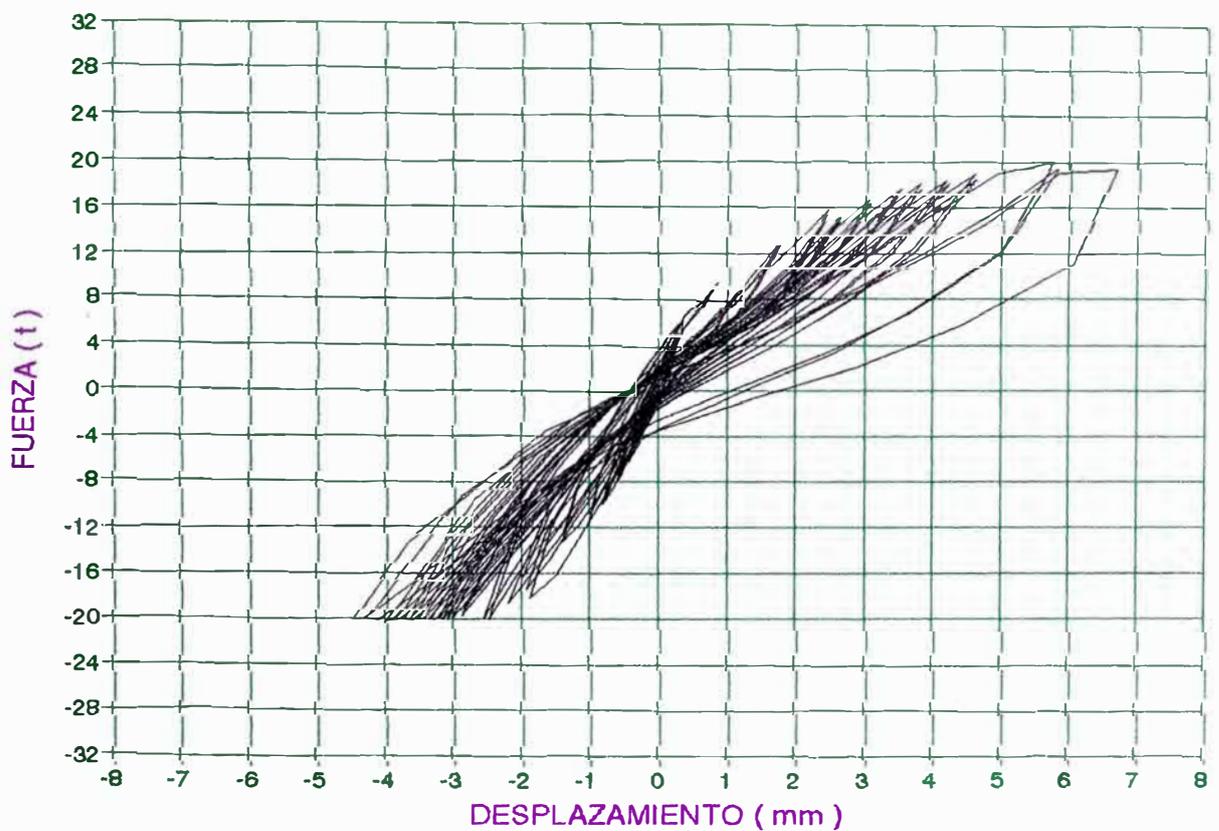


LA 17 VPC

DIAGRAMAS FUERZA - DESPLAZAMIENTO
GRAFICOS Nº 4

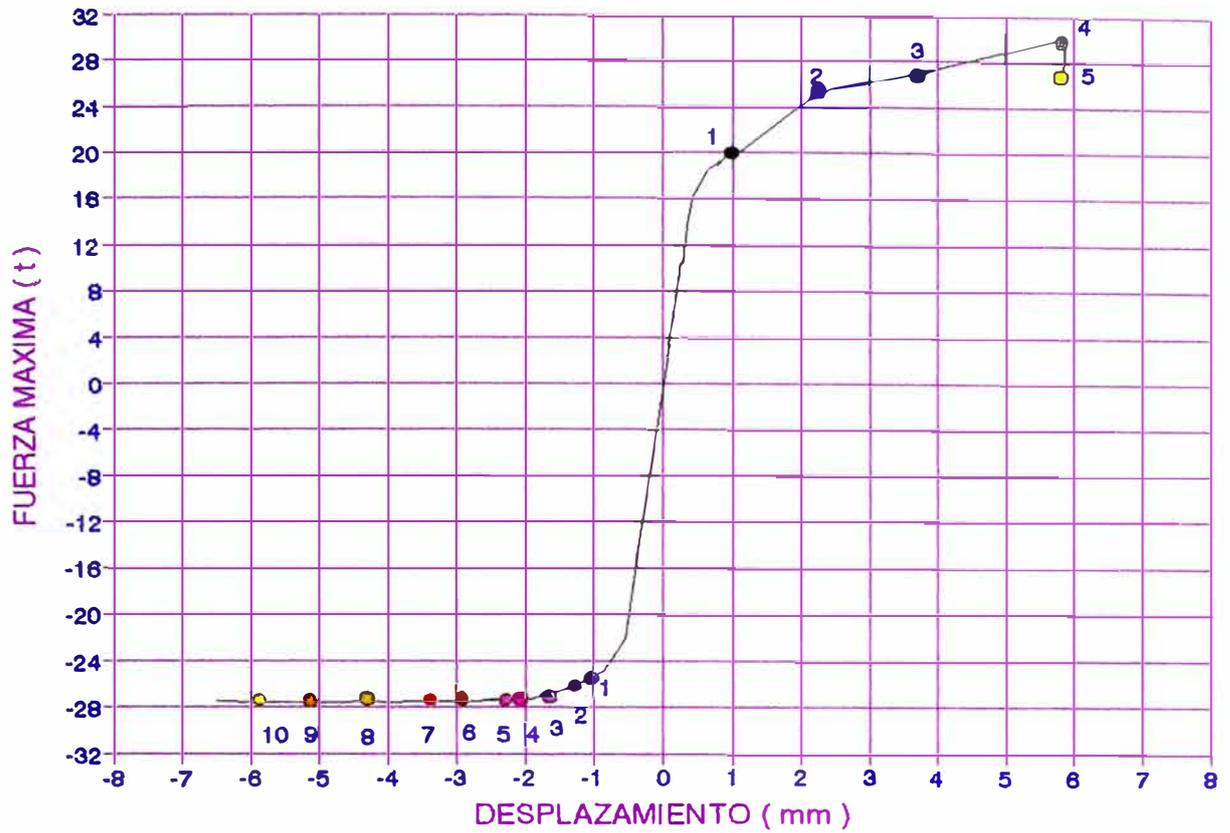


LA 20 VDC



LA 17 VDC

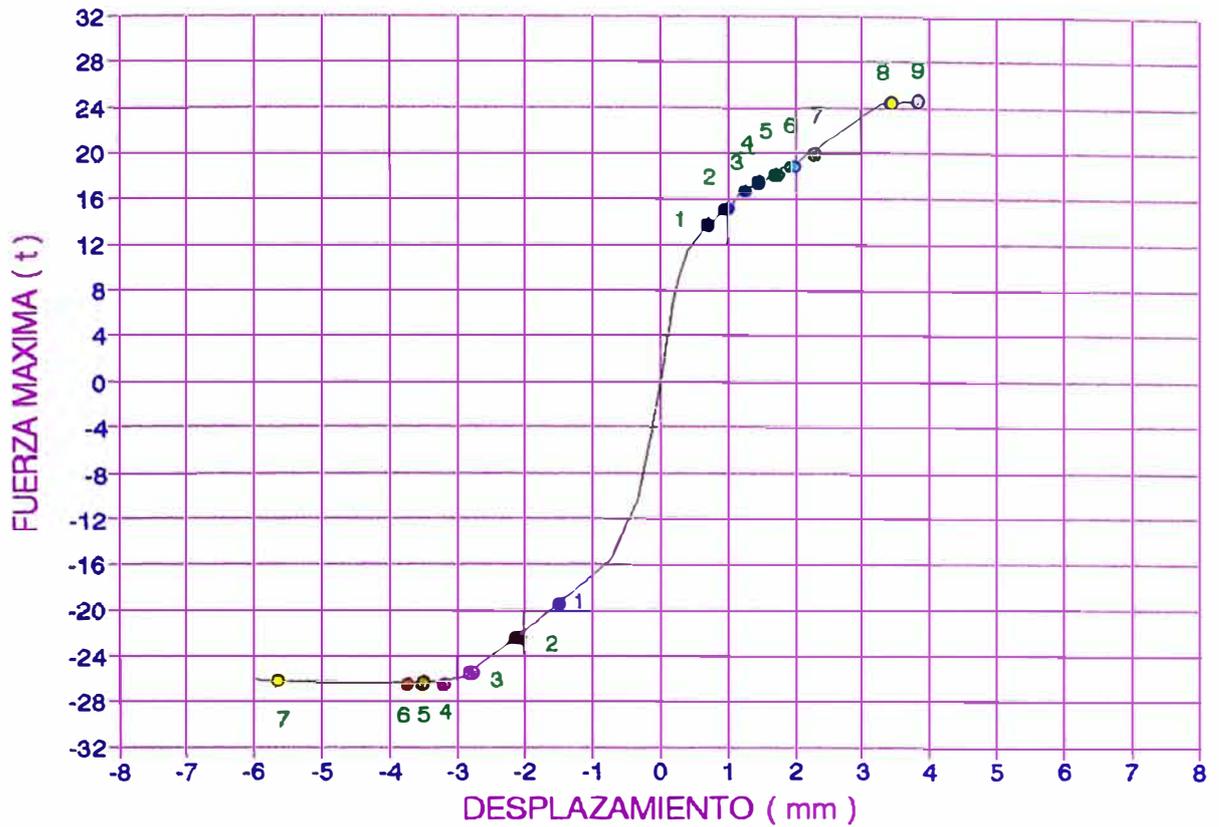
DIAGRAMAS FUERZA - DESPLAZAMIENTO
 GRAFICOS Nº 4



LA 20 VPC

LEYENDA							
LA20VPC SENTIDO POSITIVO							
N	PASOS	SERIES	CARGA (T)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION	COLOR	
1	585	15-1	20.31	1.00	1/1900	●	
2	745	19-1	25.49	2.29	1/800	●	
3	787	20-1	27.25	3.93	1/500	●	
4	827	21-1	30.23	5.89	1/300	●	
5	847	21-2	27.10	5.85	1/300	●	
LA20VPC SENTIDO NEGATIVO							
N	PASOS	SERIES	CARGA (T)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION	COLOR	
1	414	10-2	24.50	1.00	1/1900	●	
2	434	11-1	26.30	1.34	1/1400	●	
3	474	12-1	27.29	1.76	1/1100	●	
4	514	13-1	27.49	2.03	1/950	●	
5	575	14-2	27.44	2.28	1/850	●	
6	615	15-2	27.51	2.79	1/700	●	
7	715	18-1	27.54	3.48	1/550	●	
8	775	19-2	27.54	4.30	1/450	●	
9	818	20-2	27.56	5.13	1/400	●	
10	838	21-1	27.56	5.89	1/300	●	

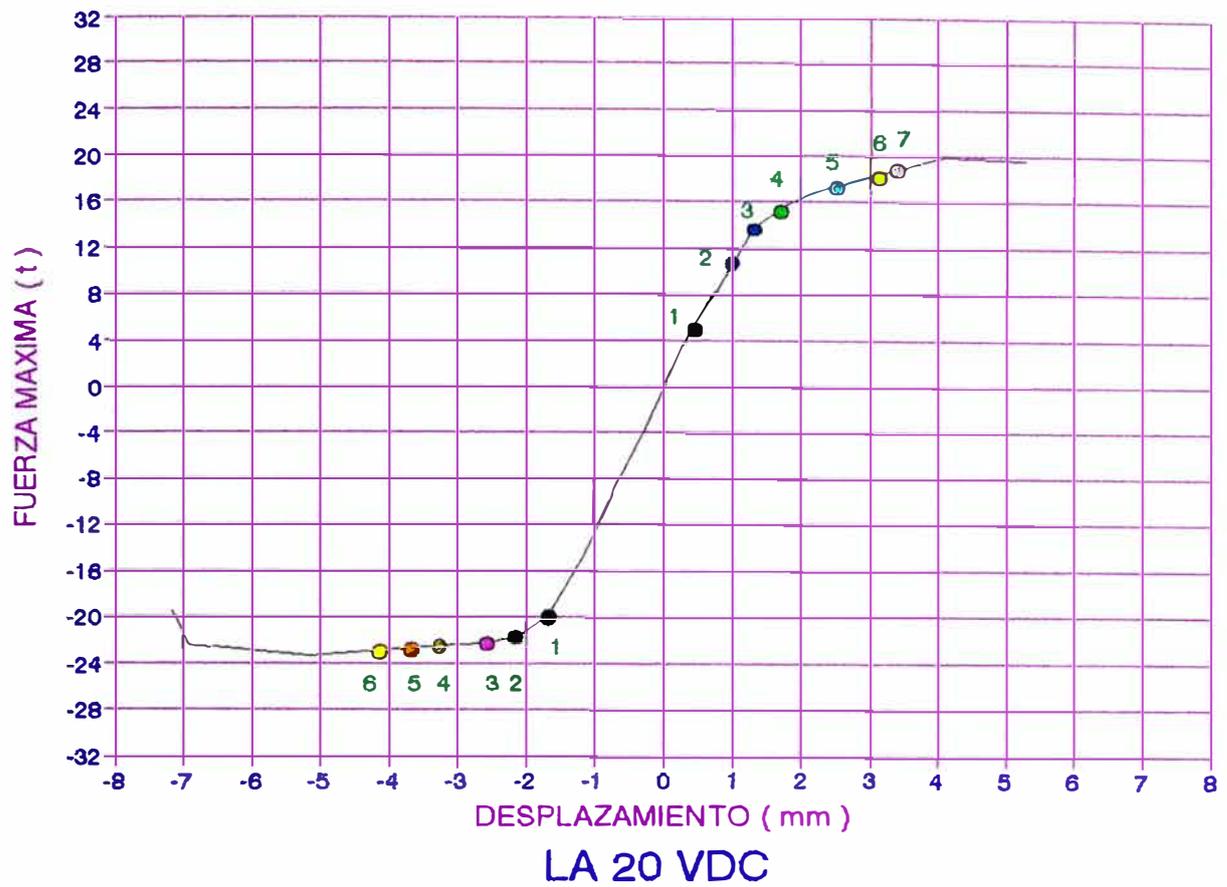
ENVOLVENTES DE LAS CURVAS FUERZA - DESPLAZAMIENTO
GRAFICOS N°5



LA 17 VPC

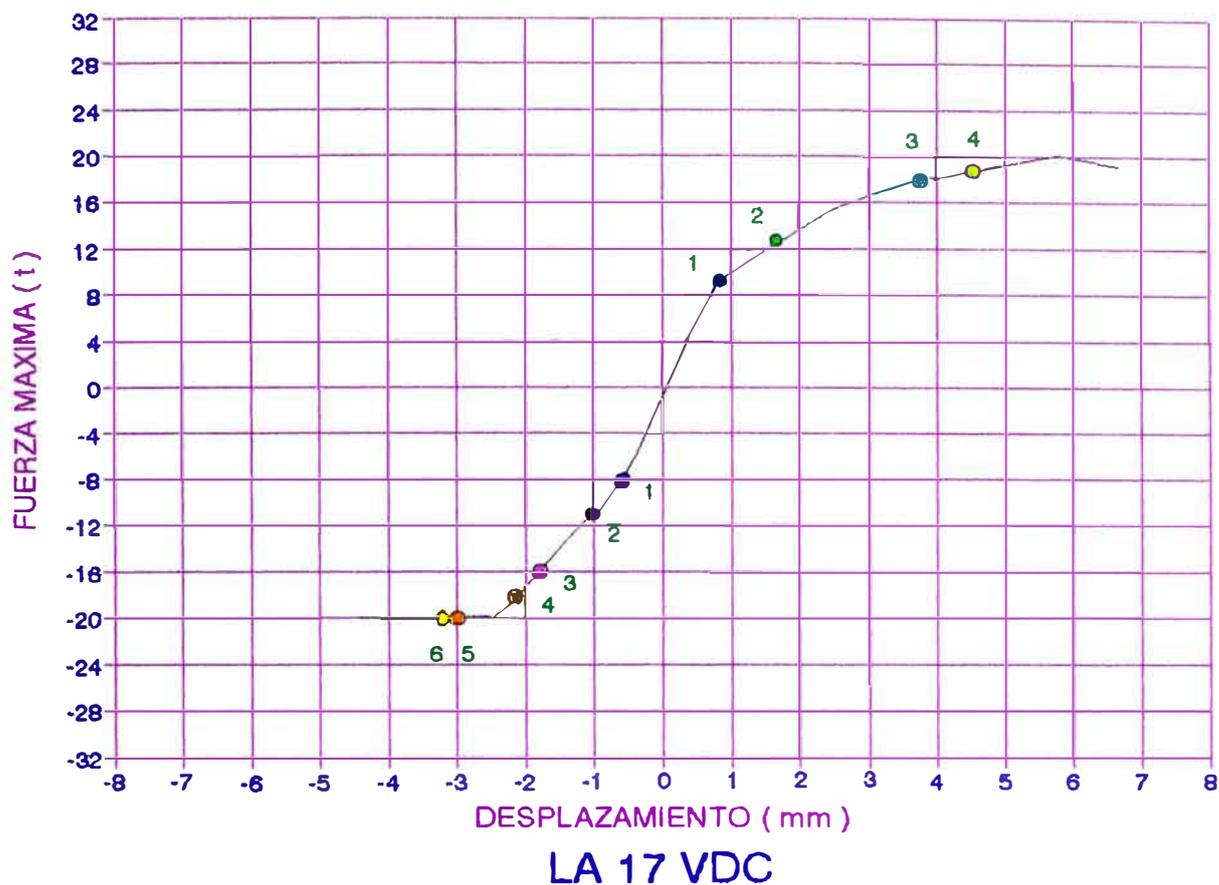
LEYENDA						
LA17VPC SENTIDO POSITIVO						
N	PASOS	SERIES	CARGA (T)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION	COLOR
1	216	6-1	13.63	0.70	1/2750	●
2	256	7-1	15.41	1.00	1/1900	●
3	296	8-1	16.78	1.25	1/1550	●
4	397	9-2	16.93	1.52	1/1250	●
5	417	10-1	18.32	1.71	1/1100	●
6	457	11-1	18.88	1.88	1/1000	●
7	497	12-1	20.13	2.20	1/900	●
8	578	14-1	24.35	3.29	1/600	●
9	618	15-1	24.60	3.68	1/500	●
LA17VPC SENTIDO NEGATIVO						
N	PASOS	SERIES	CARGA (T)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION	COLOR
1	166	5-1	19.10	1.63	1/1200	●
2	246	7-1	22.03	2.12	1/900	●
3	367	9-1	25.94	2.90	1/650	●
4	427	10-2	26.16	3.17	1/600	●
5	467	11-1	26.21	3.34	1/600	●
6	568	14-1	26.38	3.72	1/500	●
7	639	15-2	26.30	5.66	1/350	●

ENVOLVENTES DE LAS CURVAS FUERZA - DESPLAZAMIENTO
GRAFICOS N°5



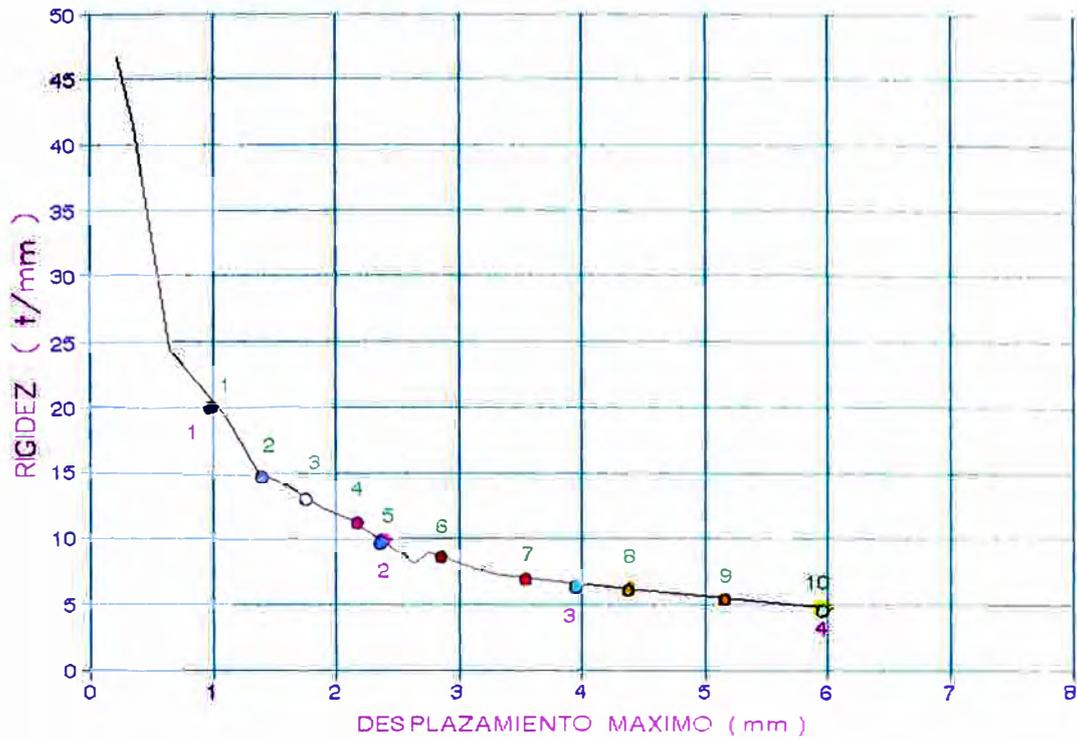
LEYENDA						
LA20VDC SENTIDO POSITIVO						
N	PASOS	SERIES	CARGA (T)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION	COLOR
1	451	2-1	5.47	0.46	1/4000	●
2	531	4-1	11.01	1.02	1/1800	●
3	571	5-1	13.72	1.31	1/1400	●
4	611	6-1	15.70	1.76	1/1000	●
5	692	8-1	17.56	2.56	1/700	●
6	732	9-1	18.32	3.04	1/600	●
7	752	10-1	17.88	3.26	1/550	●
LA20VDC SENTIDO NEGATIVO						
N	PASOS	SERIES	CARGA (T)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION	COLOR
1	521	4-1	19.89	1.69	1/1050	●
2	561	5-1	21.50	2.10	1/850	●
3	601	6-1	22.33	2.58	1/700	●
4	641	7-1	22.43	3.01	1/600	●
5	682	8-2	22.55	3.54	1/500	●
6	722	9-1	22.72	4.03	1/450	●

ENVOLVENTES DE LAS CURVAS FUERZA - DESPLAZAMIENTO
GRAFICOS N°5



LEYENDA						
LA17VDC SENTIDO POSITIVO						
N	PASOS	SERIES	CARGA (T)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION	COLOR
1	175	5-1	9.36	0.83	1/2200	●
2	275	7-2	12.78	1.76	1/1050	●
3	458	12-1	18.08	3.80	1/500	●
4	558	14-2	18.38	4.61	1/400	●
LA17VDC SENTIDO NEGATIVO						
N	PASOS	SERIES	CARGA (T)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION	COLOR
1	45	2-1	7.69	0.58	1/3150	●
2	145	4-1	10.82	1.00	1/1800	●
3	205	6-1	18.14	1.88	1/1000	●
4	245	7-1	18.61	2.20	1/800	●
5	366	10-1	19.95	3.05	1/600	●
6	408	11-1	19.97	3.15	1/600	●

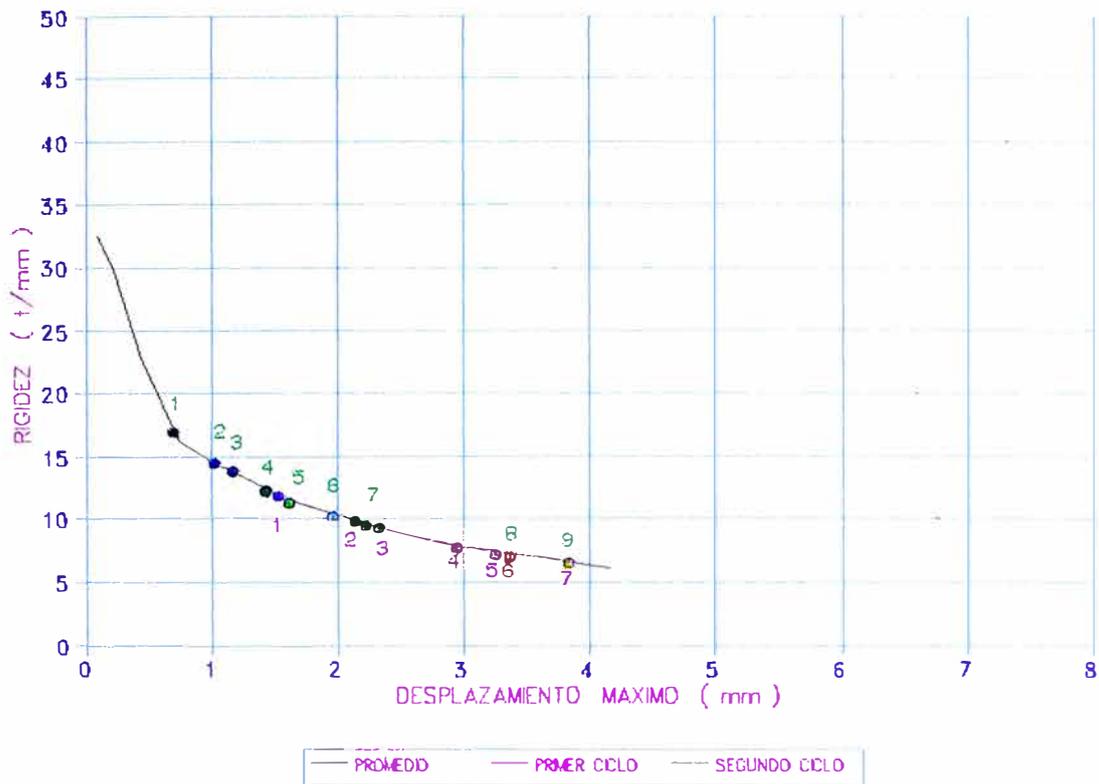
ENVOLVENTES DE LAS CURVAS FUERZA - DESPLAZAMIENTO
GRAFICOS N°5



LA20VPC

LEYENDA							
LA20VPC SENTIDO POSITIVO							
N	PASOS	SERIES	CARGA (T)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION	COLOR	
1	585	15-1	20.31	1.00	1/1900	●	
2	745	19-1	25.49	2.29	1/800	●	
3	787	20-1	27.25	3.93	1/500	●	
4	827	21-1	30.23	5.89	1/300	●	
5	847	21-2	27.10	5.85	1/300	●	
LA20VPC SENTIDO NEGATIVO							
N	PASOS	SERIES	CARGA (T)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION	COLOR	
1	414	10-2	24.50	1.00	1/1900	●	
2	434	11-1	26.30	1.34	1/1400	●	
3	474	12-1	27.29	1.76	1/1100	●	
4	514	13-1	27.49	2.03	1/950	●	
5	575	14-2	27.44	2.28	1/850	●	
6	615	15-2	27.51	2.79	1/700	●	
7	715	18-1	27.54	3.48	1/550	●	
8	775	19-2	27.54	4.30	1/450	●	
9	818	20-2	27.56	5.13	1/400	●	
10	838	21-1	27.56	5.89	1/300	●	

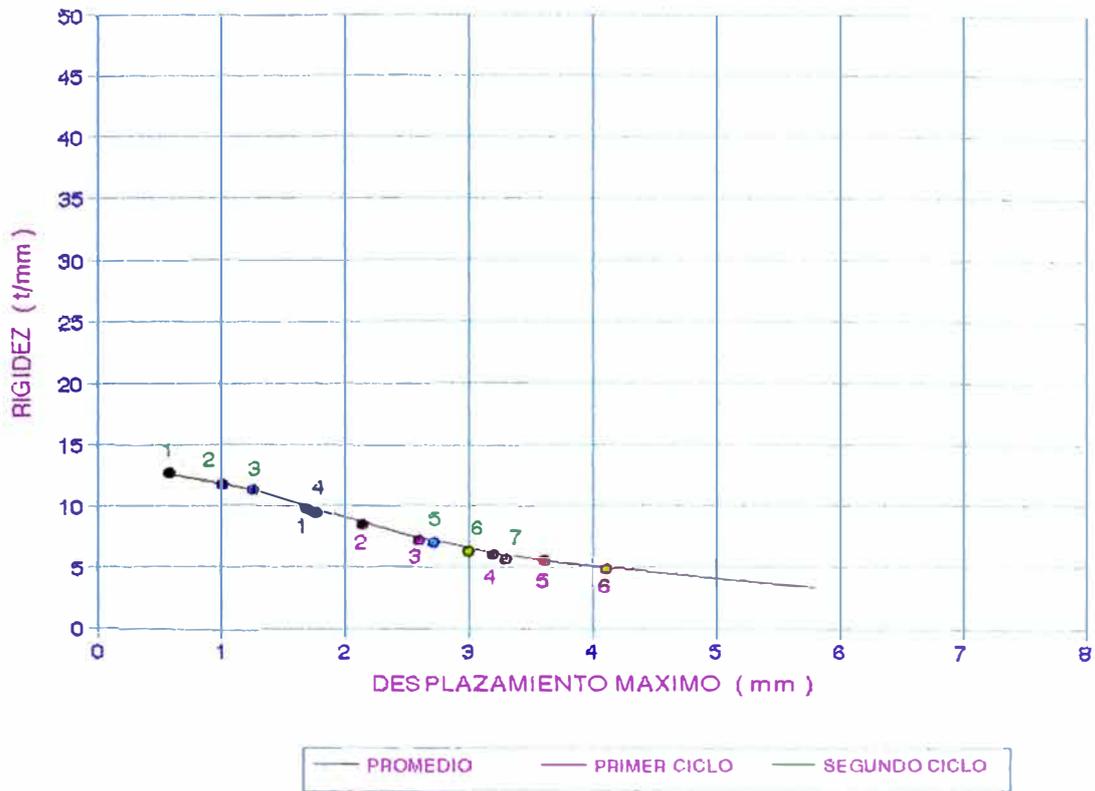
DEGRADACION DE RIGIDEZ
GRAFICOS N° 6



LA17VPC

LEYENDA						
LA17VPC SENTIDO POSITIVO						
N	PASOS	SERIES	CARGA (T)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION	COLOR
1	216	6-1	13.63	0.70	1/2750	●
2	256	7-1	15.41	1.00	1/1900	●
3	296	8-1	16.78	1.25	1/1550	●
4	397	9-2	16.93	1.52	1/1250	●
5	417	10-1	18.32	1.71	1/1100	●
6	457	11-1	18.88	1.88	1/1000	●
7	497	12-1	20.13	2.20	1/900	●
8	578	14-1	24.35	3.29	1/600	●
9	618	15-1	24.60	3.68	1/500	●
LA17VPC SENTIDO NEGATIVO						
N	PASOS	SERIES	CARGA (T)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION	COLOR
1	166	5-1	19.10	1.63	1/1200	●
2	246	7-1	22.03	2.12	1/900	●
3	367	9-1	25.94	2.90	1/650	●
4	427	10-2	26.16	3.17	1/600	●
5	467	11-1	26.21	3.34	1/600	●
6	568	14-1	26.38	3.72	1/500	●
7	639	15-2	26.30	5.66	1/350	●

DEGRADACION DE RIGIDEZ
GRAFICOS N°6

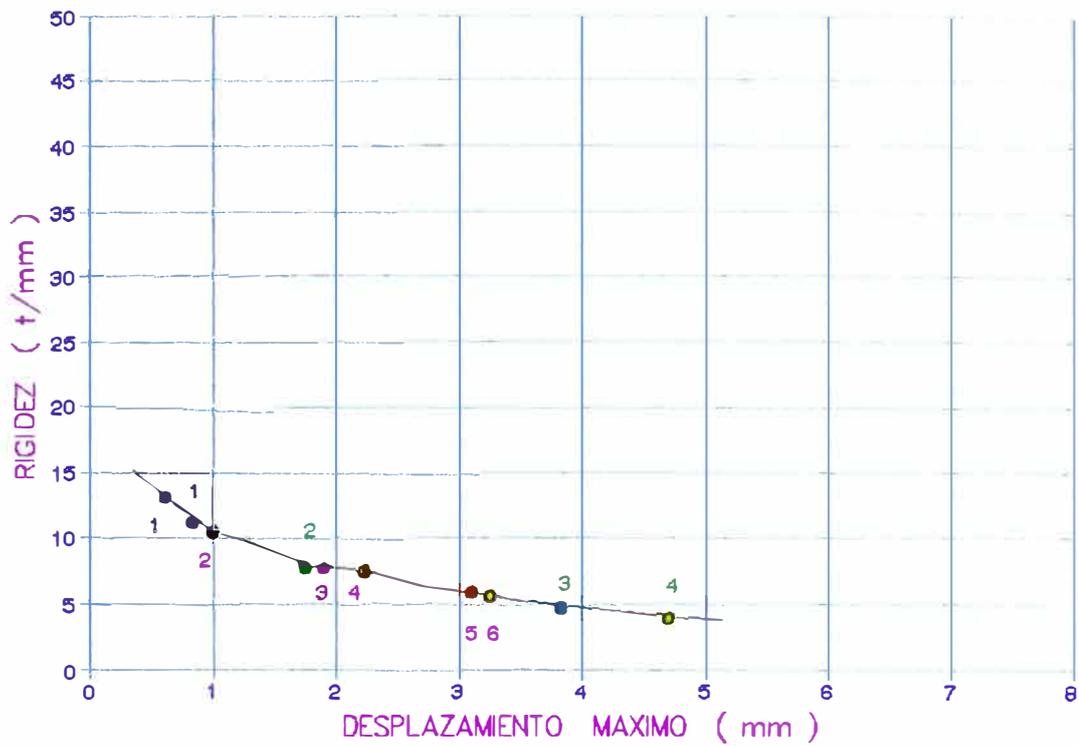


LA20VDC

LEYENDA

LA20VDC SENTIDO POSITIVO						
N	PASOS	SERIES	CARGA (T)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION	COLOR
1	451	2-1	5.47	0.46	1/4000	●
2	531	4-1	11.01	1.02	1/1800	●
3	571	5-1	13.72	1.31	1/1400	●
4	611	6-1	15.70	1.76	1/1000	●
5	692	8-1	17.56	2.56	1/700	●
6	732	9-1	18.32	3.04	1/600	●
7	752	10-1	17.88	3.26	1/550	●
LA20VDC SENTIDO NEGATIVO						
N	PASOS	SERIES	CARGA (T)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION	COLOR
1	521	4-1	19.89	1.69	1/1050	●
2	561	5-1	21.50	2.10	1/850	●
3	601	6-1	22.33	2.58	1/700	●
4	641	7-1	22.43	3.01	1/600	●
5	682	8-2	22.55	3.54	1/500	●
6	722	9-1	22.72	4.03	1/450	●

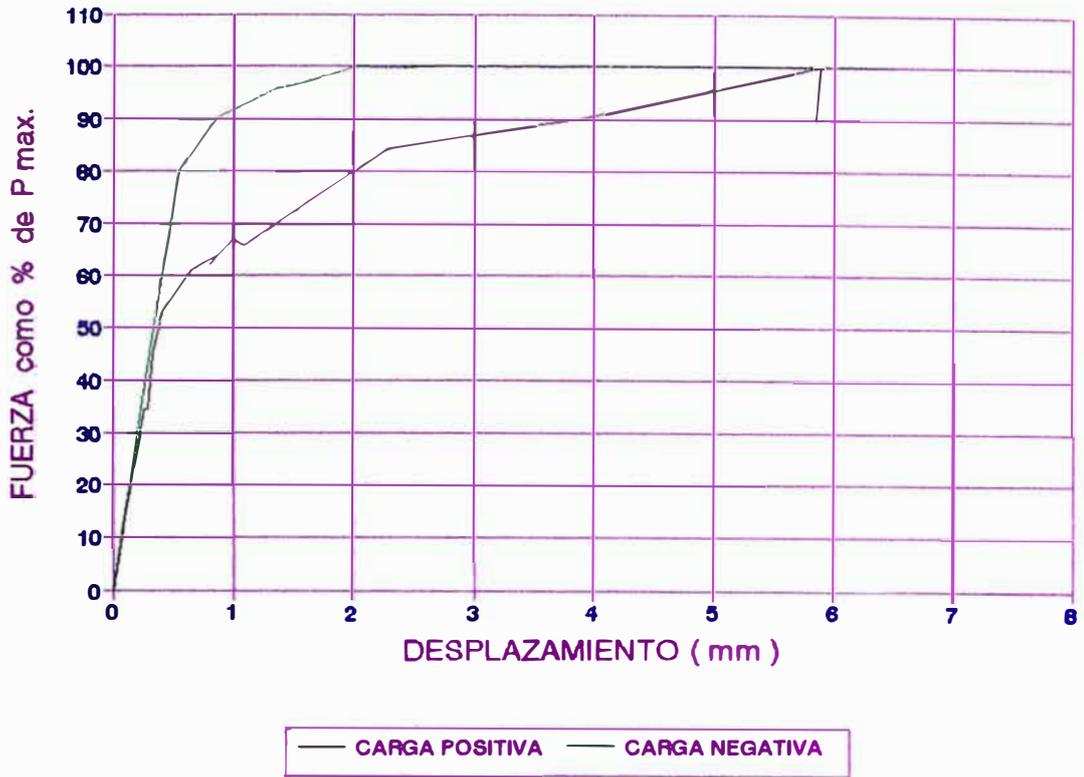
DEGRADACION DE RIGIDEZ
GRAFICOS N°6



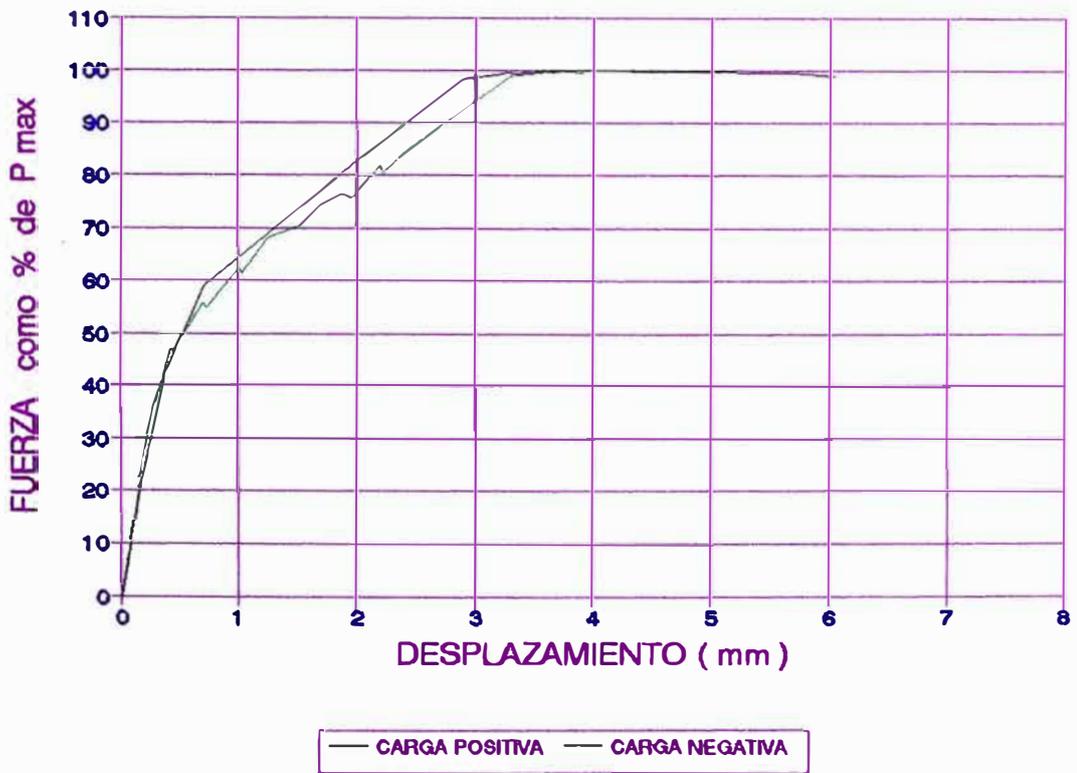
LA17VDC

LEYENDA						
LA17VDC SENTIDO POSITIVO						
N	PASOS	SERIES	CARGA (T)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION	COLOR
1	175	5-1	9.36	0.83	1/2200	●
2	275	7-2	12.78	1.76	1/1050	●
3	458	12-1	18.08	3.80	1/500	●
4	558	14-2	18.38	4.61	1/400	●
LA17VDC SENTIDO NEGATIVO						
N	PASOS	SERIES	CARGA (T)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DISTORSION	COLOR
1	45	2-1	7.69	0.58	1/3150	●
2	145	4-1	10.82	1.00	1/1800	●
3	205	6-1	18.14	1.88	1/1000	●
4	245	7-1	18.61	2.20	1/800	●
5	366	10-1	19.95	3.05	1/600	●
6	408	11-1	19.97	3.15	1/600	●

DEGRADACION DE RIGIDEZ
GRAFICOS N°6

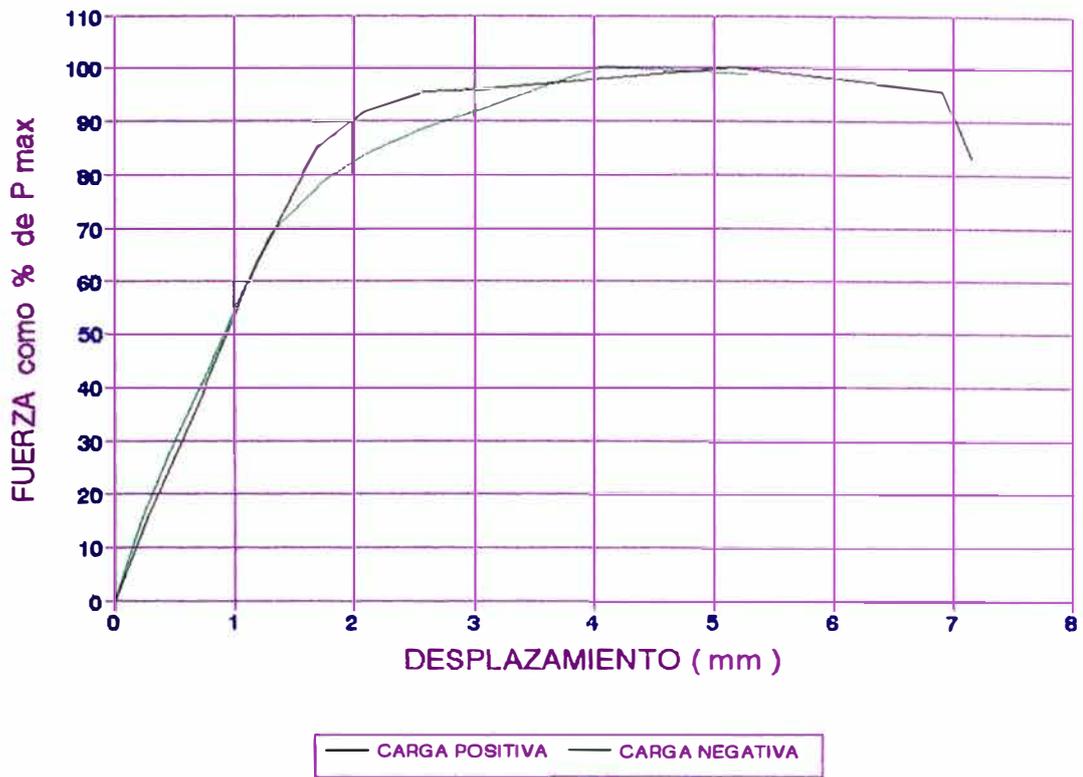


LA20VPC

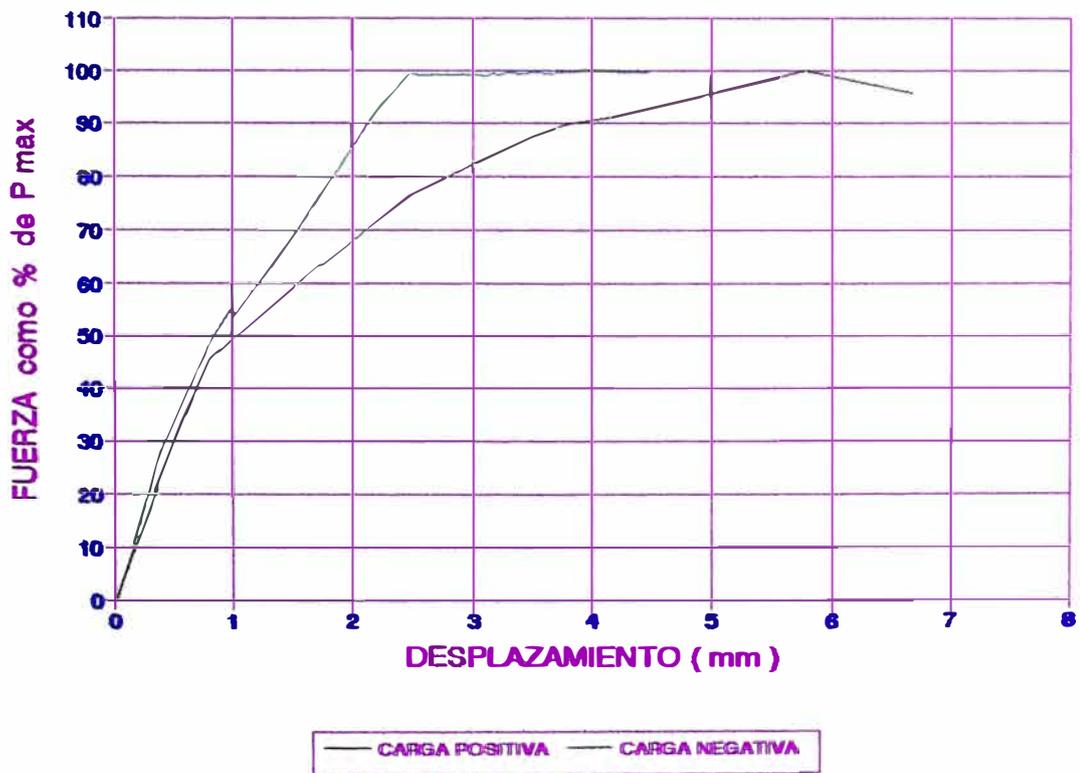


LA17VPC

ENVOLVENTES NORMALIZADAS FUERZA - DESPLAZAMIENTO
GRAFICOS Nº 7

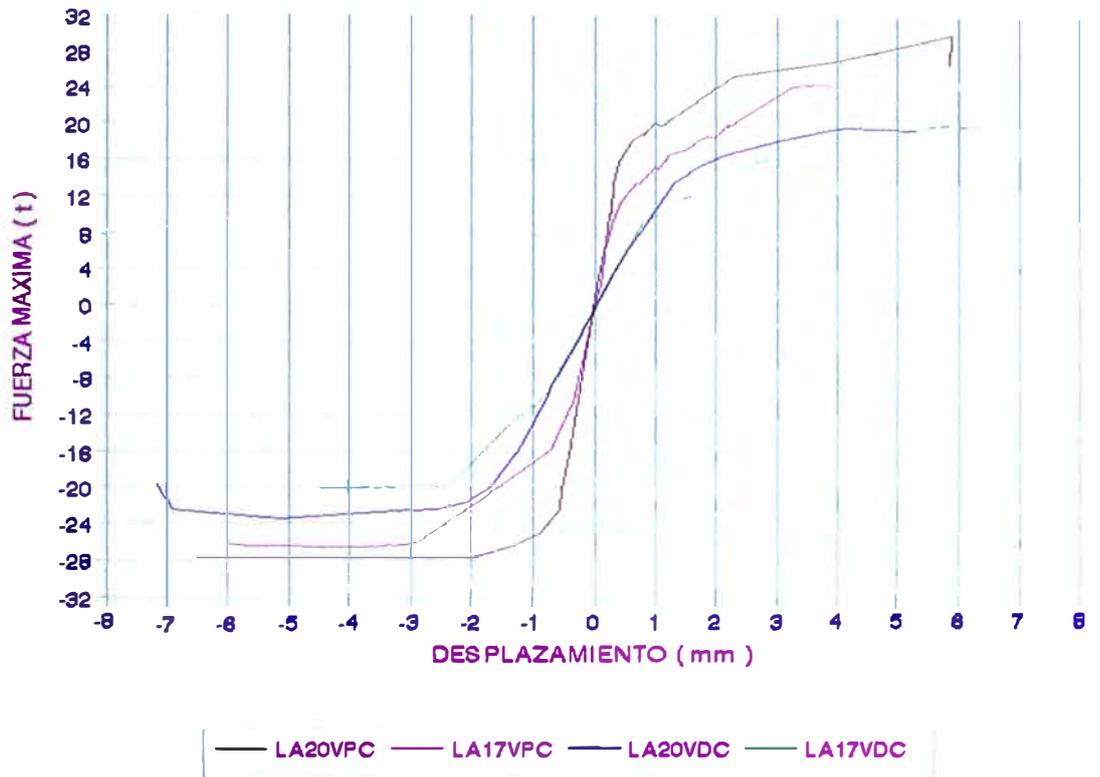


LA20VDC

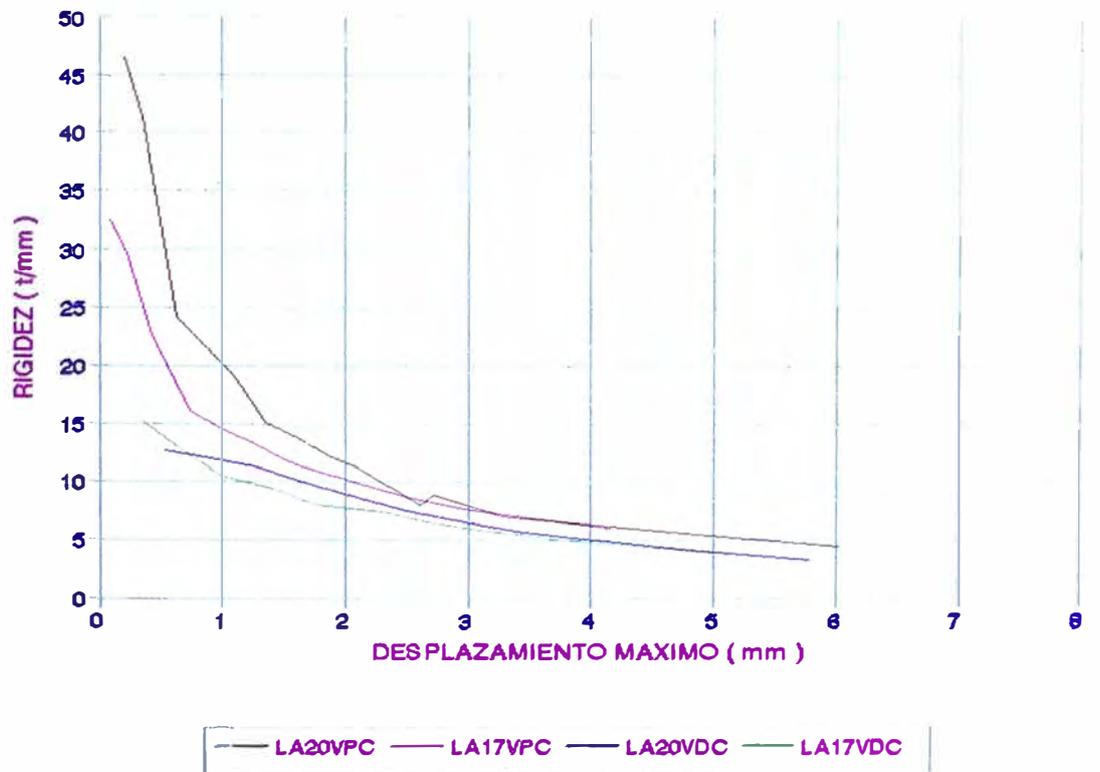


LA17VDC

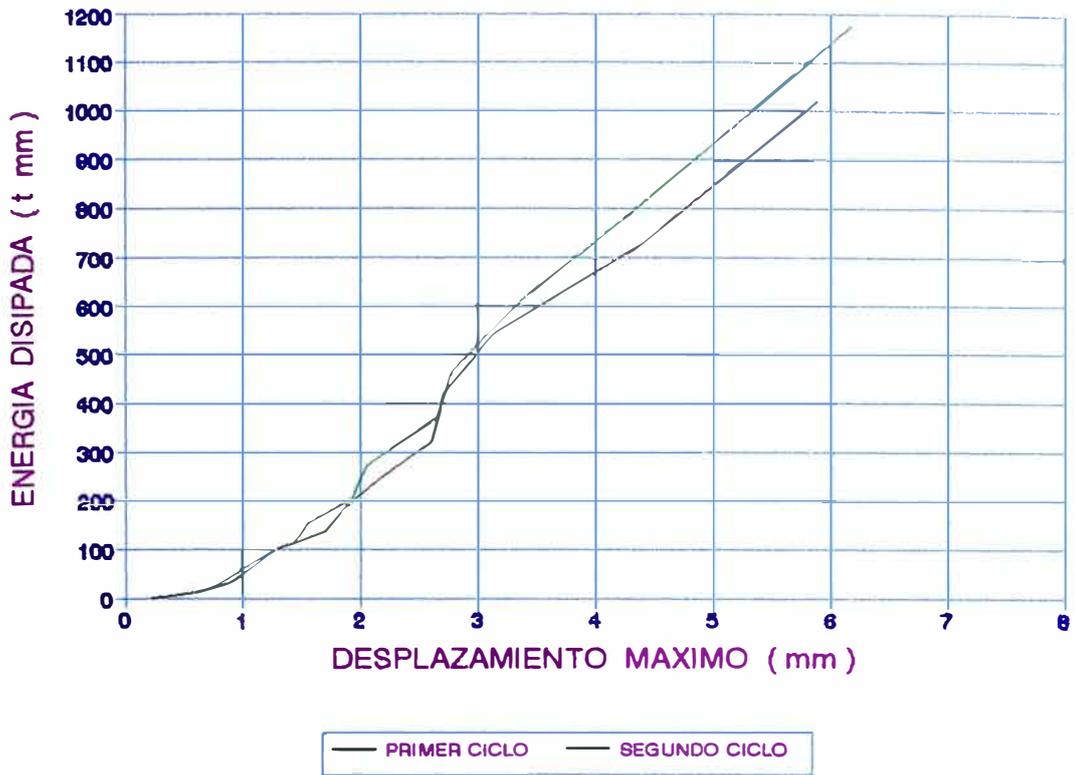
ENVOLVENTES NORMALIZADAS FUERZA - DESPLAZAMIENTO
GRAFICOS N° 7



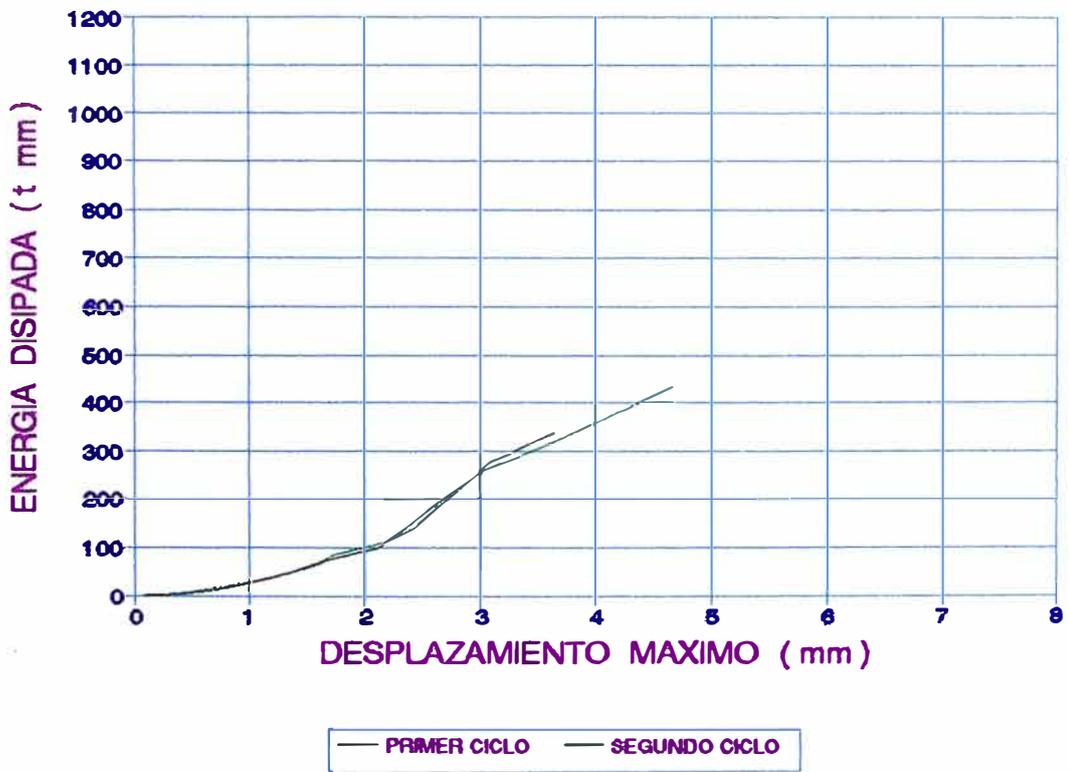
COMPARACION DE LAS ENVOLVENTES DE LAS CURVAS FUERZA - DESPLAZAMIENTO



COMPARACION DE LA DEGRADACION DE RIGIDEZ

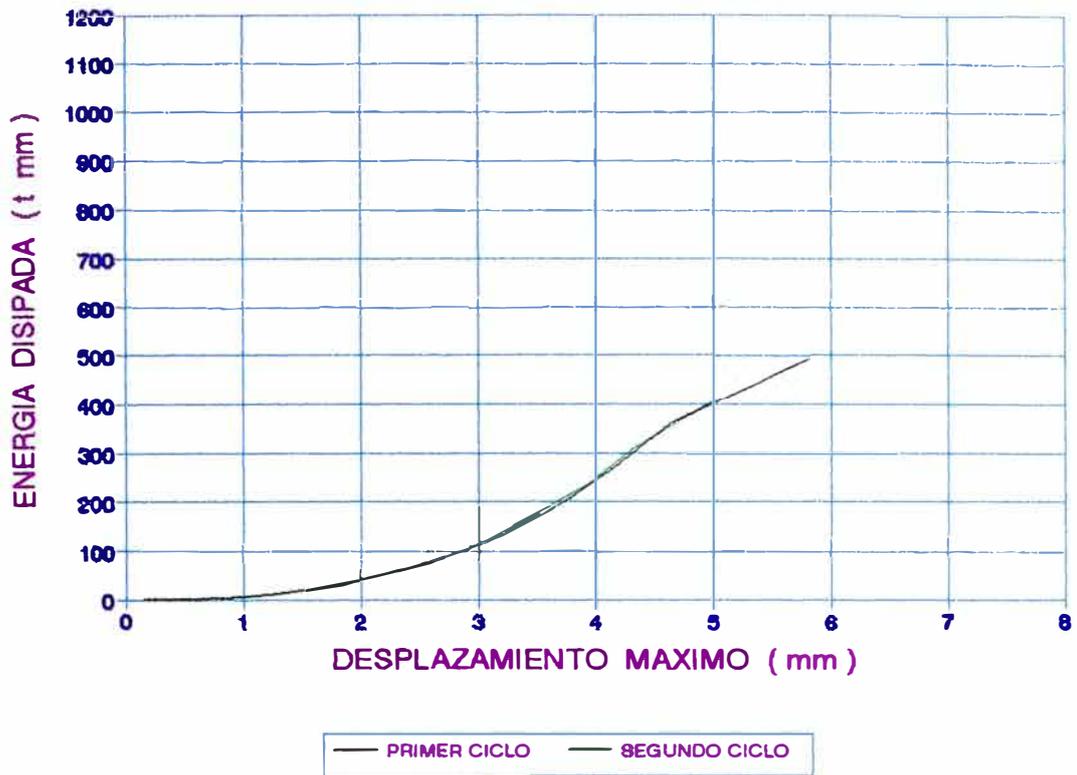


LA20VPC

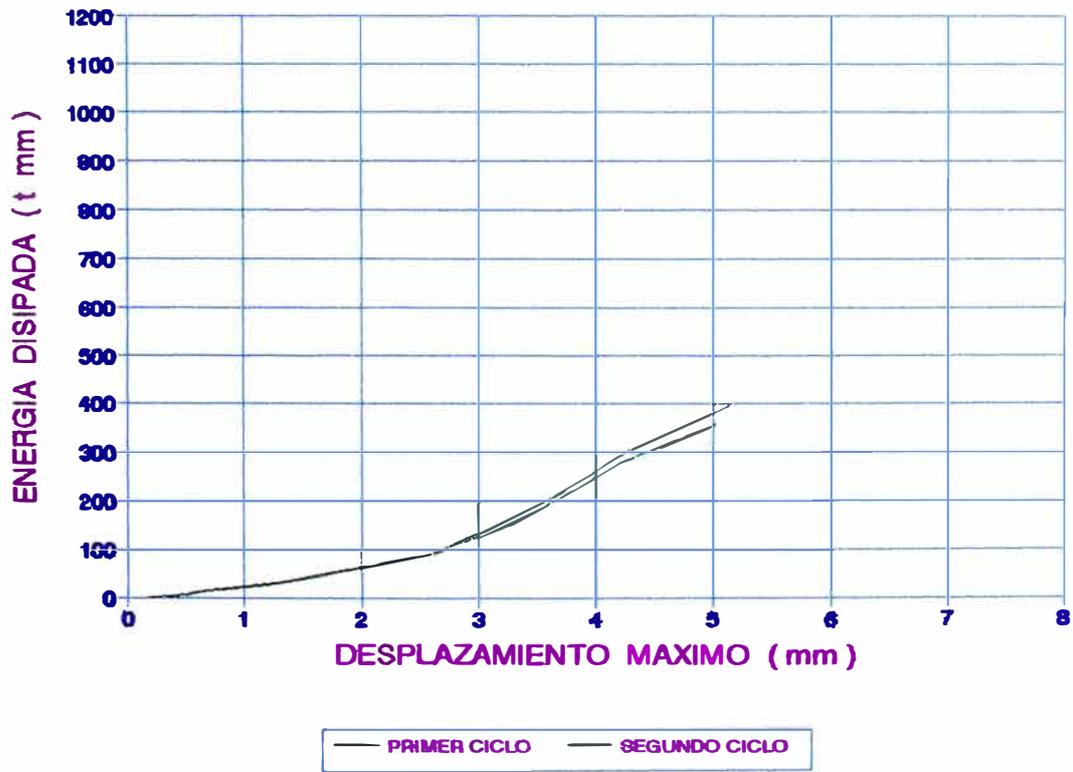


LA17VPC

COMPARACION DE LA ENERGIA DISIPADA EN LOS CICLOS SUCESIVOS DE CADA SERIE
GRAFICOS Nº 9

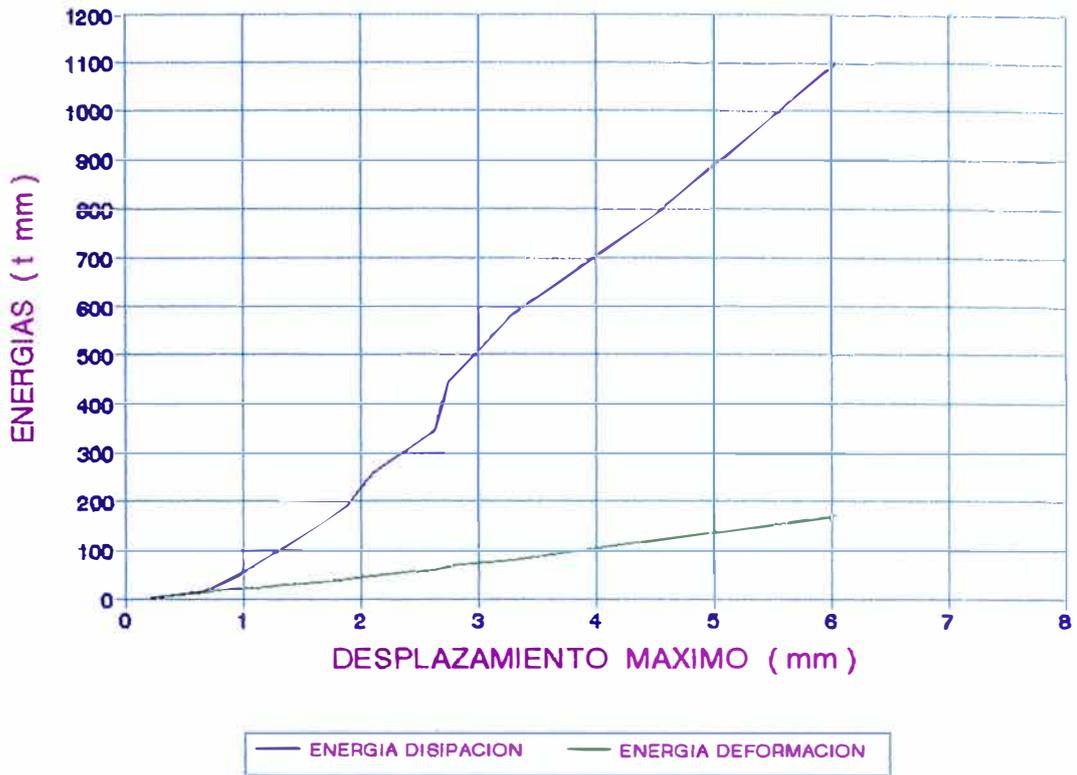


LA20VDC

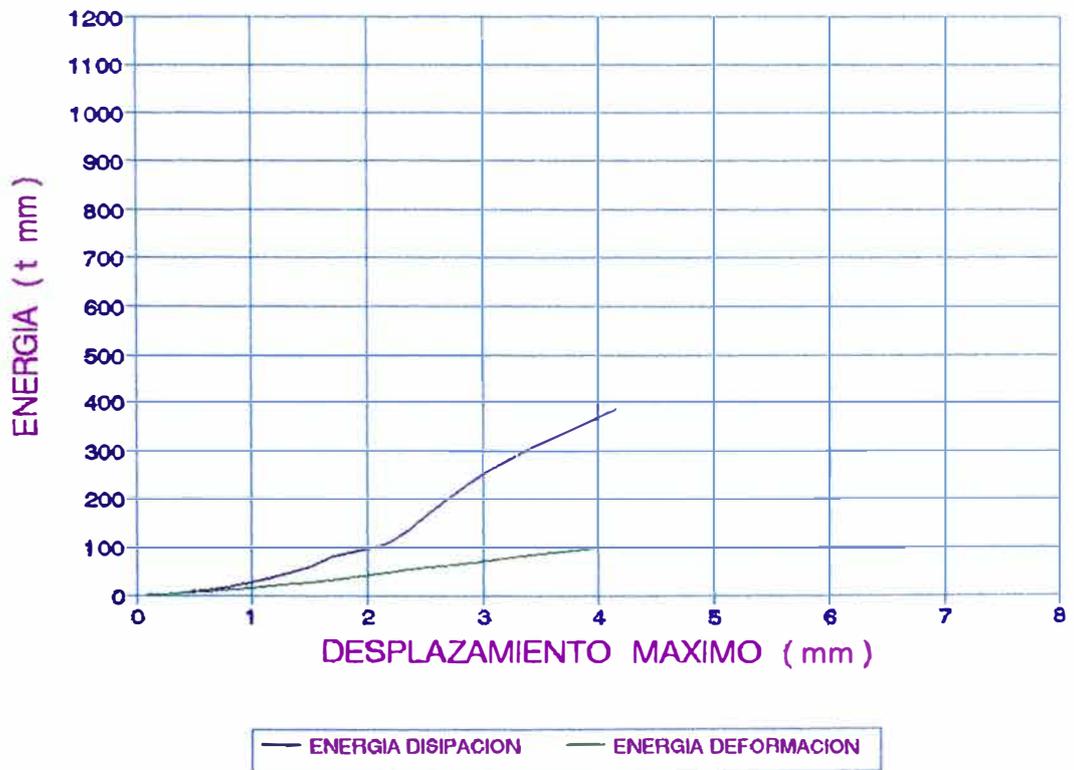


LA17VDC

COMPARACION DE LA ENERGIA DISIPADA EN LOS CICLOS SUCESIVOS DE CADA SERIE
 GRAFICOS N° 9

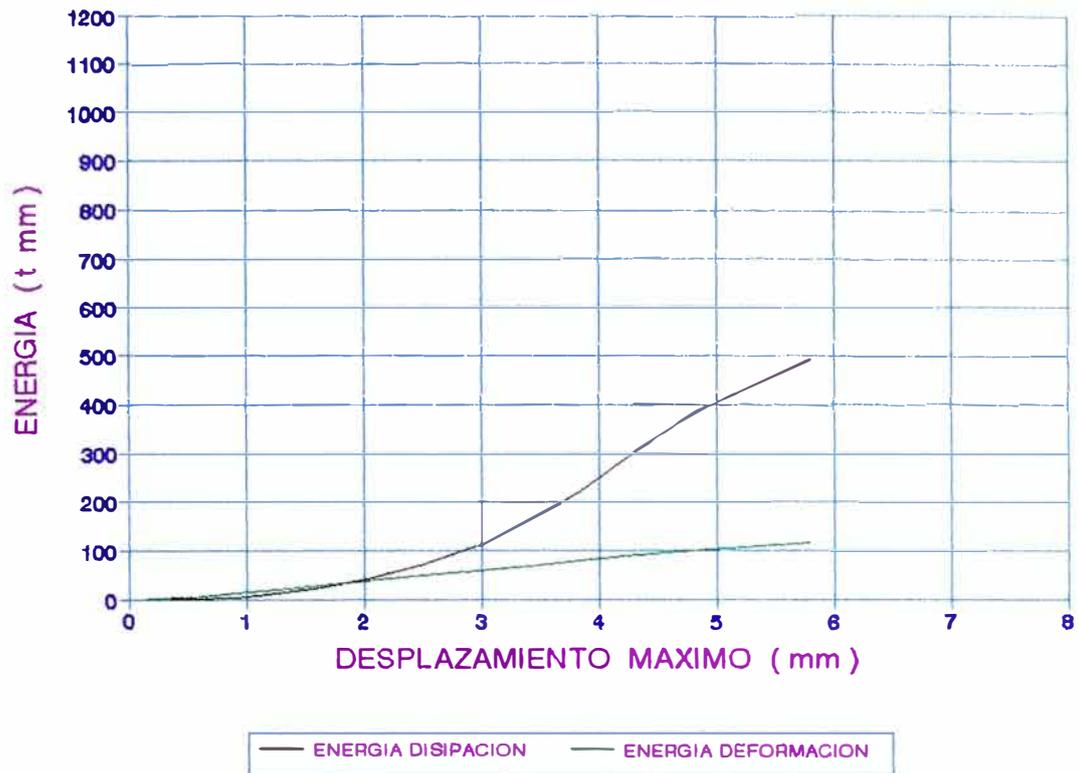


LA20VPC

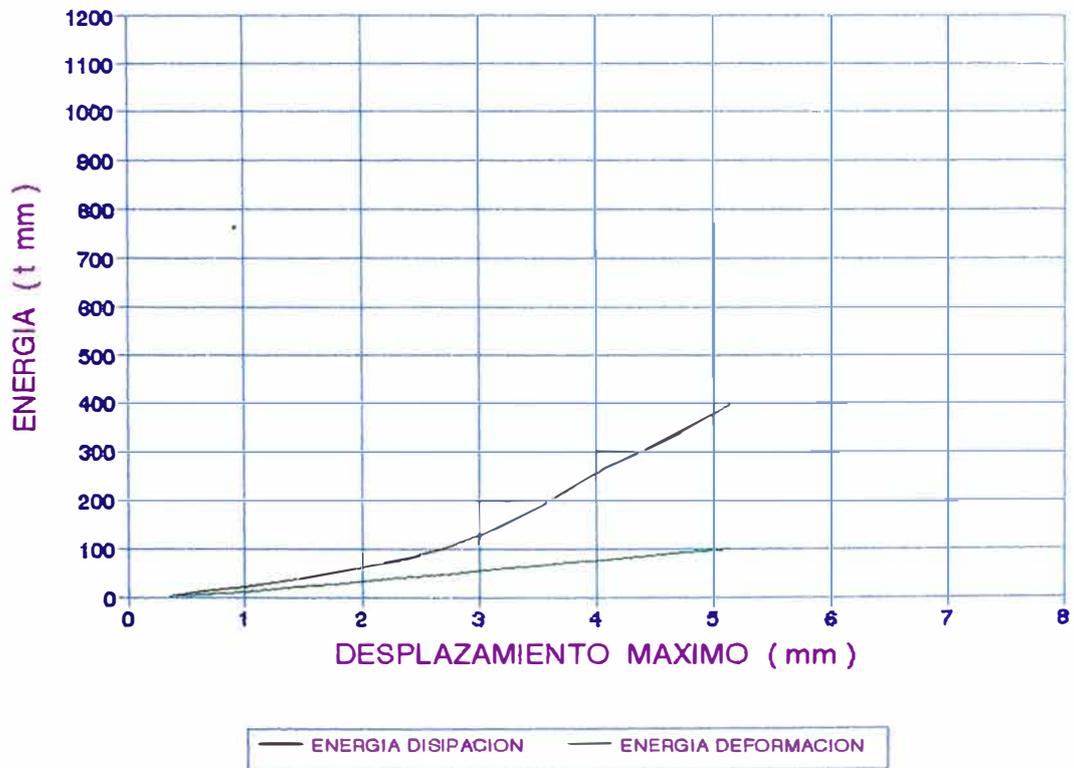


LA17VPC

COMPARACION DE LA ENERGIA DISIPADA CON LA ENERGIA DE DEFORMACION
GRAFICOS Nº 10

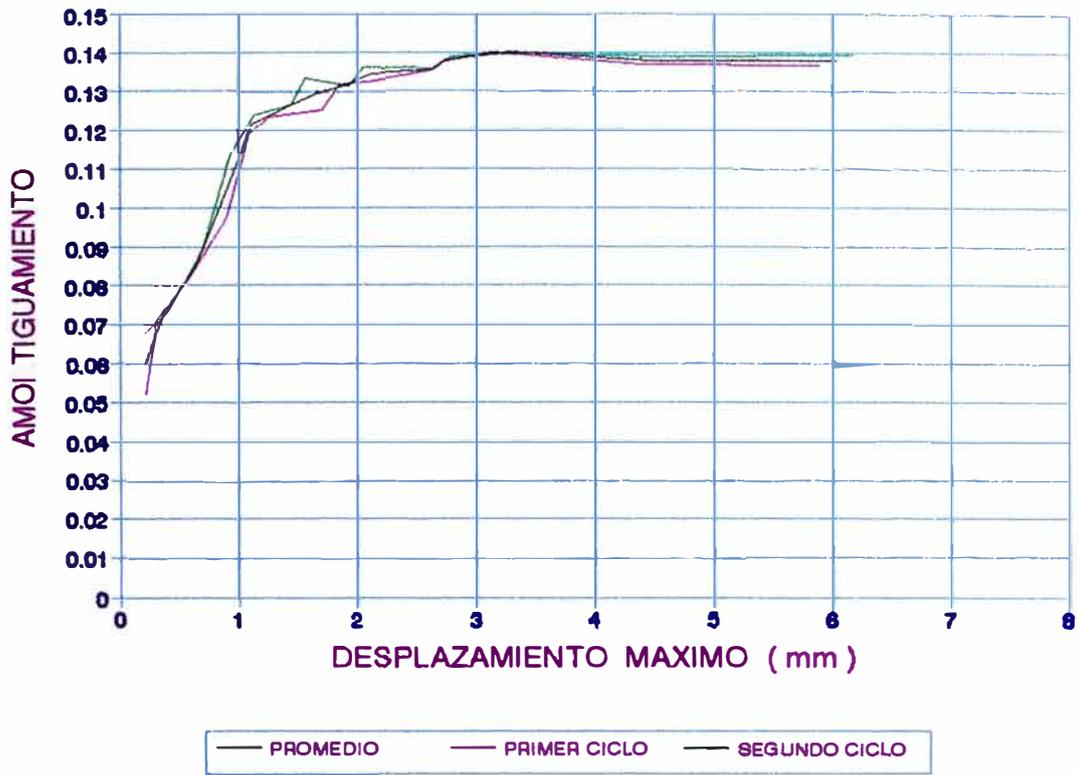


LA20VDC

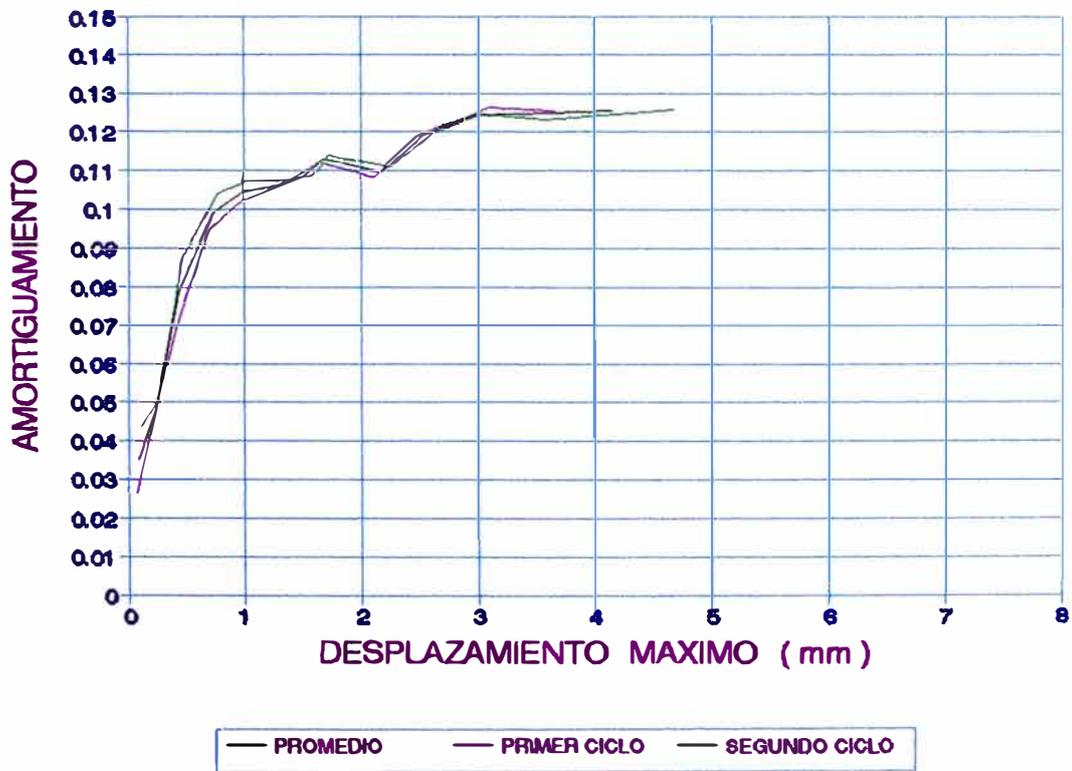


LA17VDC

**COMPARACION DE LA ENERGIA DISIPADA CON LA ENERGIA DE DEFORMACION
GRAFICOS Nº 10**

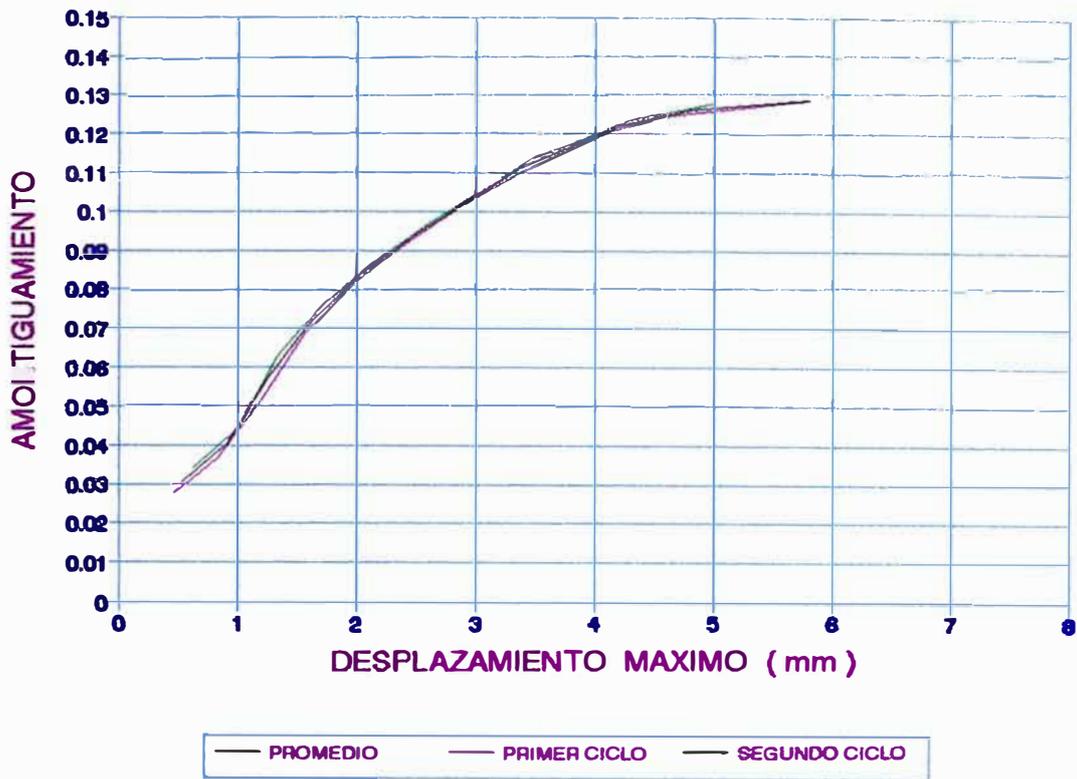


LA20VPC

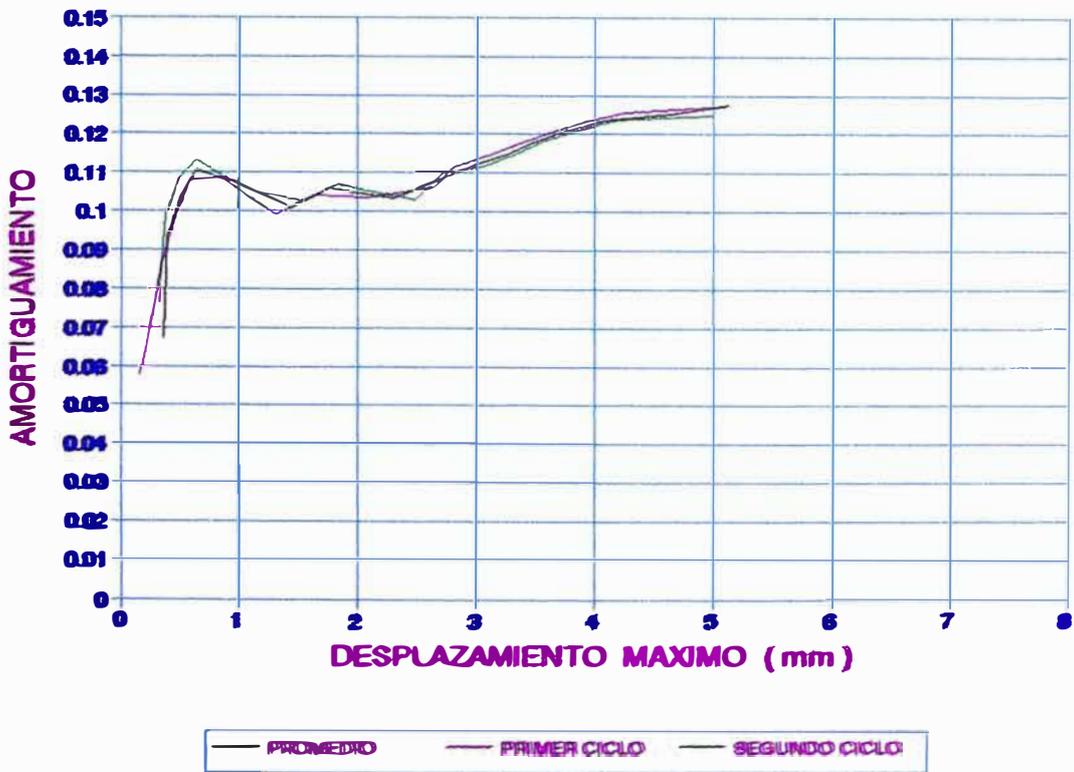


LA17VPC

AMORTIGUAMIENTO HISTERETICO COMO FUNCION DEL DESPLAZAMIENTO MAXIMO
GRAFICOS Nº 11

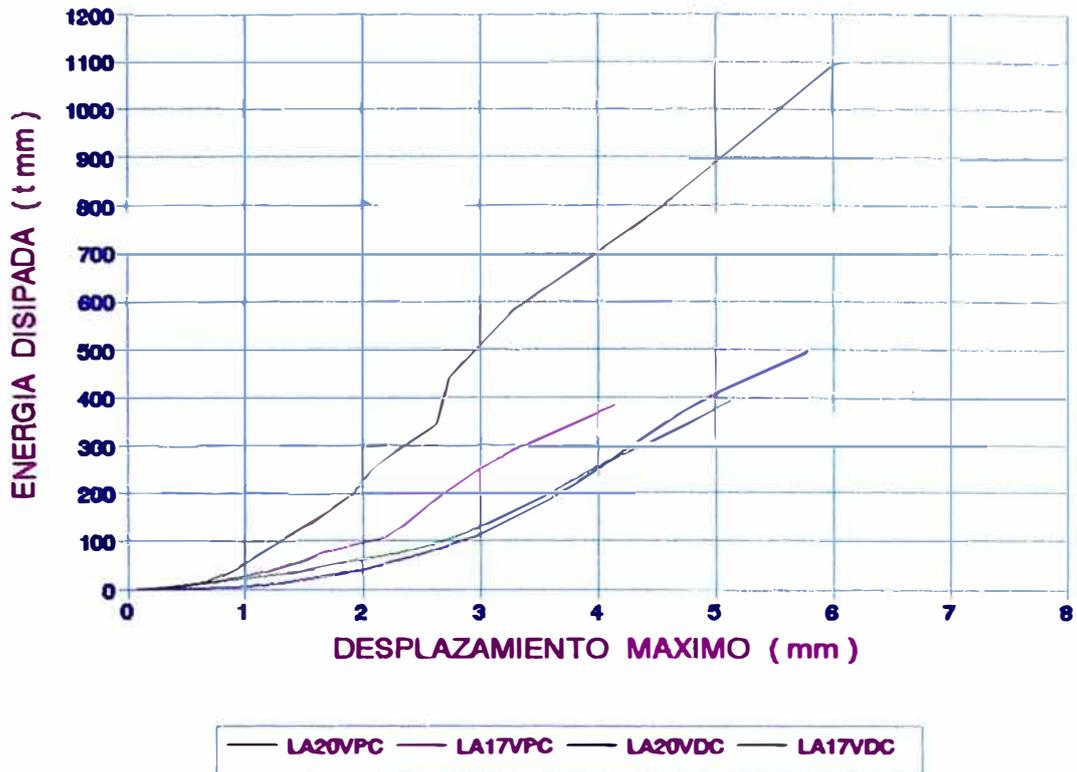


LA20VDC

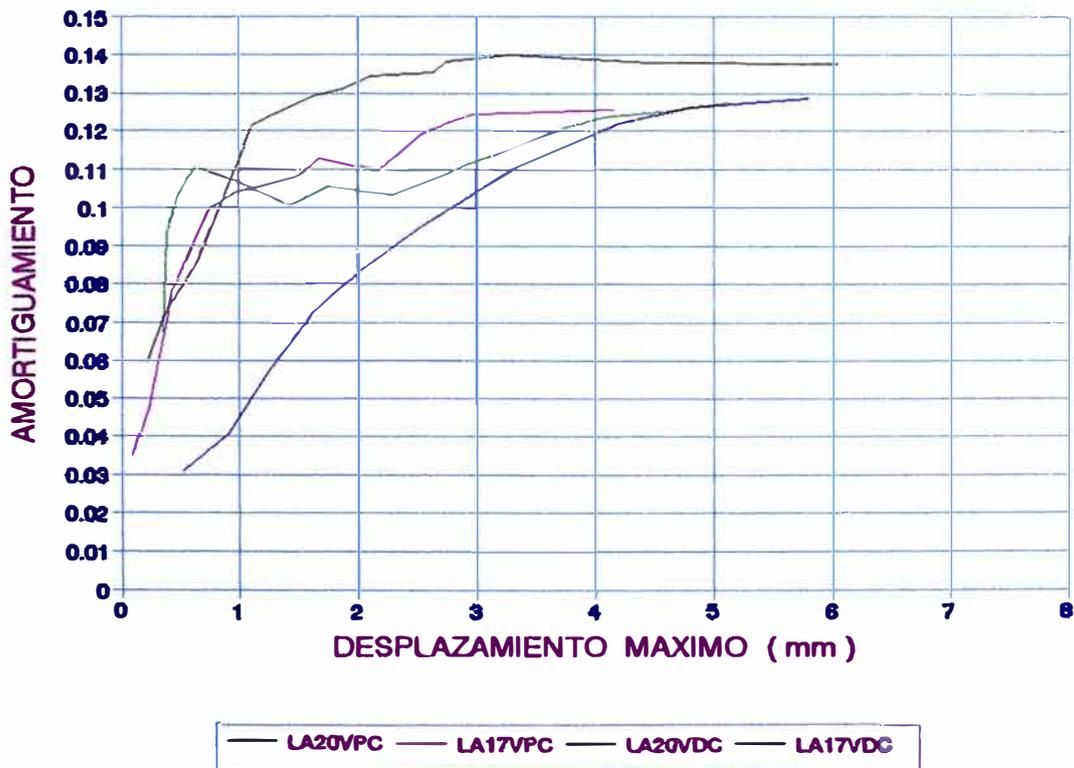


LA17VDC

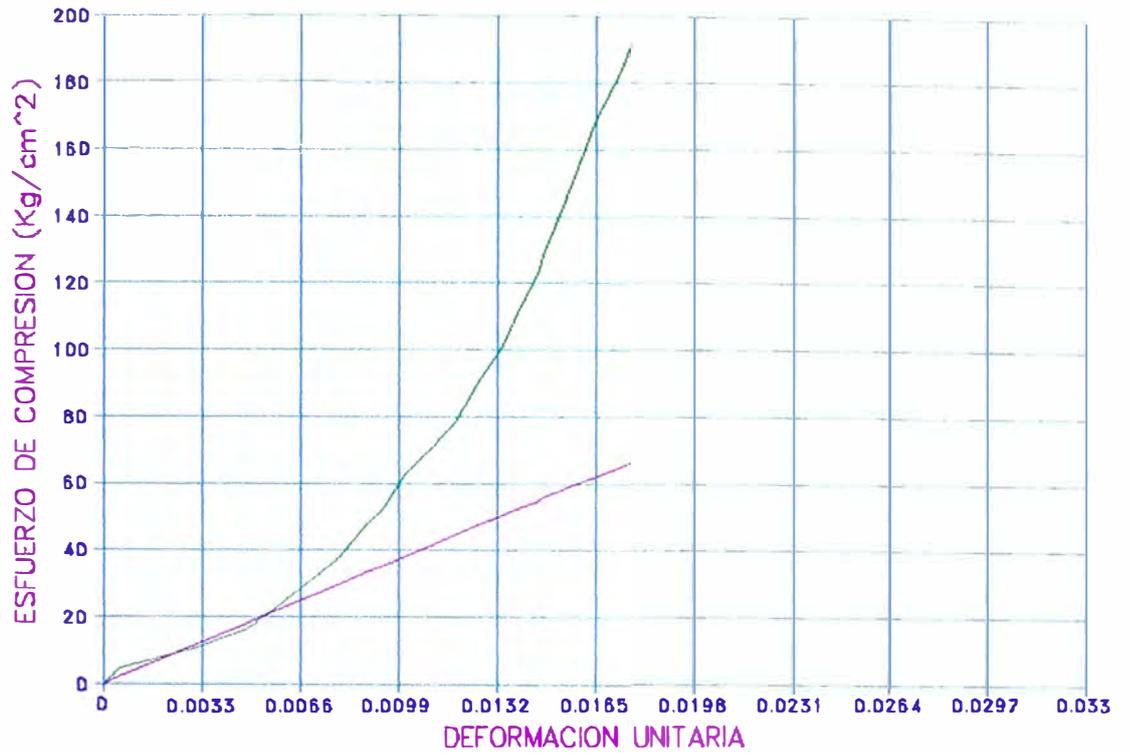
AMORTIGUAMIENTO HISTERETICO COMO FUNCION DEL DESPLAZAMIENTO MAXIMO
GRAFICOS Nº 11



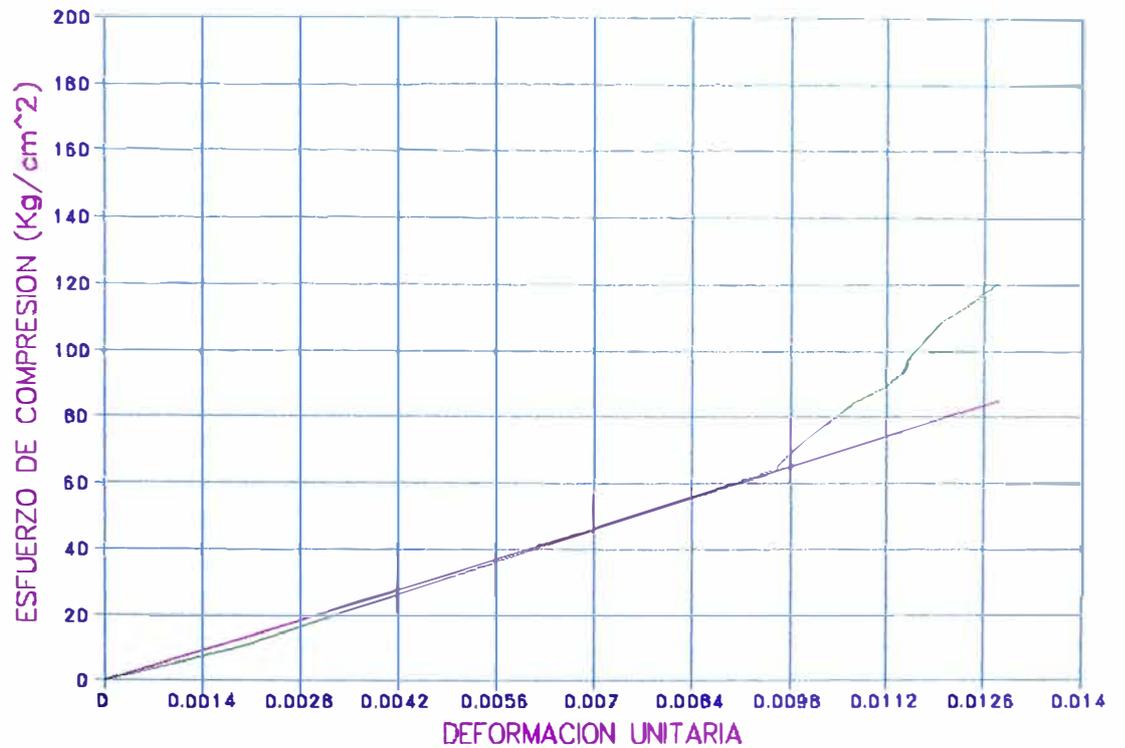
COMPARACION DE LA ENERGIA DE DISIPACION



COMPARACION DEL AMORTIGUAMIENTO HISTERETICO



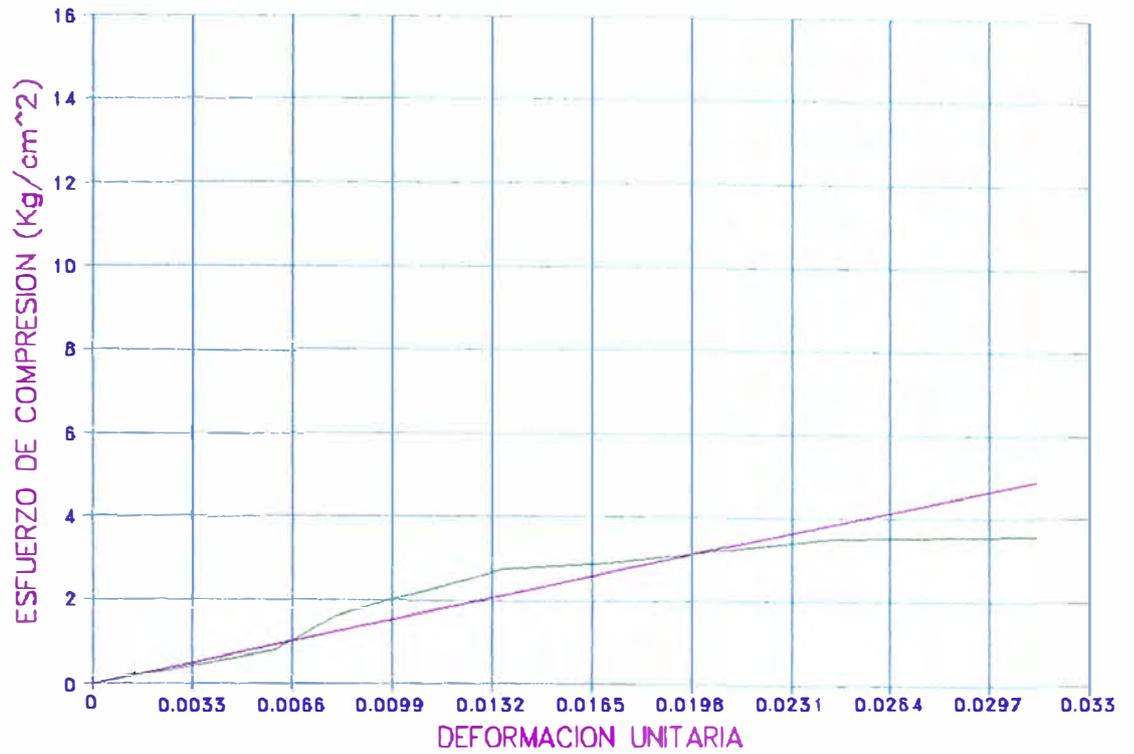
ESFUERZO DE COMPRESION PERPENDICULAR A LA SECCION TUBULAR (LADRILLO 12 cm)



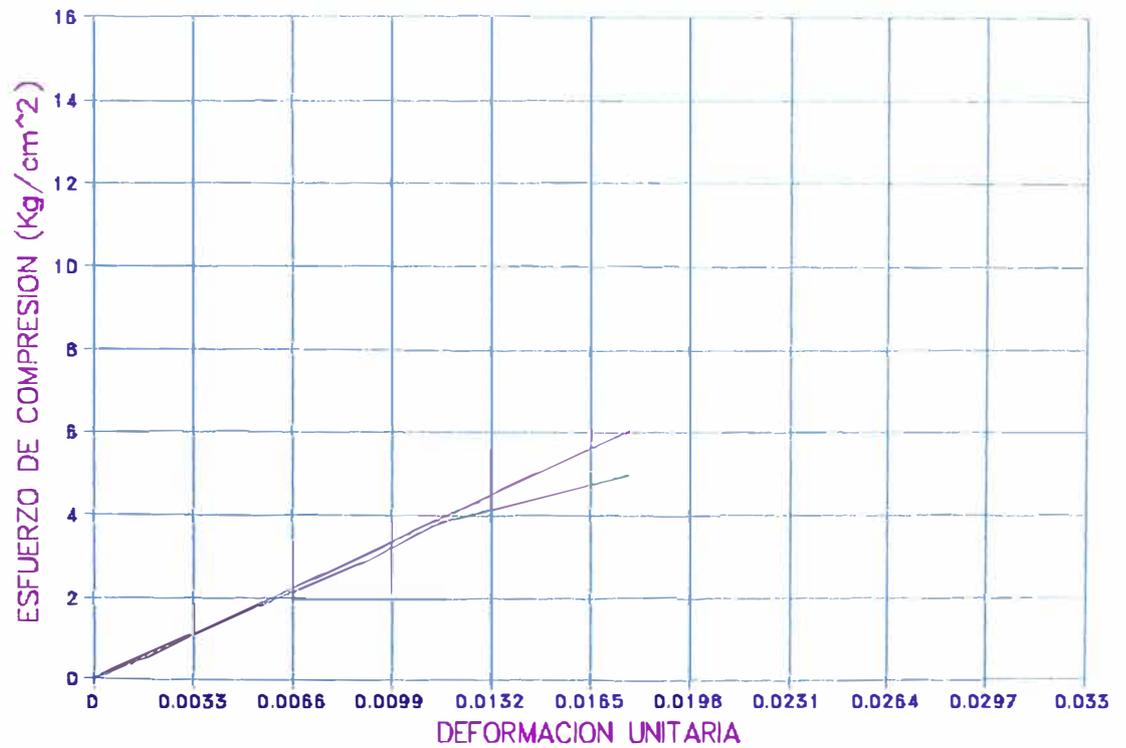
ESFUERZO DE COMPRESION PERPENDICULAR A LA SECCION TUBULAR (LADRILLO 15 cm)

**CURVA ESFUERZO DEFORMACION DE LOS ENSAYOS EN LADRILLOS DE TECHO
PARA EL CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD**

GRAFICOS Nº 13



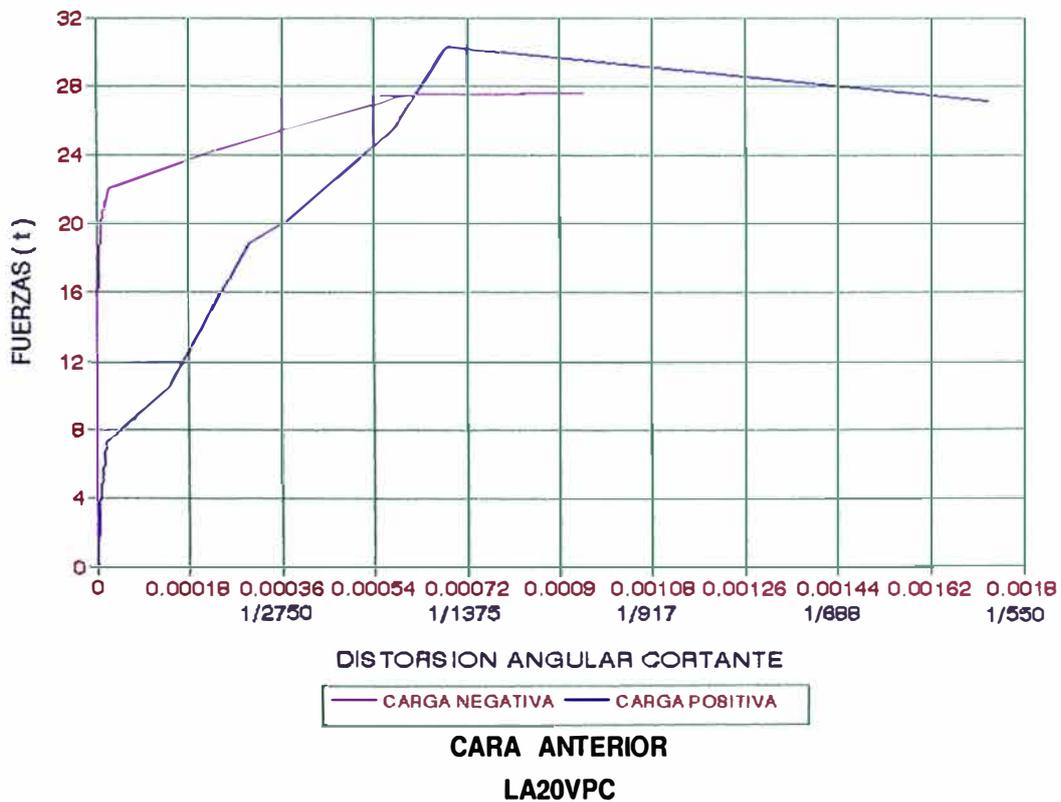
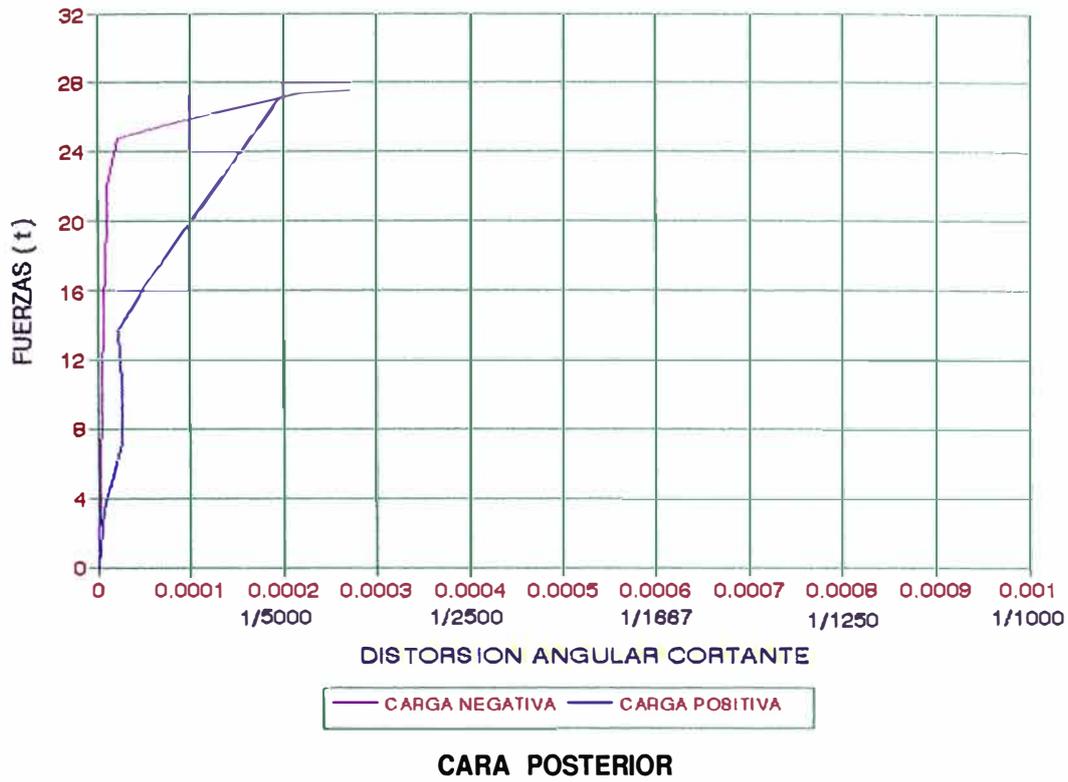
ESFUERZO DE COMPRESION PERPENDICULAR A LA SECCION DIAGONAL (LADRILLO 12 cm)



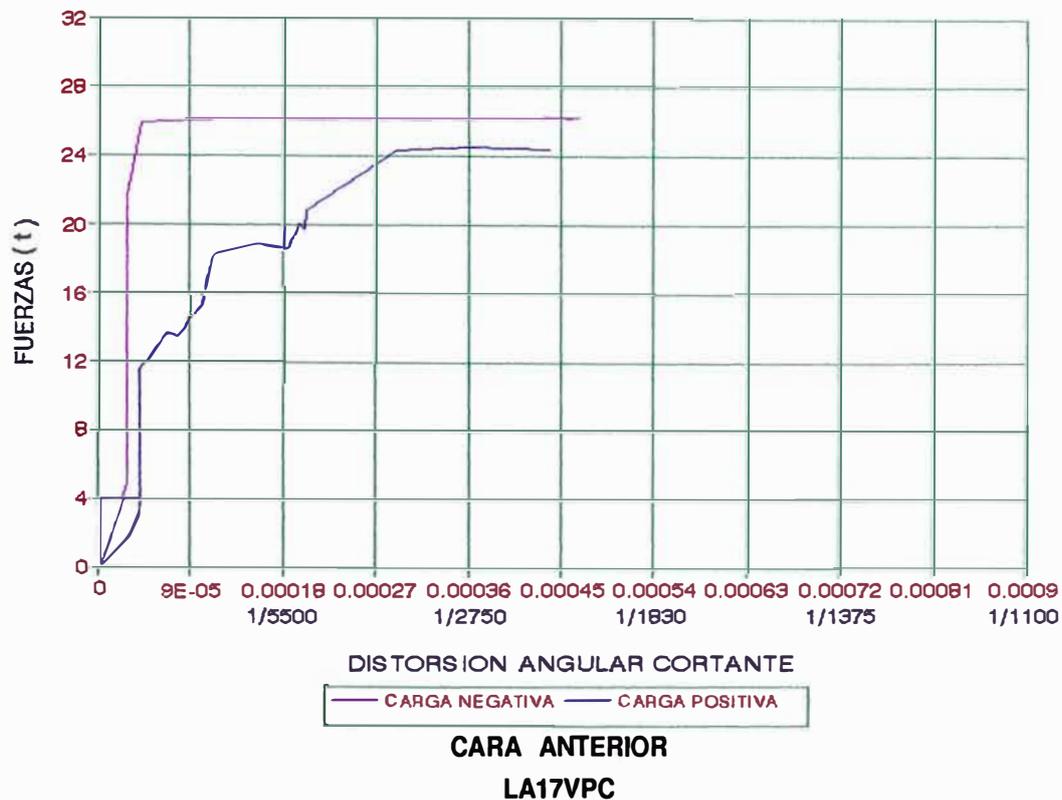
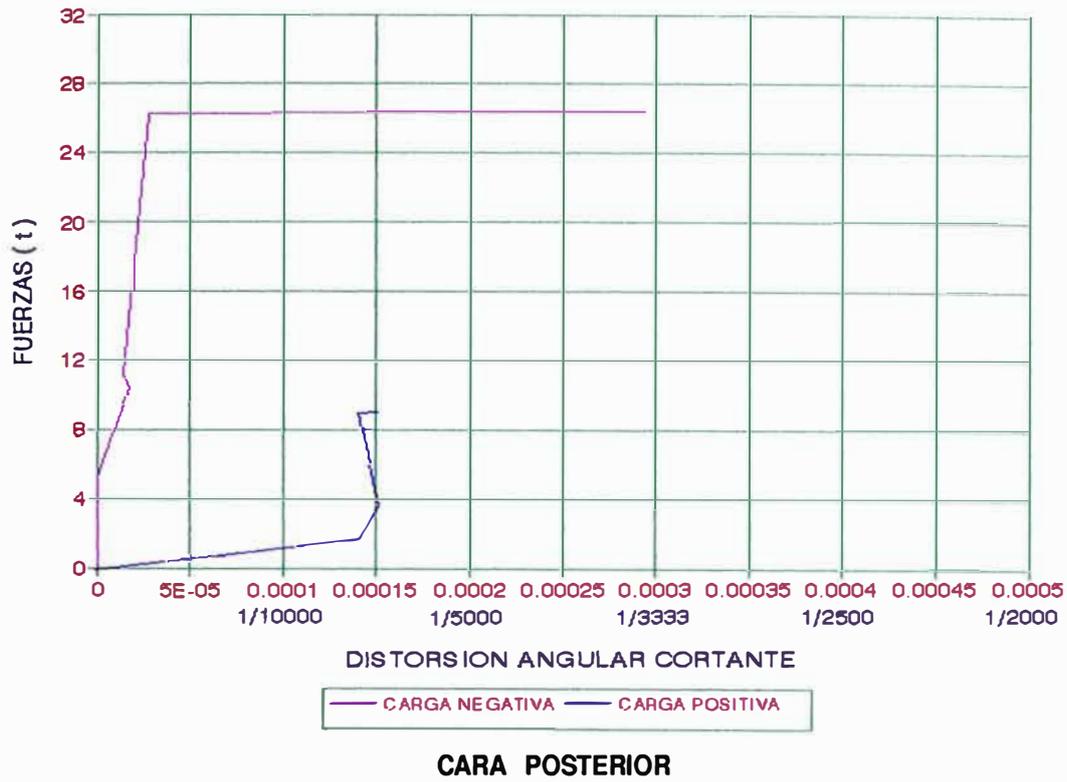
ESFUERZO DE COMPRESION PERPENDICULAR A LA SECCION DIAGONAL (LADRILLO 15 cm)

**CURVA ESFUERZO DEFORMACION DE LOS ENSAYOS EN LADRILLOS DE TECHO
PARA EL CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD**

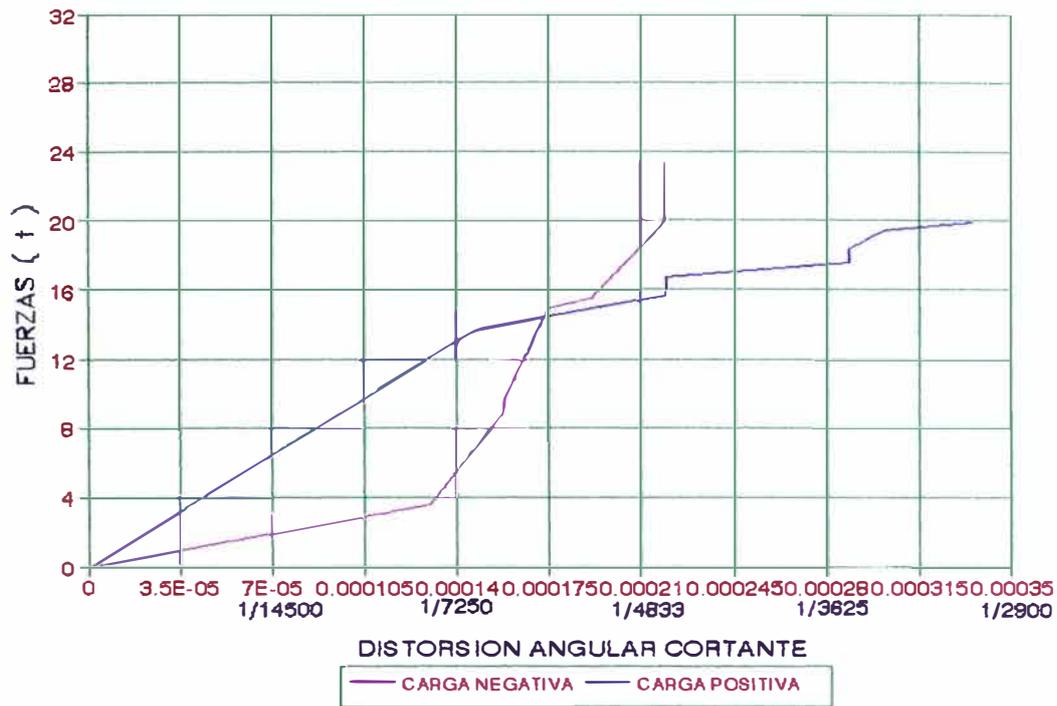
GRAFICOS Nº 13



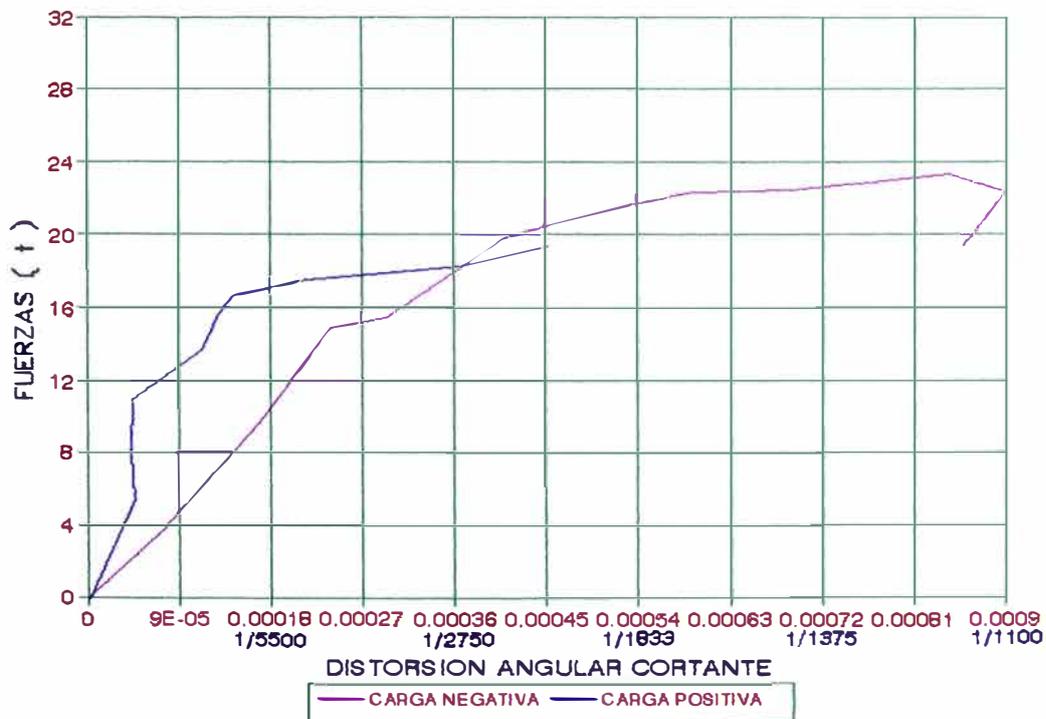
**CURVA FUERZA - DISTORSION ANGULAR CORTANTE EN EL PLANO
EVALUADAS CON LA ROSETA DE DEFORMACIONES
GRAFICOS Nº 14**



**CURVA FUERZA - DISTORSION ANGULAR CORTANTE EN EL PLANO
EVALUADAS CON LA ROSETA DE DEFORMACIONES
GRAFICOS Nº 14**



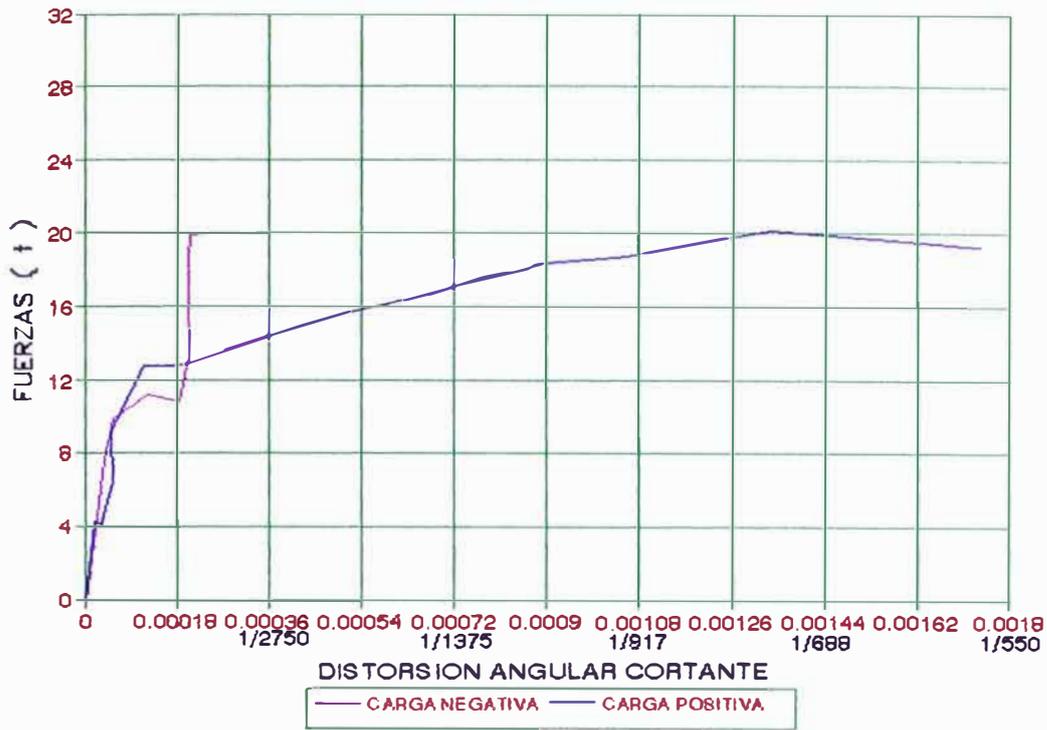
CARA POSTERIOR



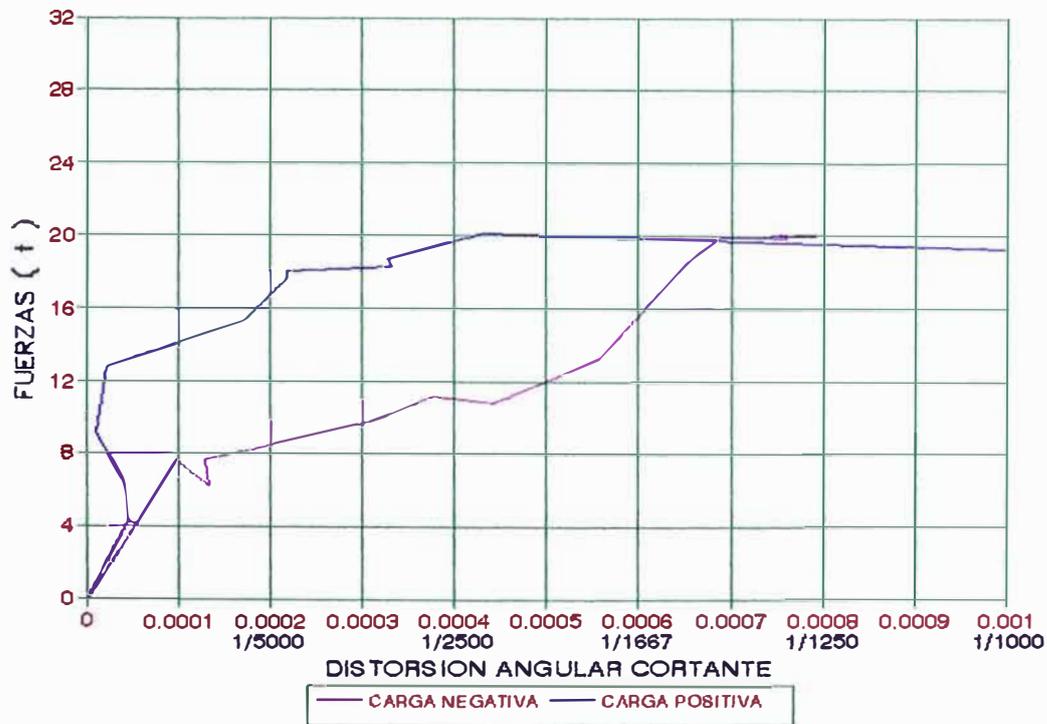
CARA ANTERIOR

LA20VDC

**CURVA FUERZA - DISTRORSION ANGULAR CORTANTE EN EL PLANO
EVALUADAS CON LA ROSETA DE DEFORMACIONES
GRAFICOS Nº 14**



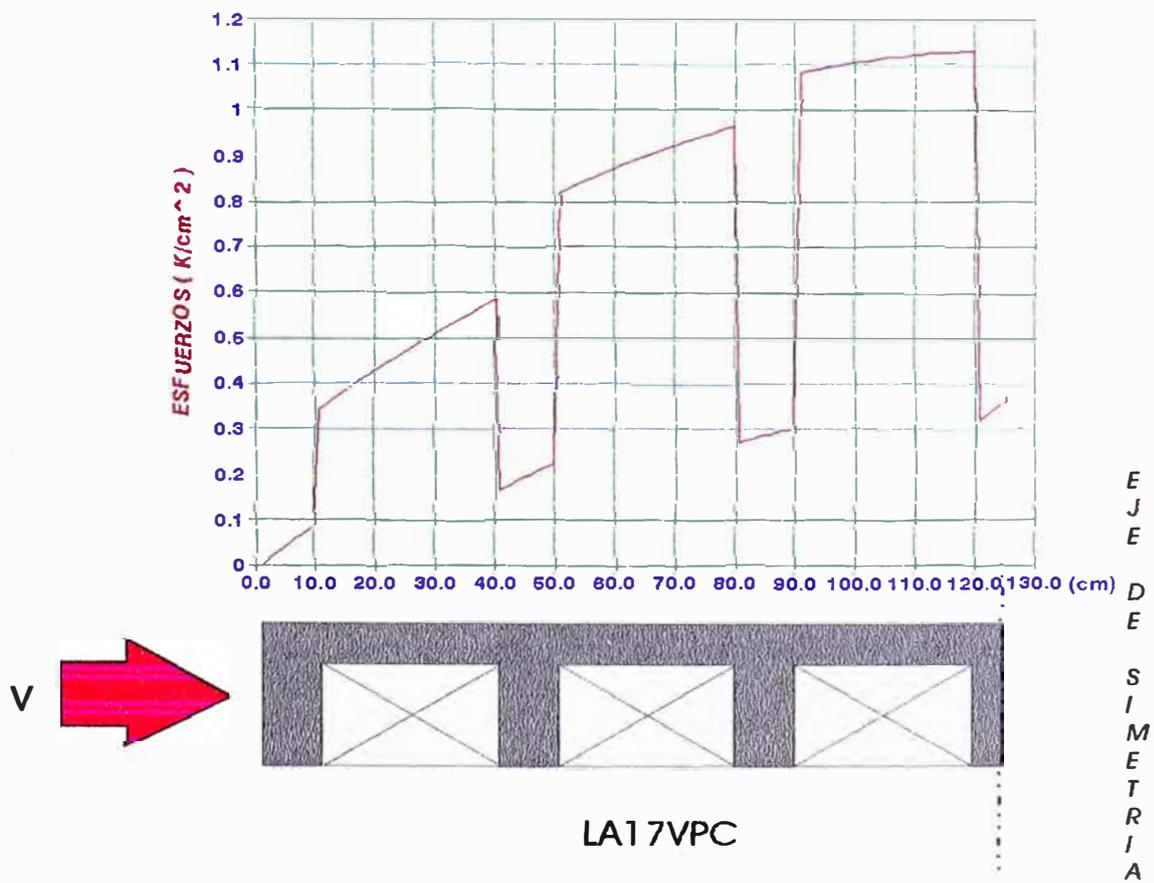
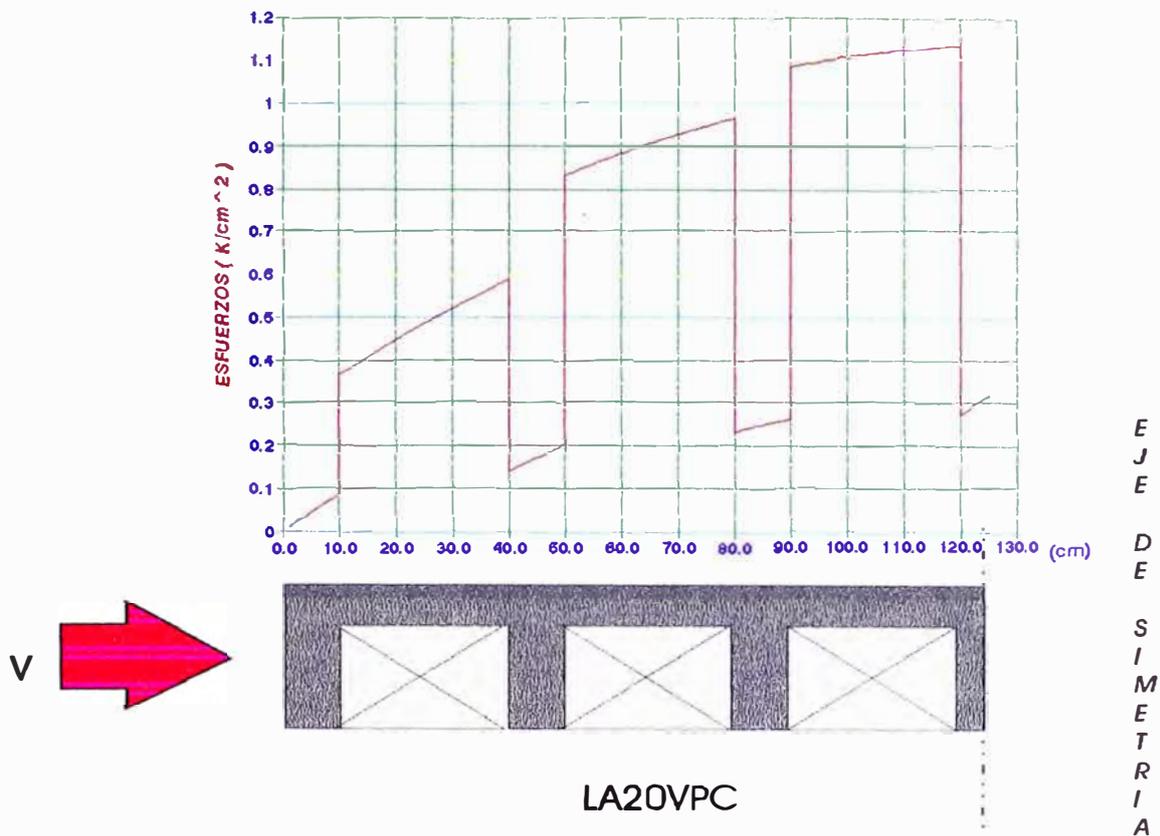
CARA POSTERIOR



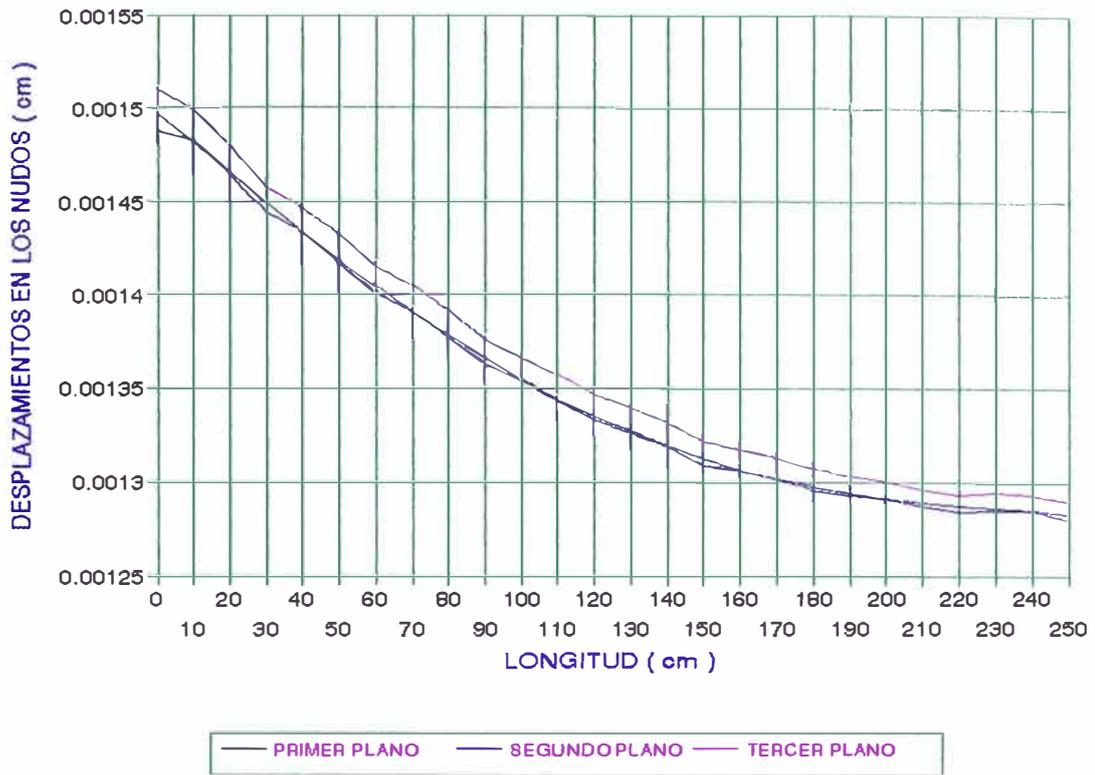
CARA ANTERIOR

LA17VDC

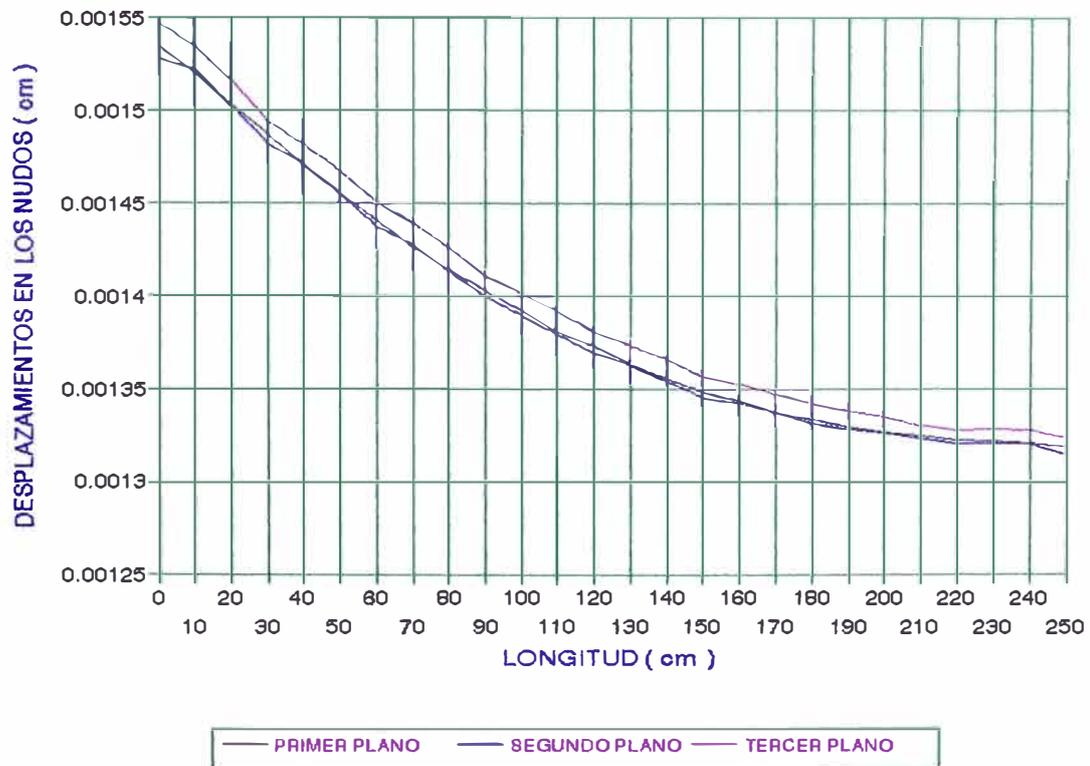
**CURVA FUERZA - DISTORSION ANGULAR CORTANTE EN EL PLANO
EVALUADAS CON LA ROSETA DE DEFORMACIONES
GRAFICOS Nº 14**



DISTRIBUCION DE ESFUERZOS CORTANTES EN LA SECCION DE LA LOSA
(Hasta el eje de simetria)

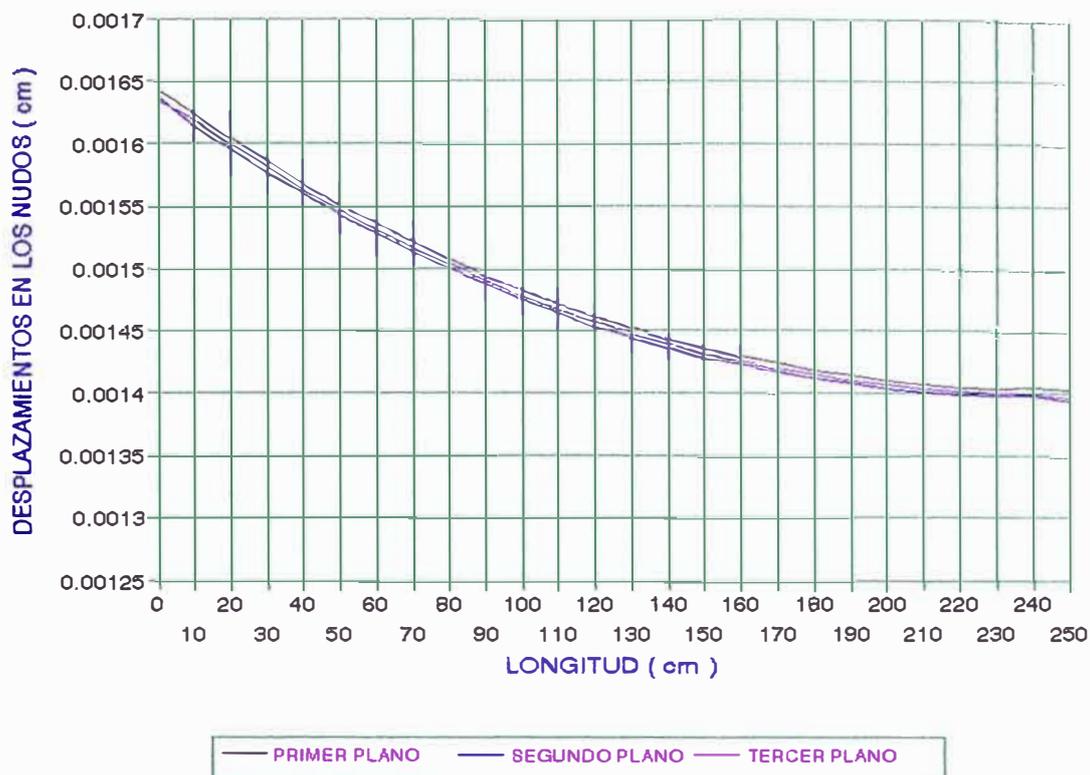


LA20VPC

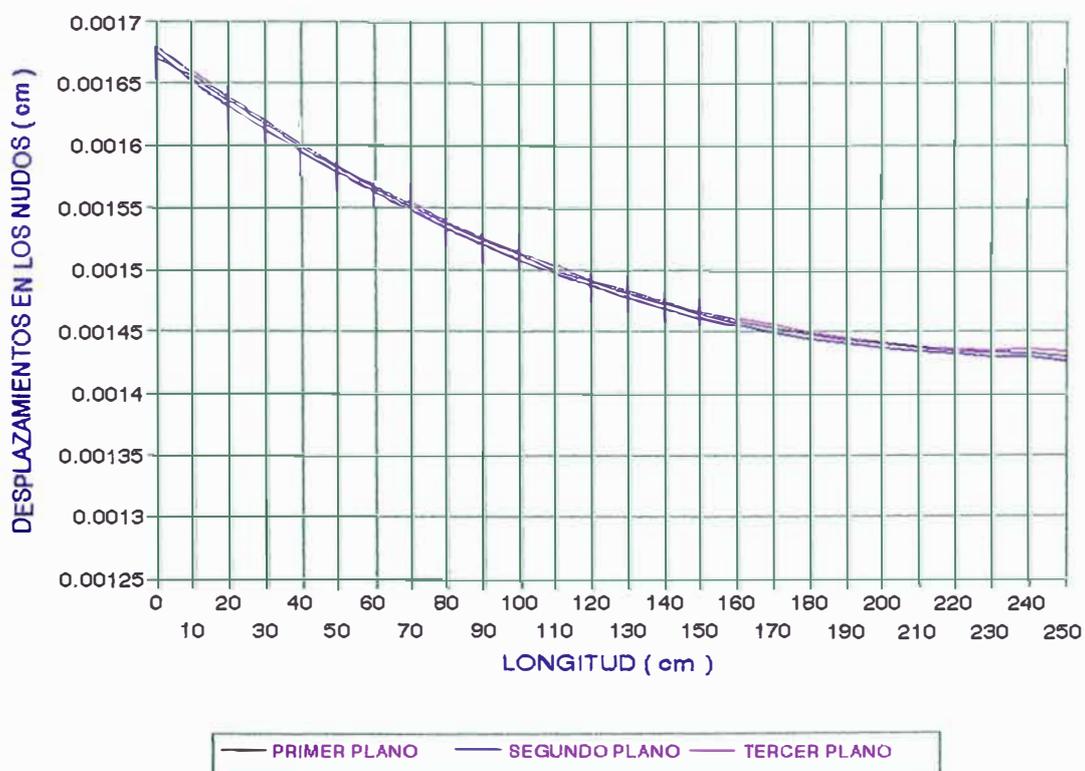


LA17VPC

**DESPLAZAMIENTOS EN LOS NUDOS A LO LARGO DEL EJE DONDE SE APLICAN LAS CARGAS
 (Se incluye ladrillo de techo)
 GRAFICOS N° 16**

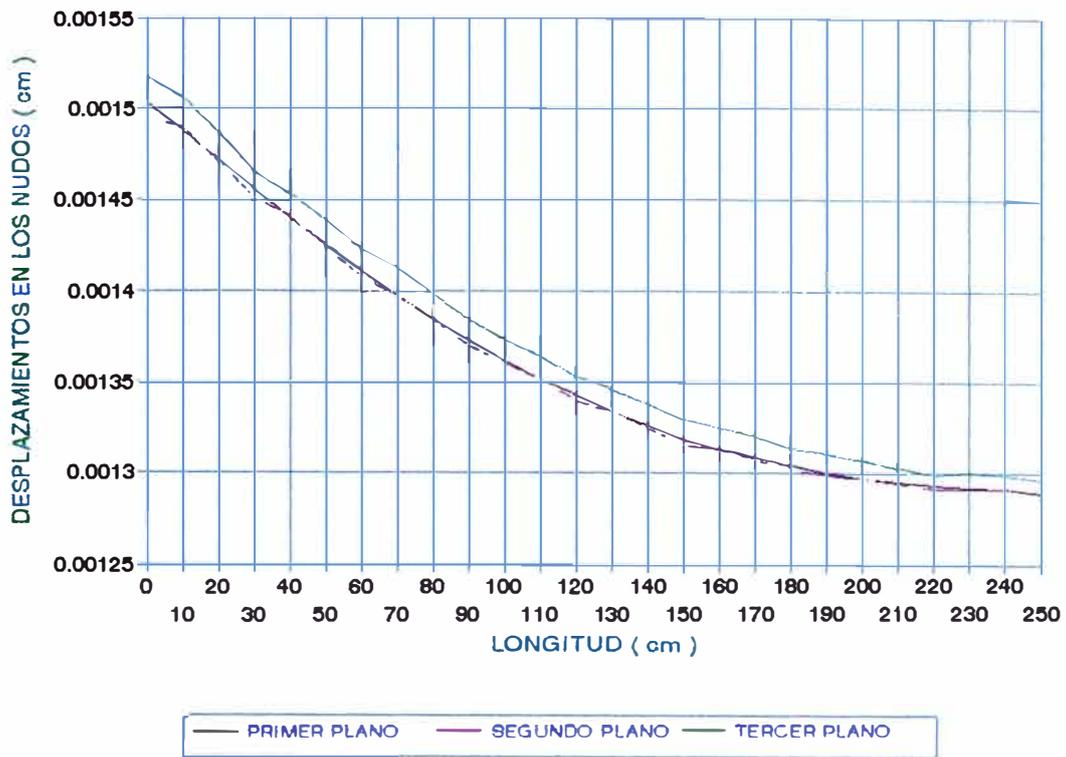


LA20VDC

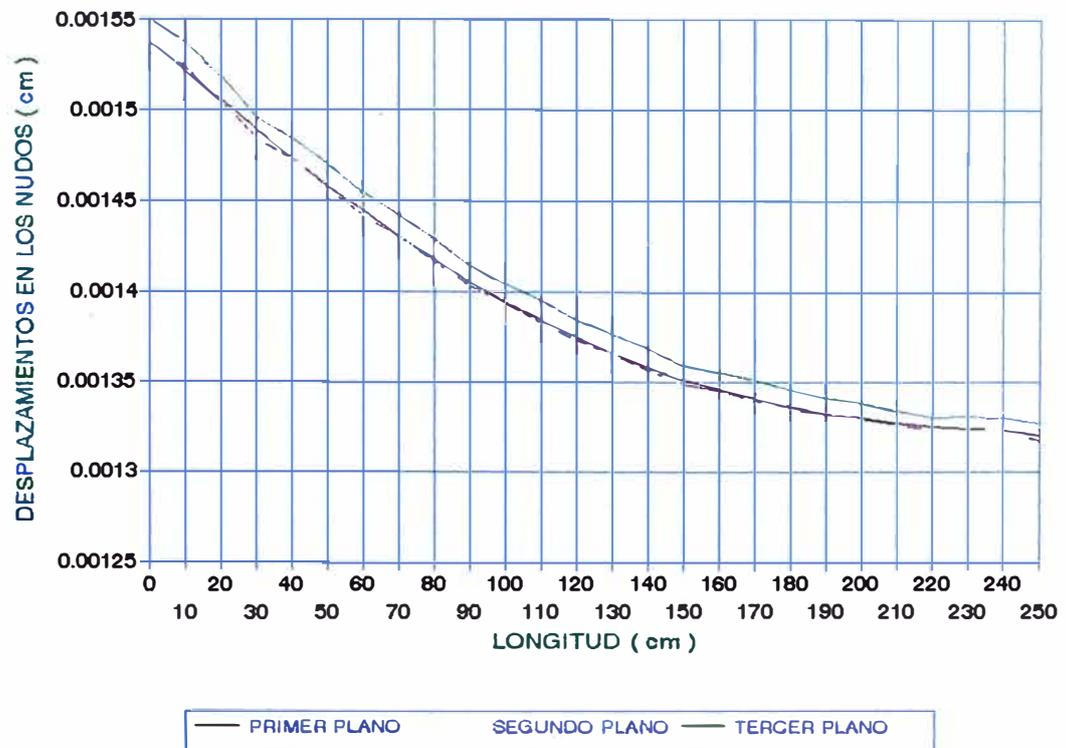


LA17VDC

**DESPLAZAMIENTOS EN LOS NUDOS A LO LARGO DEL EJE DONDE SE APLICAN LAS CARGAS
 (Se incluye ladrillo de techo)
 GRAFICOS N° 16**

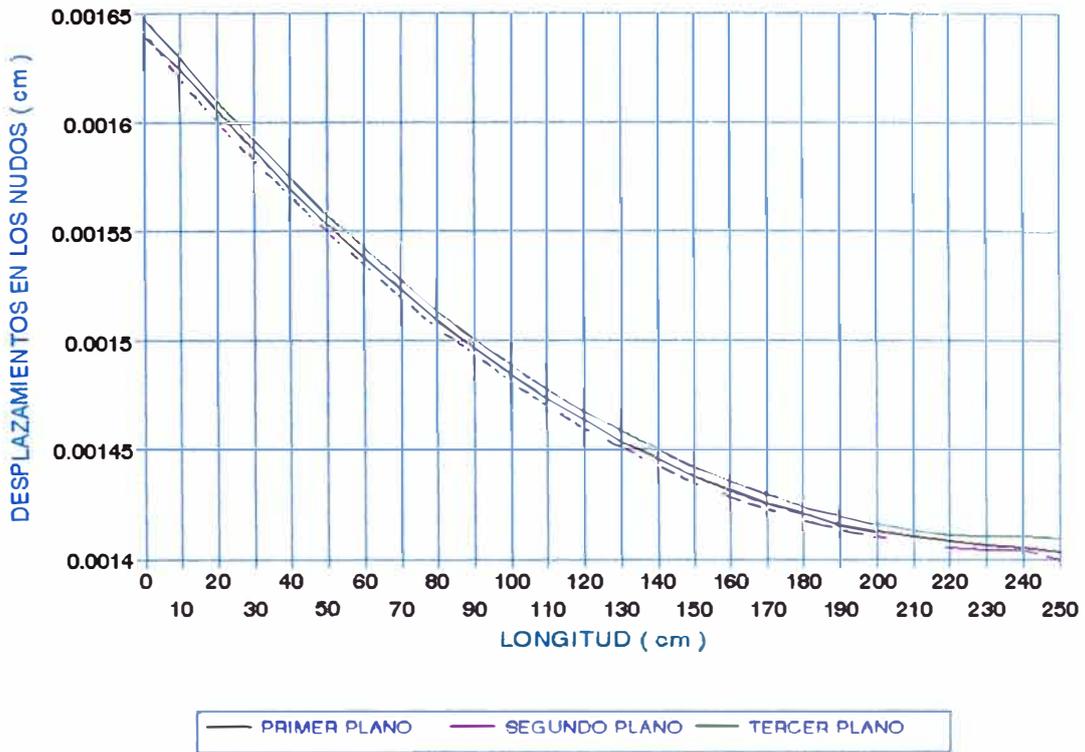


LA20VPC

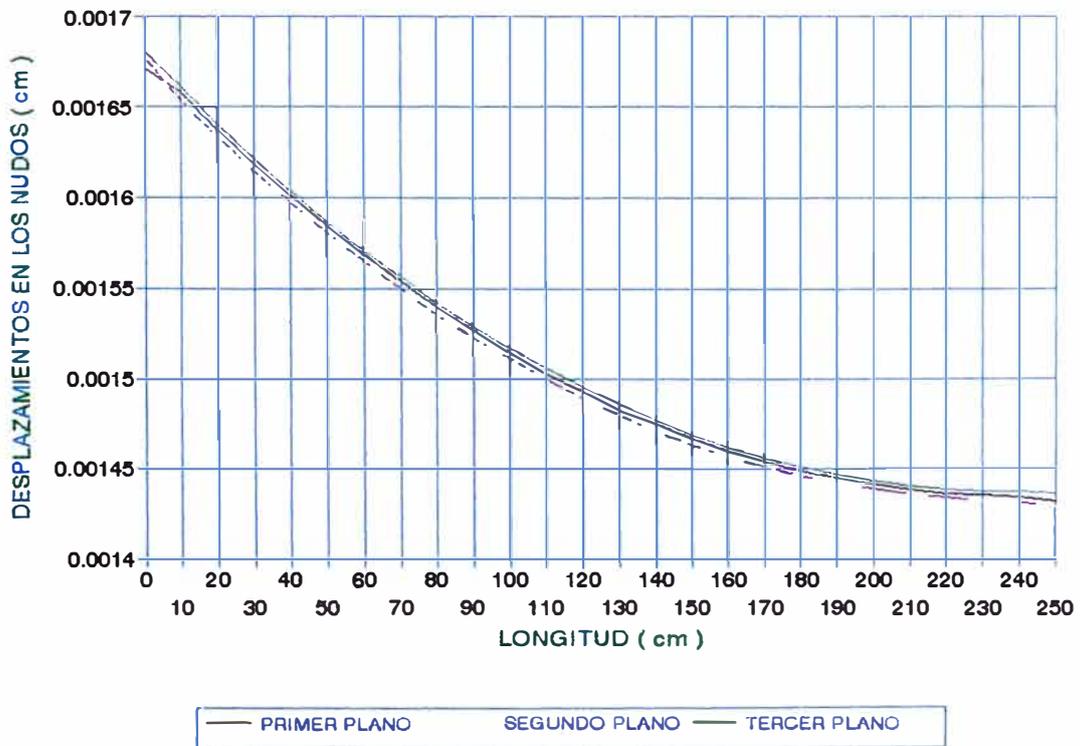


LA17VPC

**DESPLAZAMIENTOS EN LOS NUDOS A LO LARGO DEL EJE DONDE SE APLICAN LAS CARGAS
 (No se incluye ladrillo de techo)
 GRAFICOS N° 17**

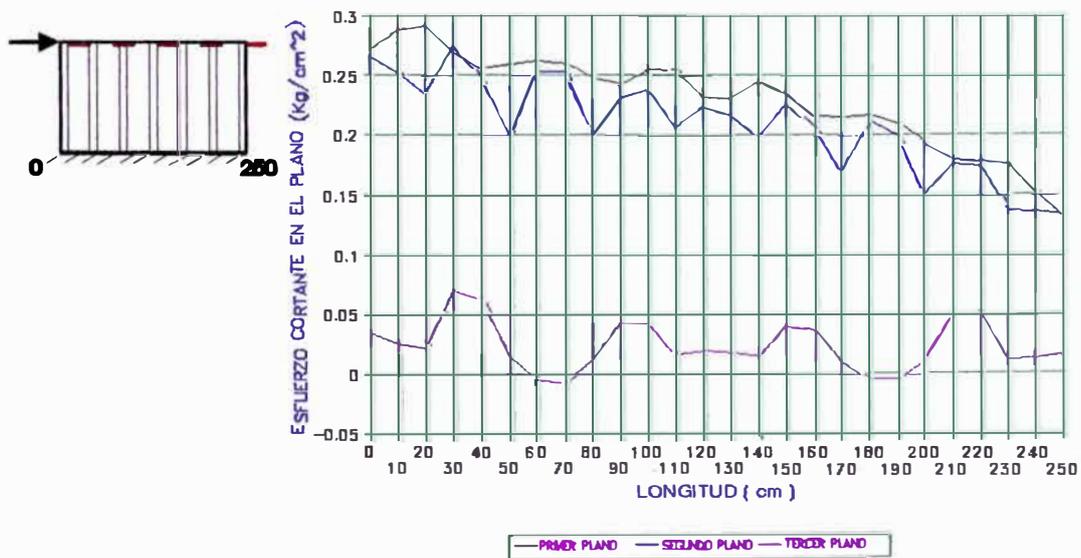
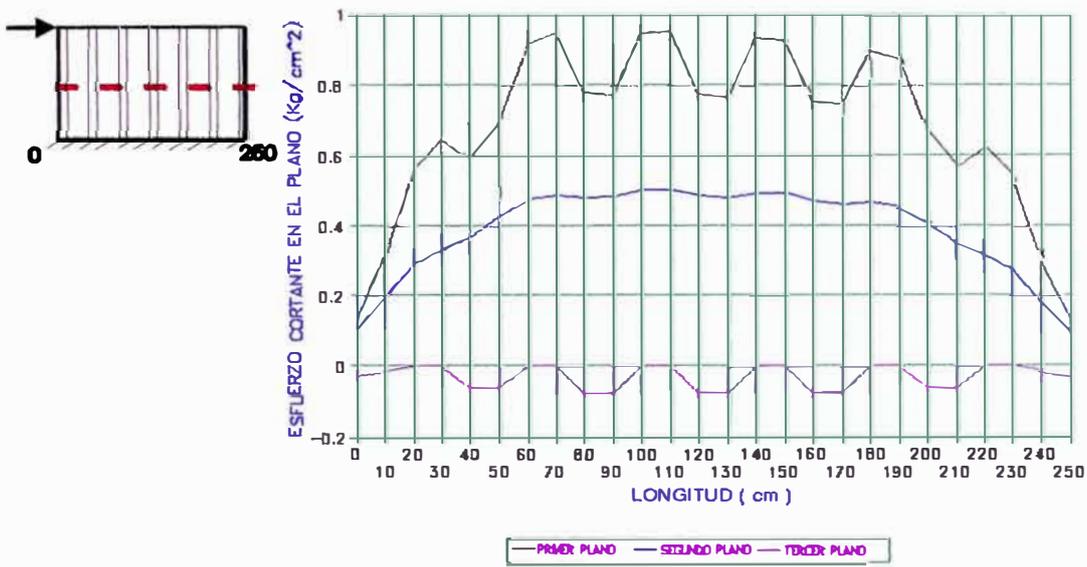
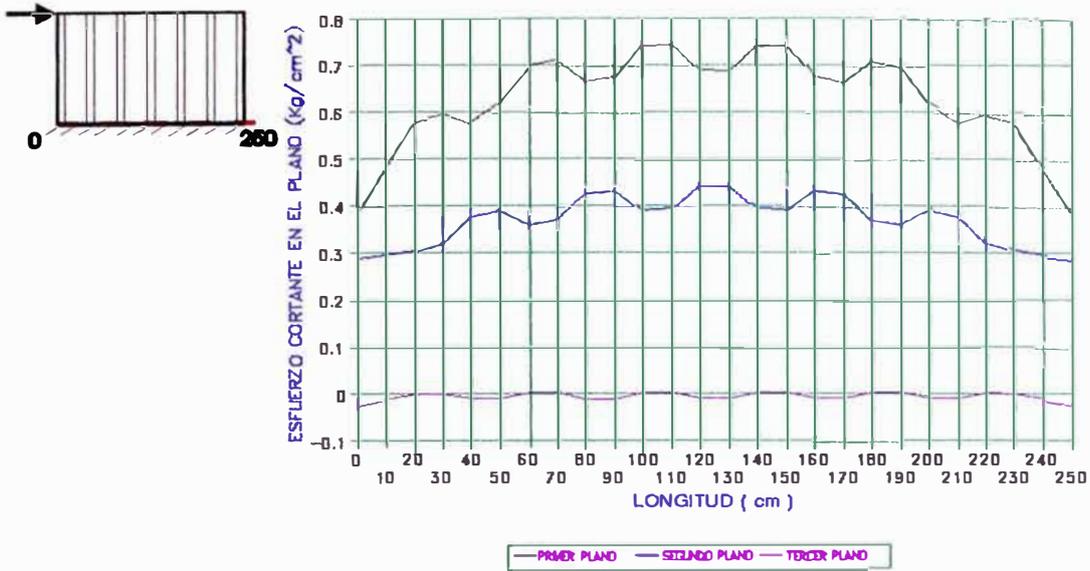


LA20VDC

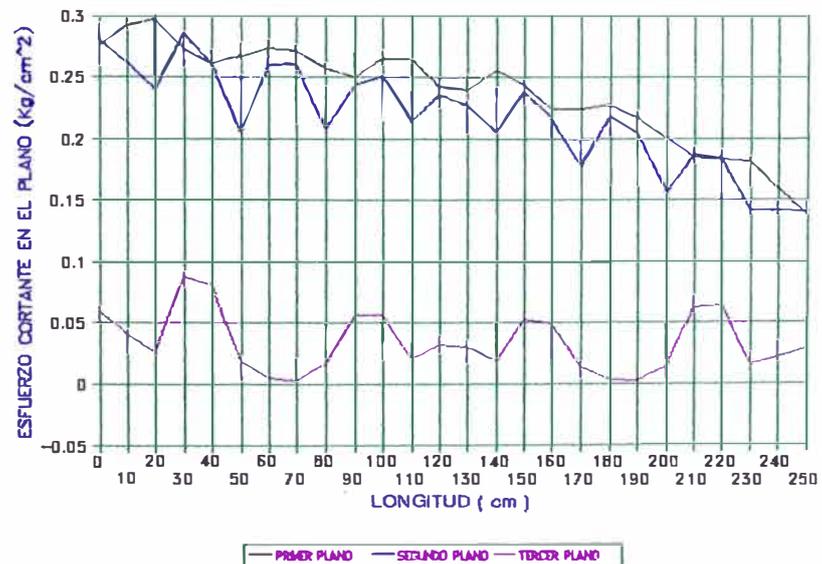
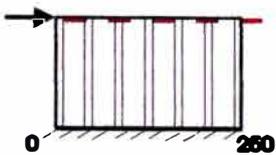
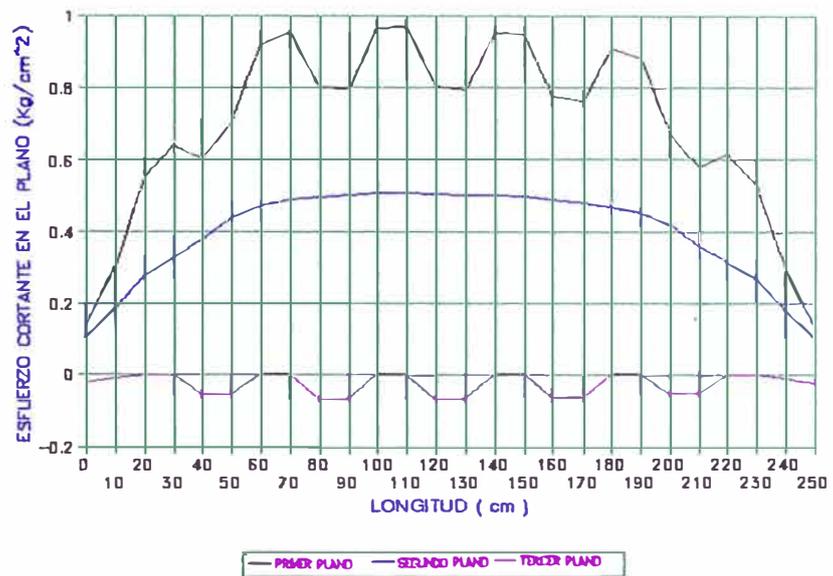
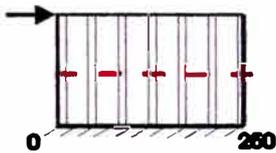
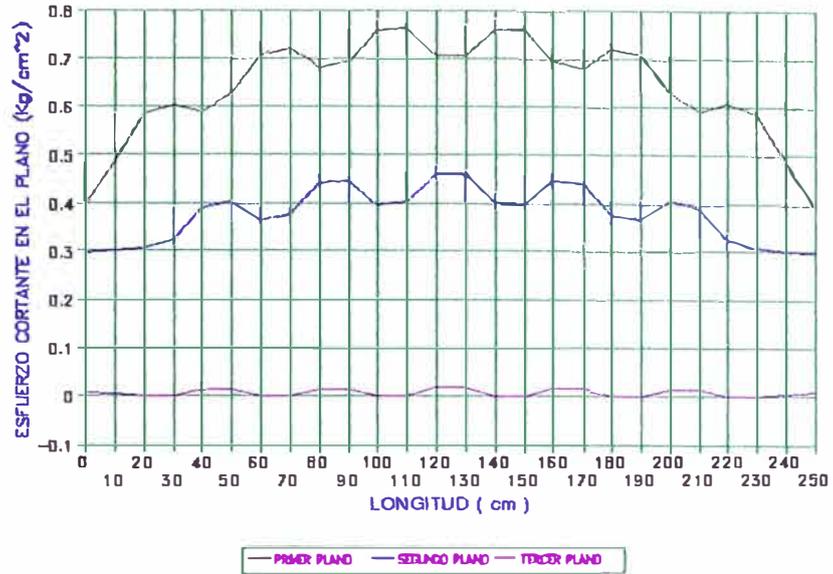
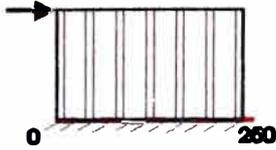


LA17VDC

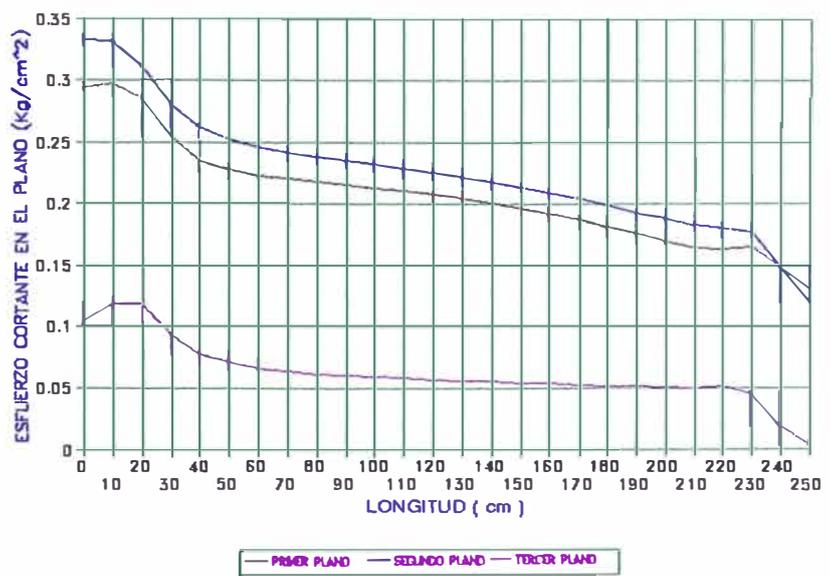
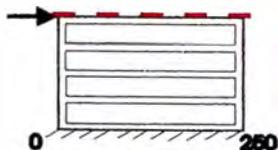
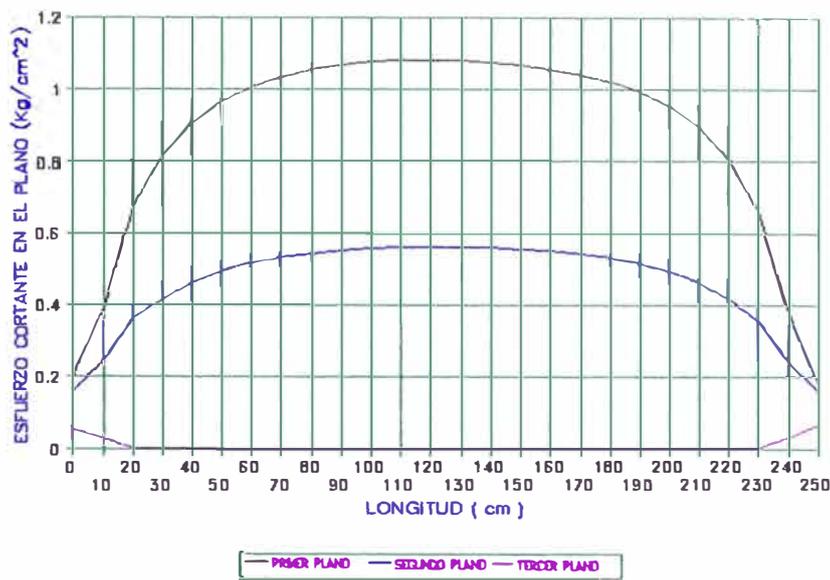
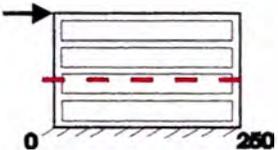
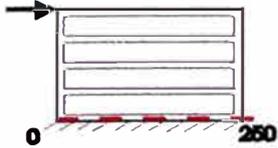
**DESPLAZAMIENTOS EN LOS NUDOS A LO LARGO DEL EJE DONDE SE APLICAN LAS CARGAS
 (No se incluye ladrillo de techo)
 GRAFICOS Nº 17**



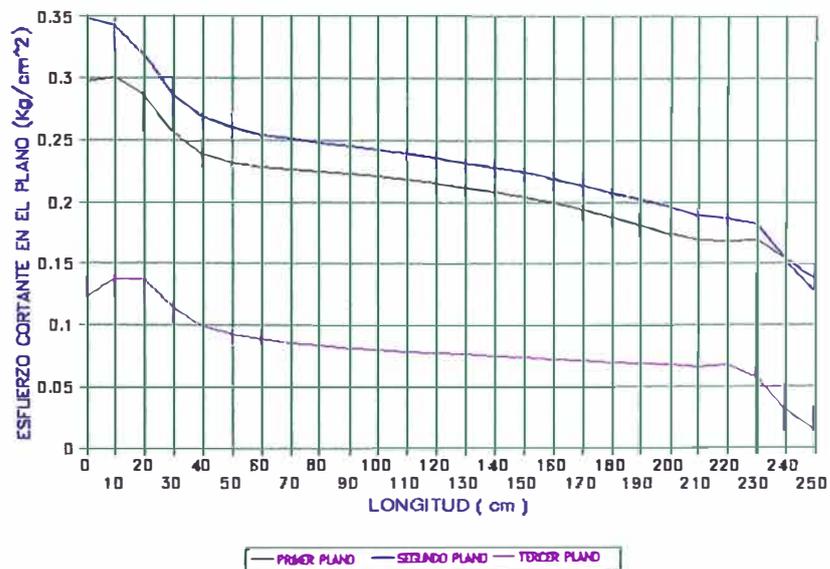
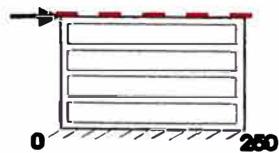
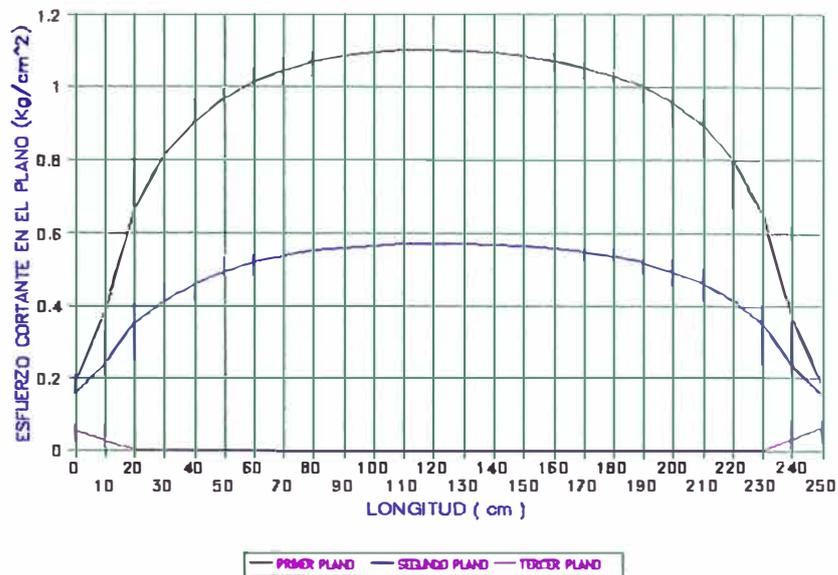
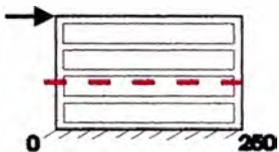
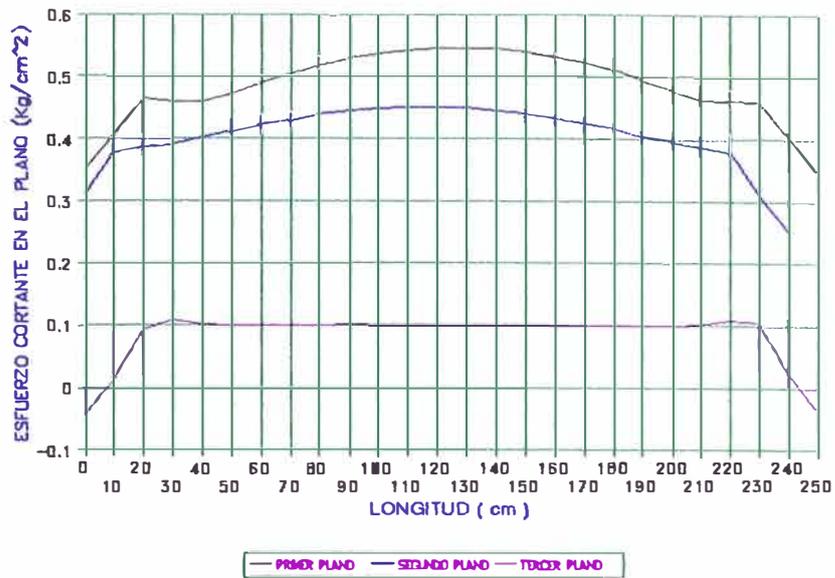
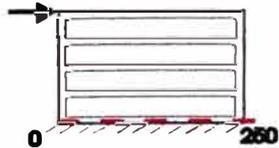
LA20VPC
DISTRIBUCION DE ESFUERZOS CORTANTES TEORICO EN EL PLANO DE LA LOSA
(Para una carga de 1000 Kg)
GRAFICOS N° 18



LA17VPC
DISTRIBUCION DE ESFUERZOS CORTANTES TEORICO EN EL PLANO DE LA LOSA
(Para una carga de 1000 Kg)
GRAFICOS N° 18

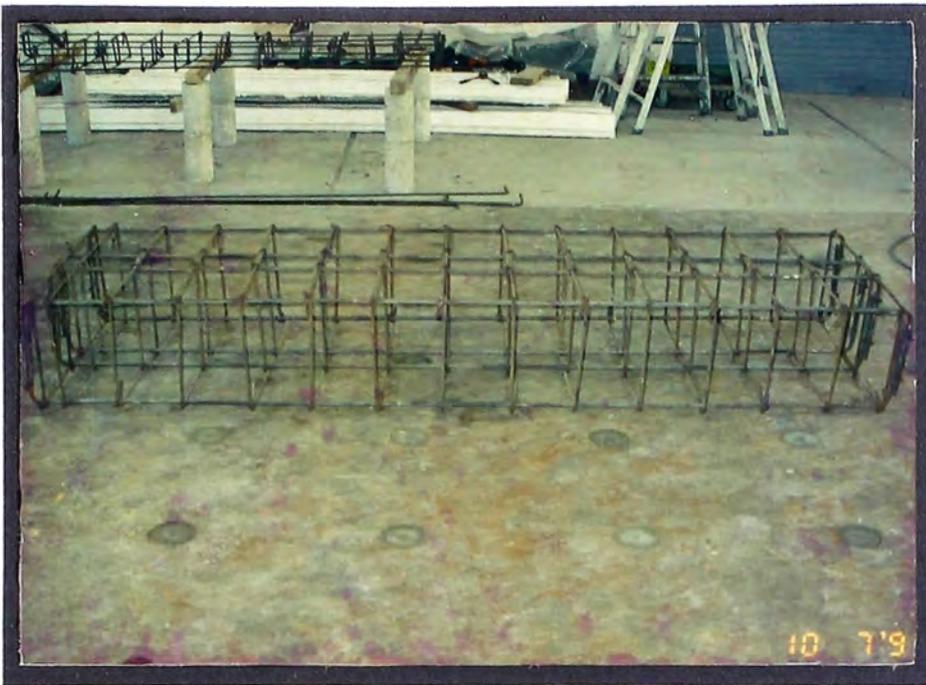


LA20VDC
DISTRIBUCION DE ESFUERZOS CORTANTES TEORICO EN EL PLANO DE LA LOSA
(Para una carga de 1000 Kg)
GRAFICOS N° 18

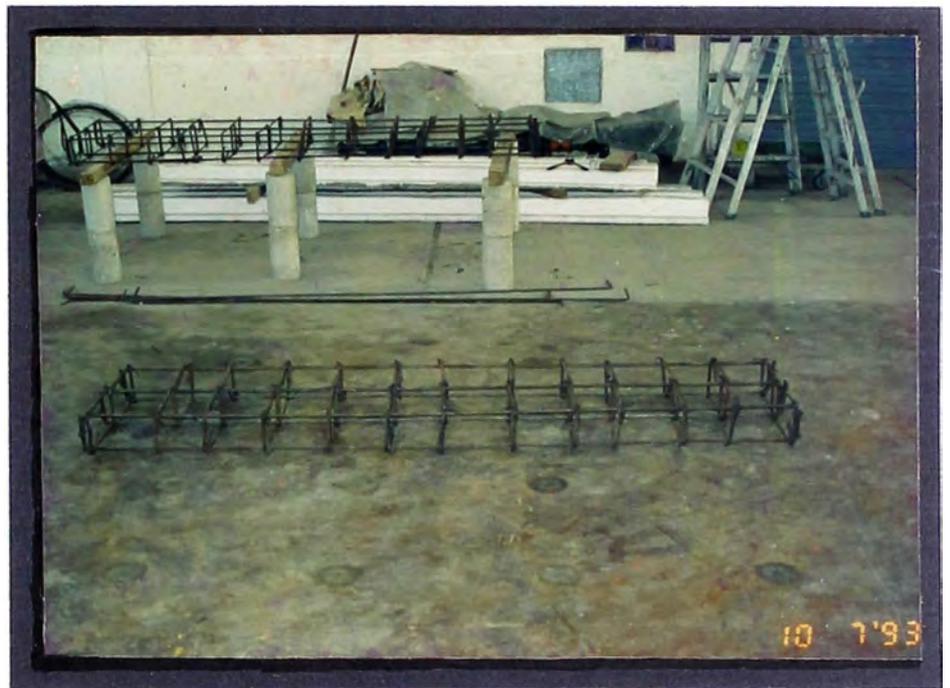


LA17VDC
DISTRIBUCION DE ESFUERZOS CORTANTES TEORICO EN EL PLANO DE LA LOSA
(Para una carga de 1000 Kg)
GRAFICOS Nº 18

c.- Fotografías



*Armadura de acero
para la viga de
aplicación de carga*



*Armadura de acero
para la viga de
anclaje*

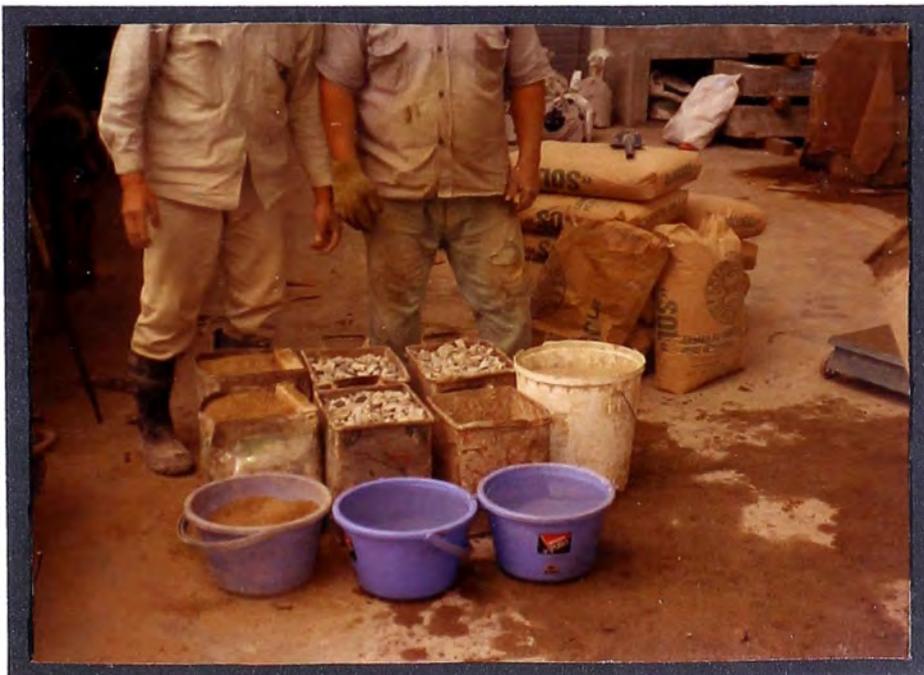


*Colocación de
las barras de
izaje*



*Armado del acero
y encofrado de la
losa aligerada*

*Colocación de galgas
de deformación (strain
gages), para medir las
deformaciones unitarias
del acero.*



*Proporciones en
peso dadas por
el diseño de mezcla*



*Ensayo en los ladrillos de techo :
Compresión diagonal*



*Ensayo en los ladrillos de techo :
Compresión perpendicular a la
sección tubular .*

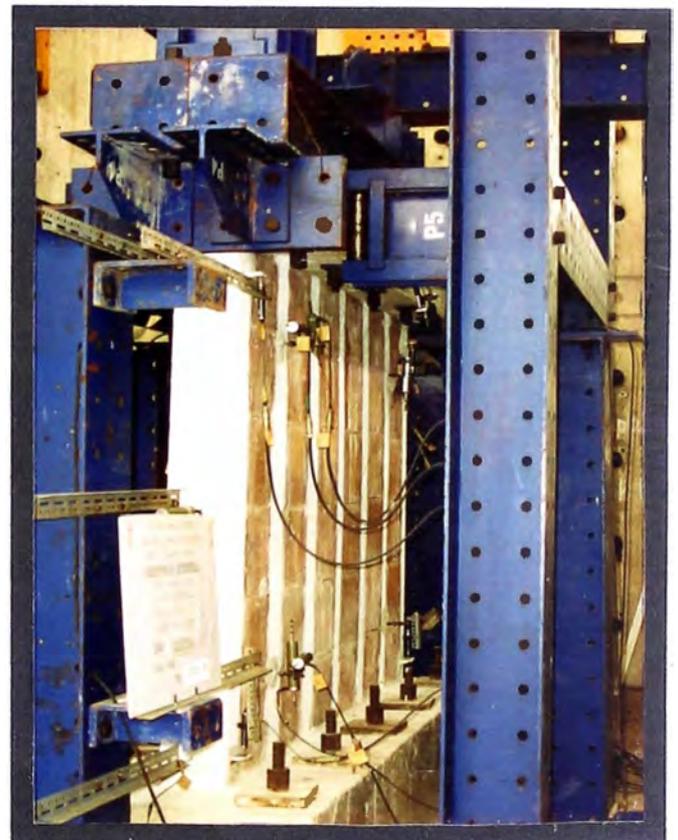


*Equipo utilizado
Actuador, transductores
de desplazamiento y
el Ucam5B .*

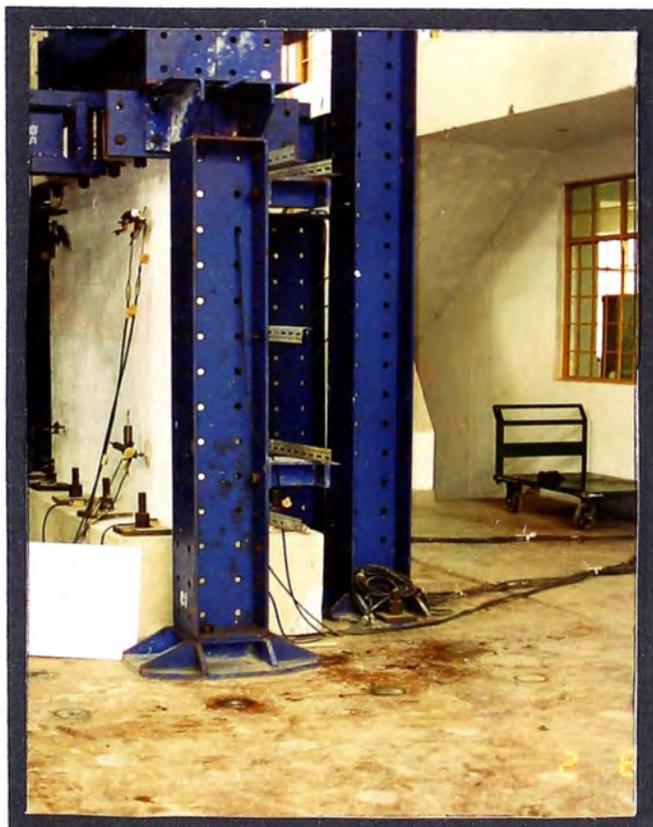


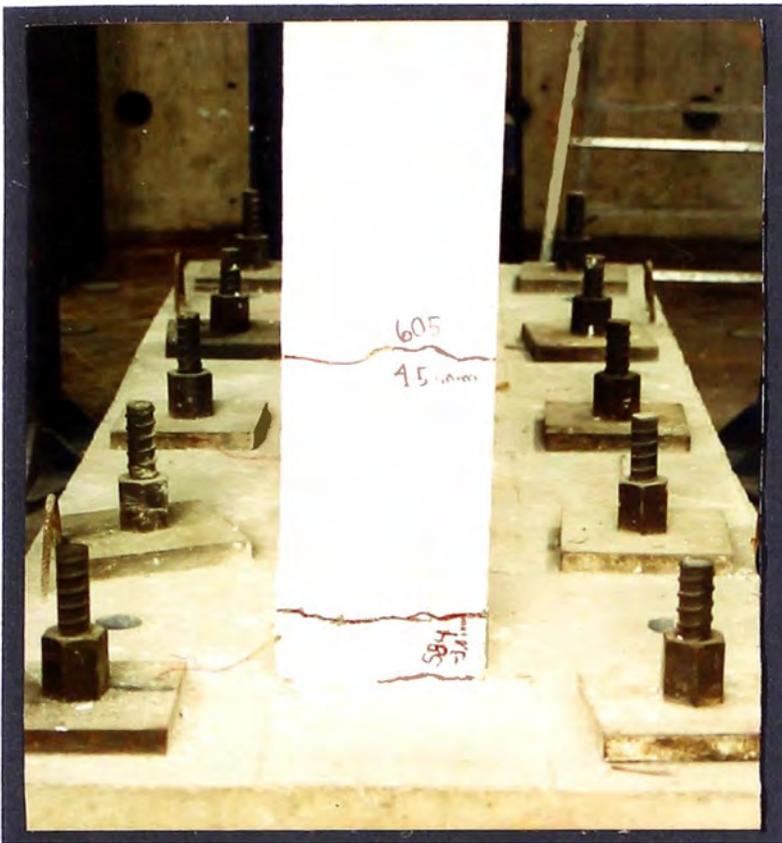
El traslado del espécimen al lugar de ensayo .

*Proceso de Ensayo :
Colocación de la Roseta de deformaciones en el plano de las viguetas .(ver la posición de las viguetas en dirección perpendicular a la carga).*

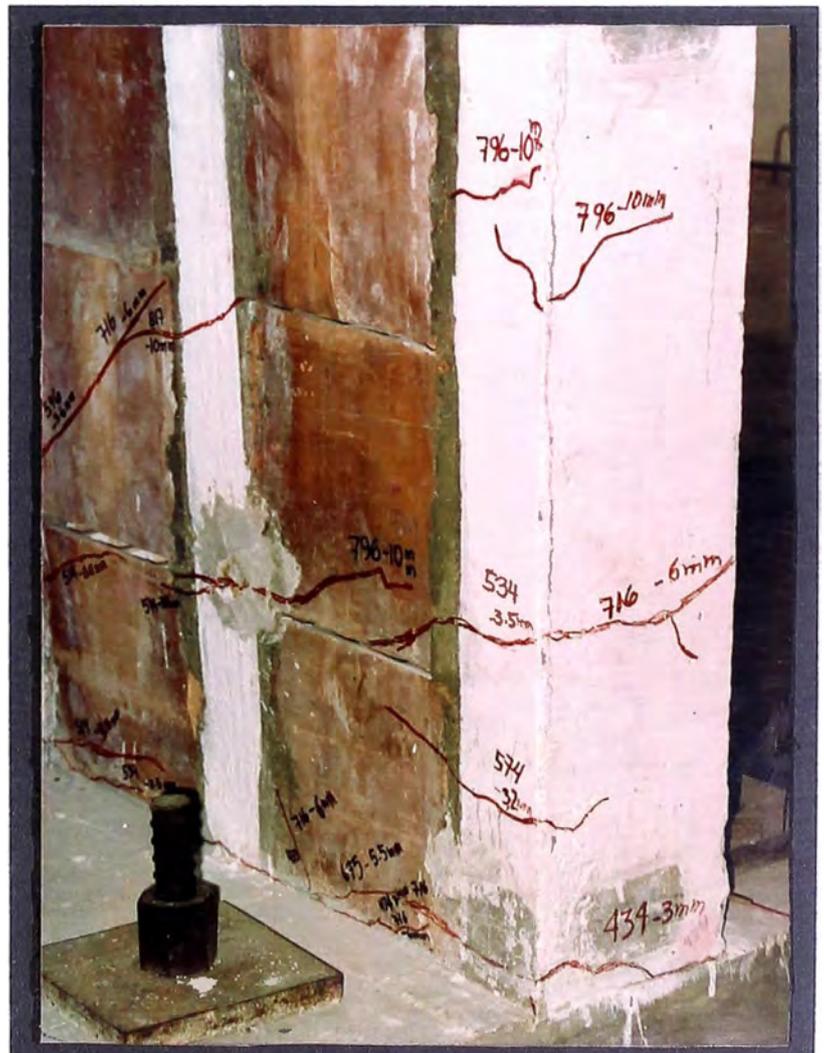


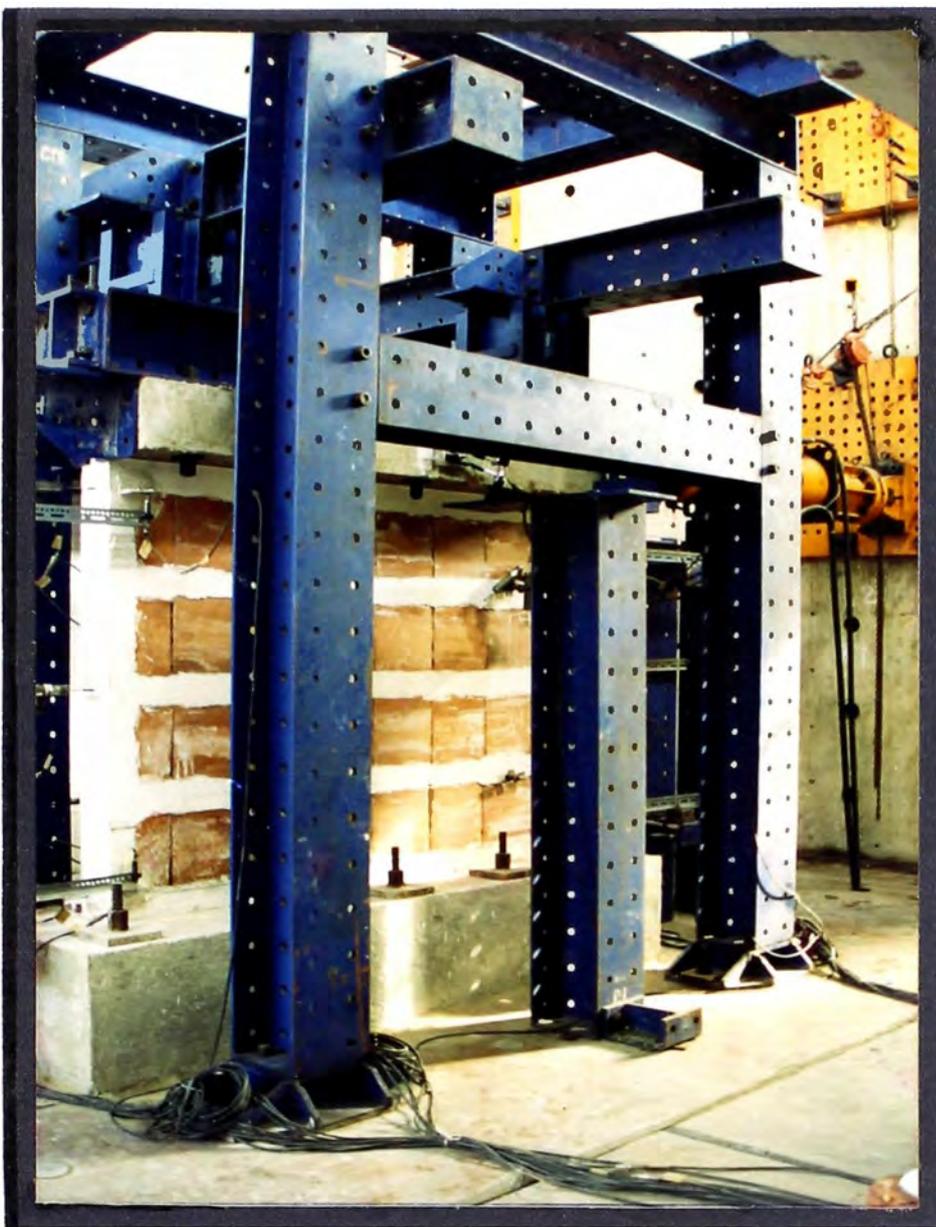
Colocación de la roseta de transductores en el plano de de la losa .





Algunas fisuras de tracción por flexión

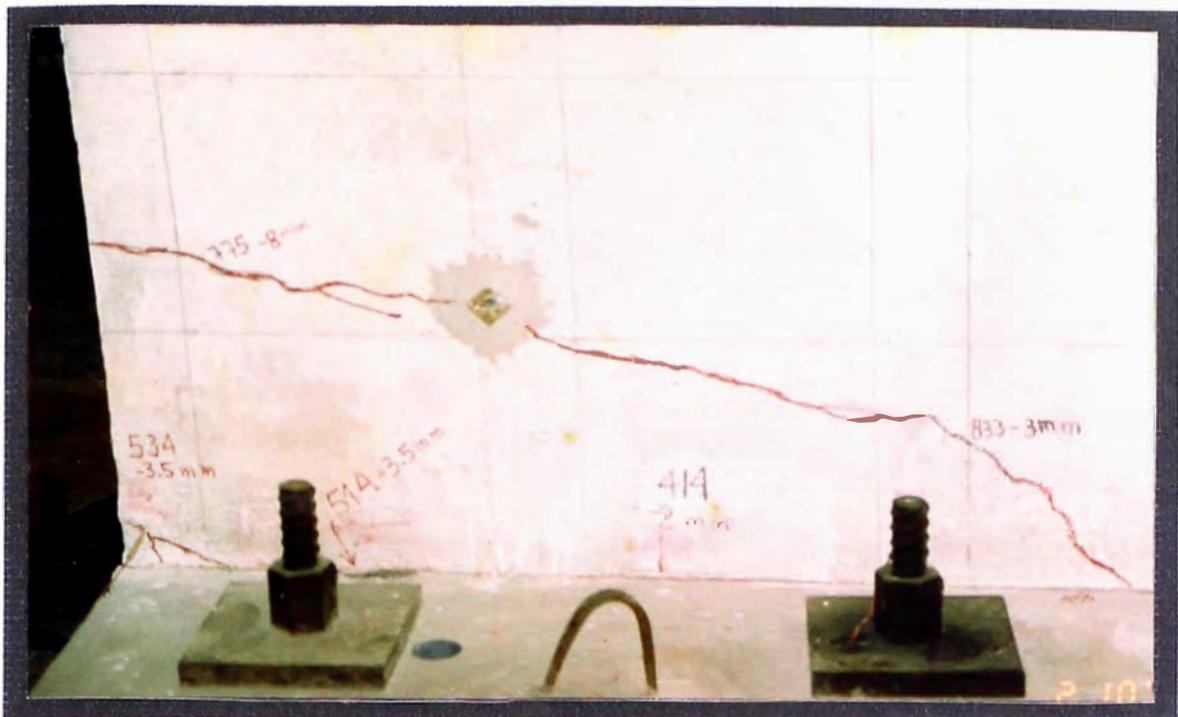




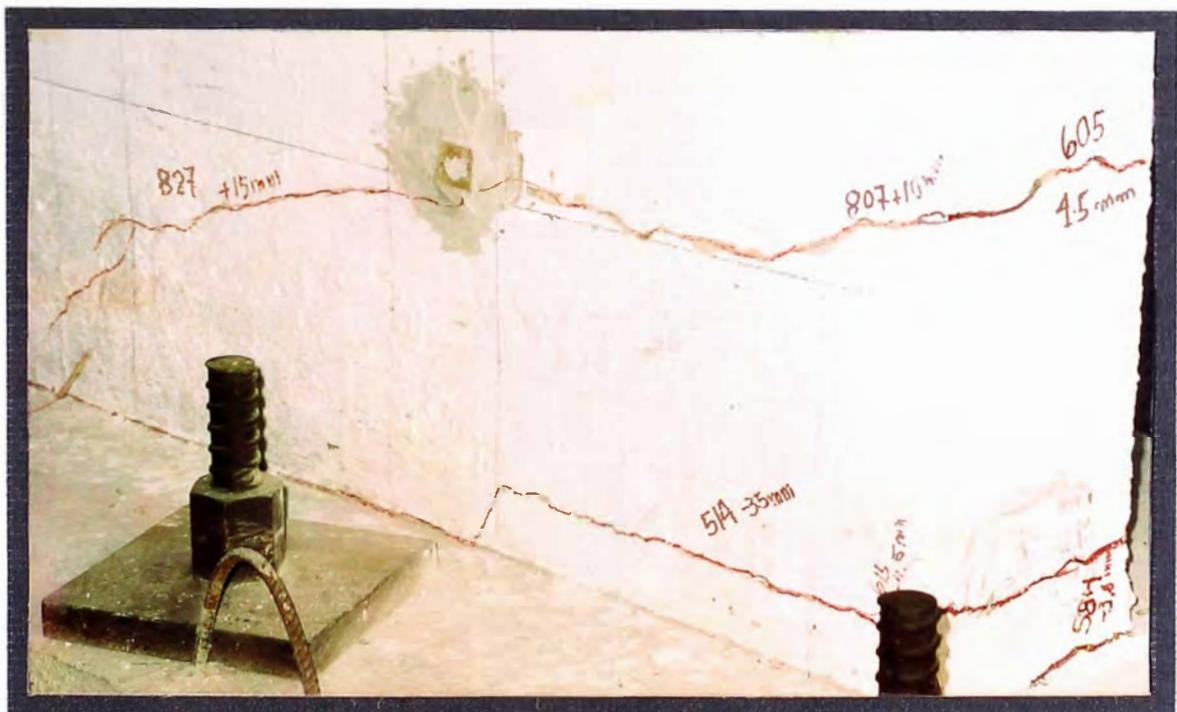
Colocación de transductores de desplazamiento, del actuador, del castillo tipo Mecano y del cableado a la sala de control.

Formación de grietas de tracción diagonal típicas de ensayos por corte en el extremo superior de la losa .





Se aprecia el talón traccionado y las fisuras de tracción por corte a lo largo del empotramiento con la base.



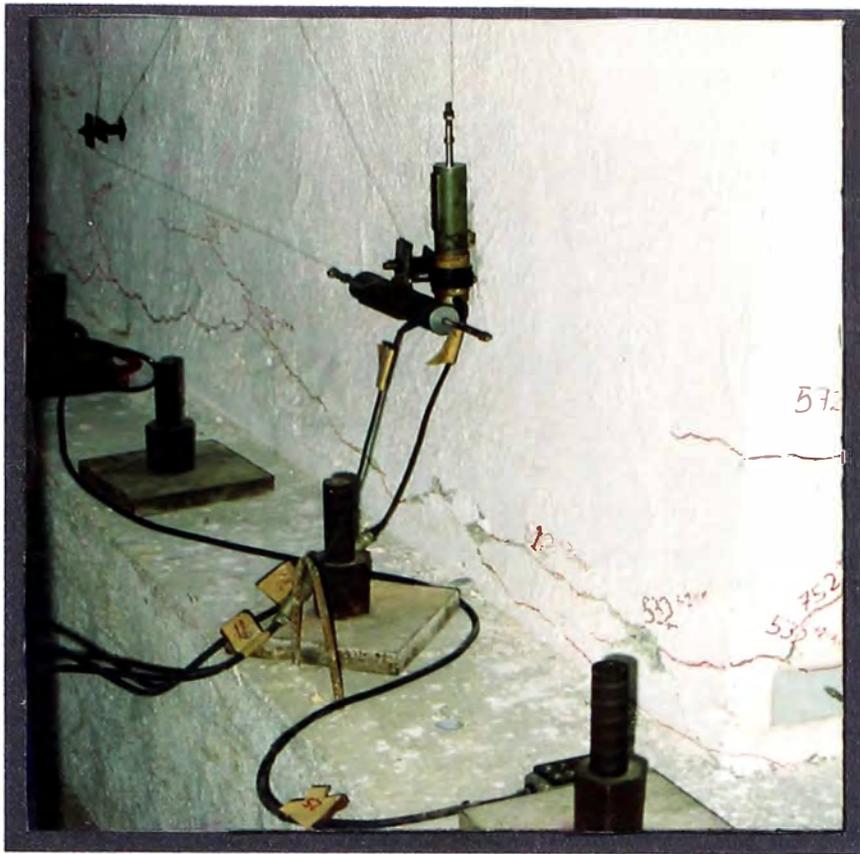
Como se puede apreciar se presentan menor cantidad de grietas en el plano de la losa de 5 cm que en el plano de las viguetas, esto puede explicarse porque la adherencia entre ladrillo y concreto es inferior a la capacidad del concreto .



Fisuras de tracción por corte que empiezan en el empotramiento debidas a la concentración de esfuerzos provocadas por el cambio en la geometría al pasar de la viga de anclaje a la losa aligerada..



Grietas de tracción diagonal que se propagan desde el empotramiento hasta la parte superior del espécimen, cortando viguetas y ladrillos.

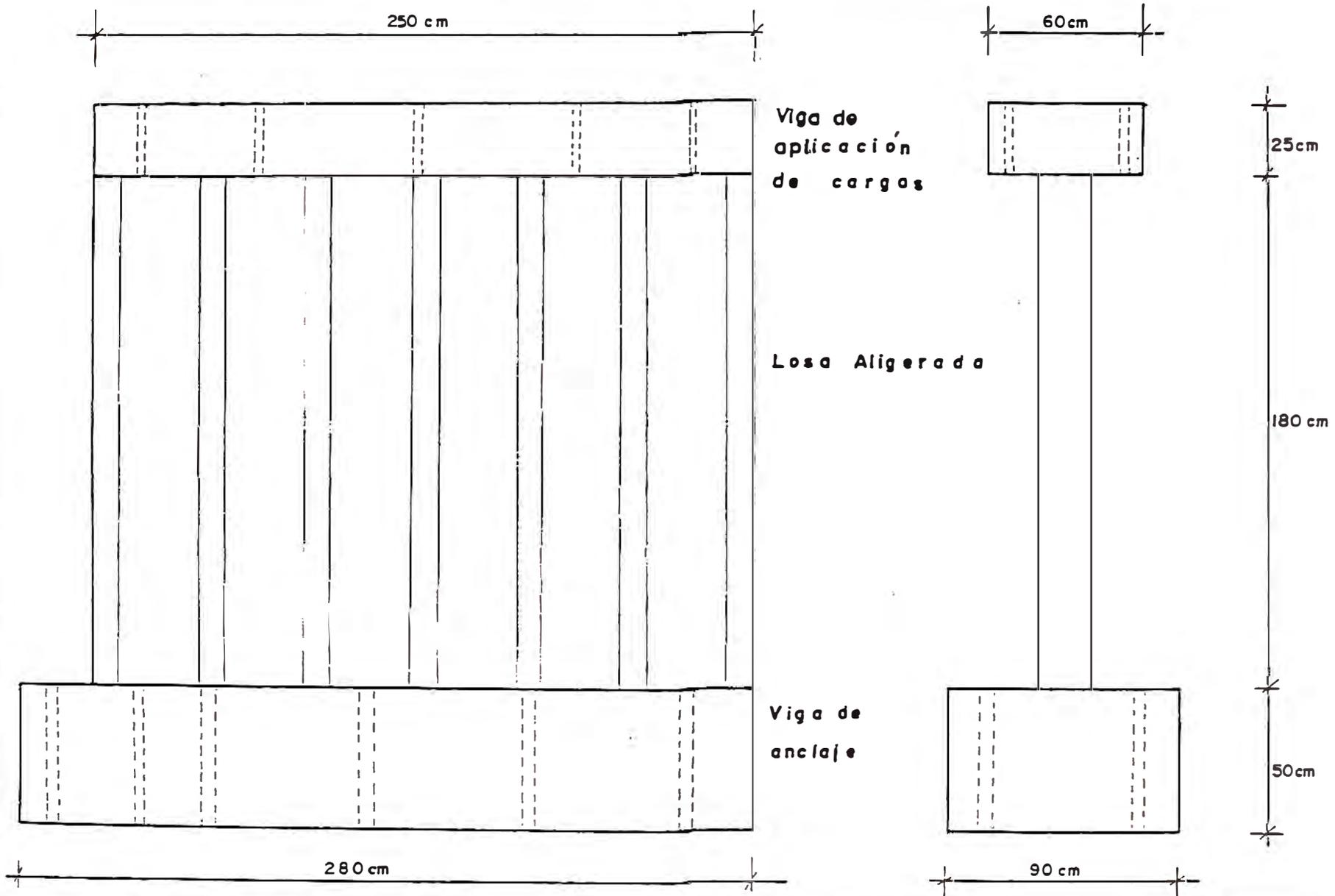


Formación de grietas a lo largo del empotramiento como de cizallamiento.

Se aprecian grietas horizontales en los ladrillos debido al deslizamiento ocasionado por las viguetas en forma paralelas.



d.- Láminas



DIMENSIONES DE LOS ESPECIMENES LA 17VPC y LA 20VPC

ESCALA:

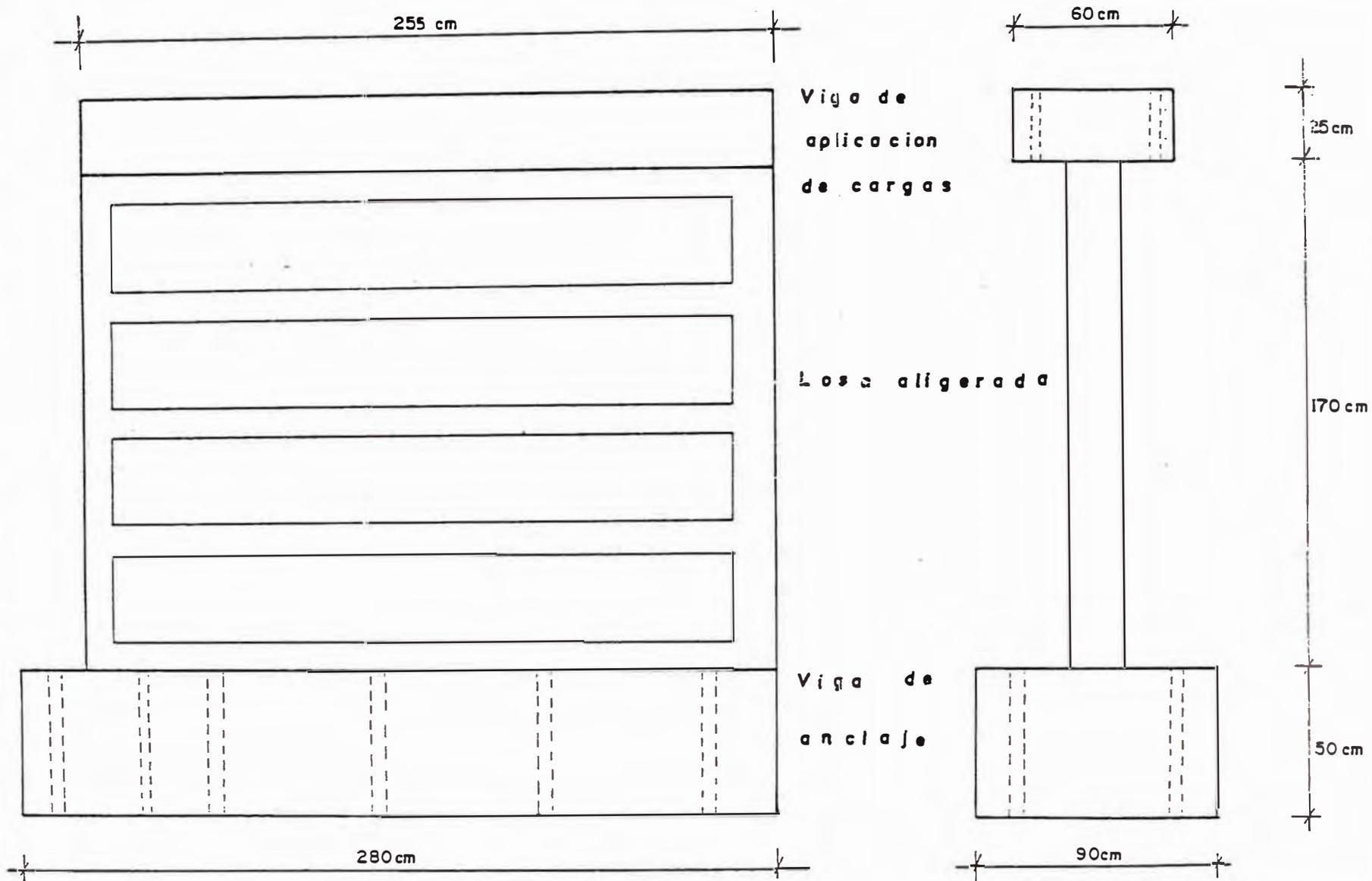
1 : 20

FECHA:

SET. 1994

LAMINA Nº

01



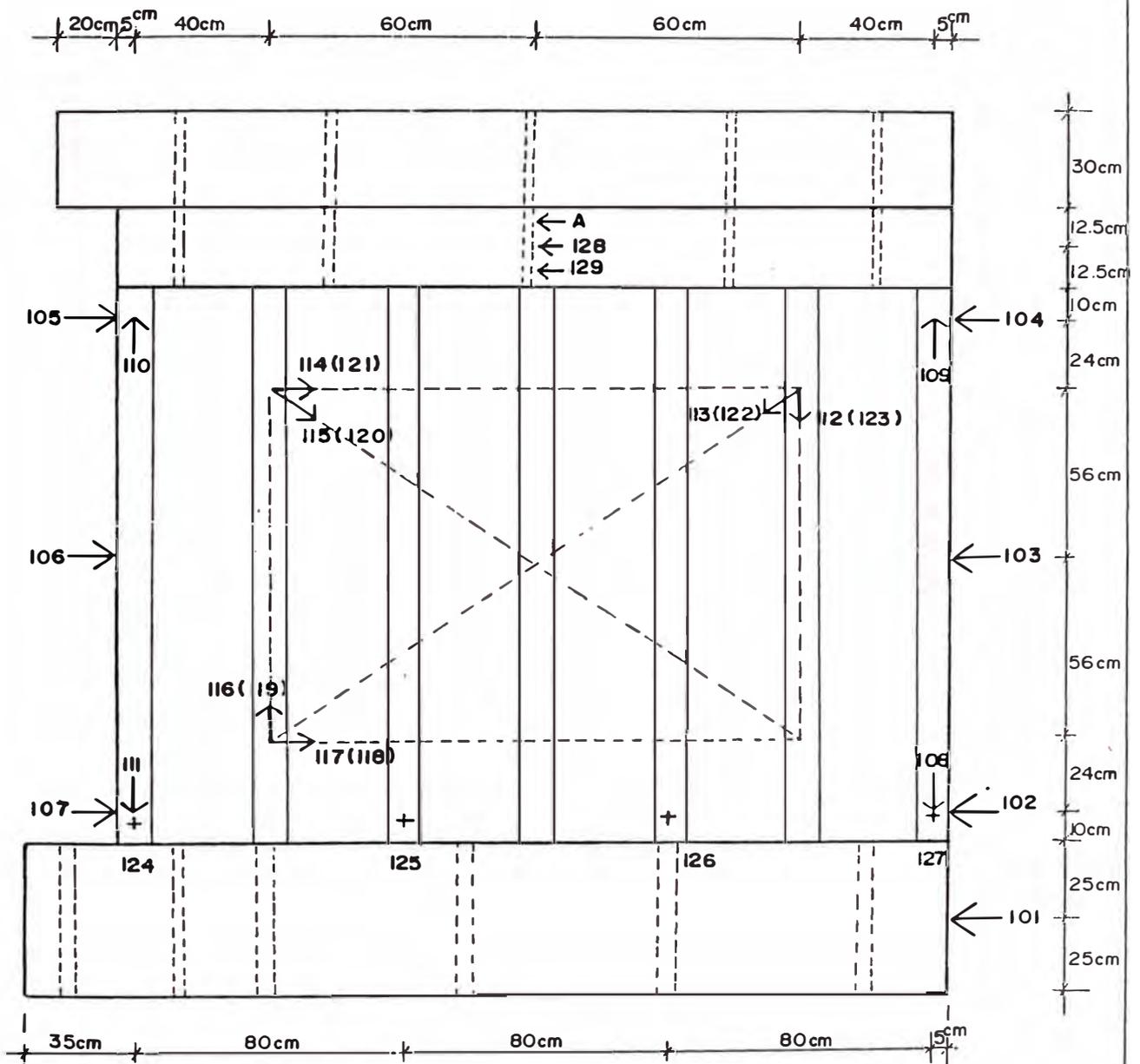
DIMENSIONES DE LOS ESPECIMENES LA 17 VDC y LA 20 VDC

ESCALA: 1 : 20

FECHA: SET 1994

LAMINA N°

0 2



LAS SEÑALES ENTRE PARENTESIS, INDICAN QUE ESTAN EN EL PLANO POSTERIOR DE LA LOSA ALIGERADA.

INSTRUMENTACION LA 17 VPC y LA 20 VPC

PROYECTO:
TESIS

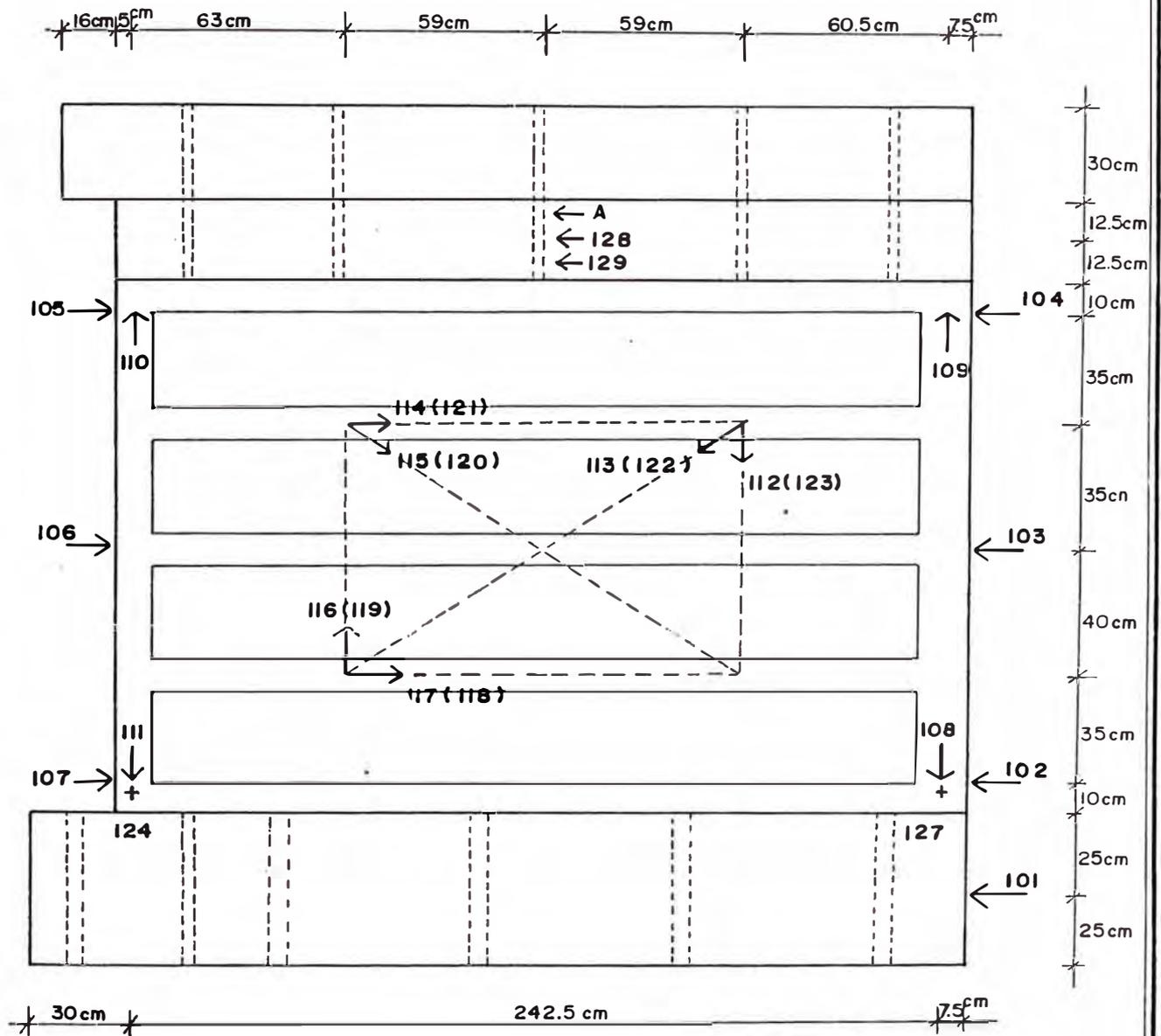
REVISION
DISEÑO:
M.Y.C.B.

DIBUJO:
M.Y.C.B.
ESCALA:
1:20

LAMINA N°
3-a

CONVENIO:
CISMID - JICA

FECHA:
SETIEMBRE 1994



LAS SEÑALES ENTRE PARENTESIS, INDICAN QUE ESTAN EN EL PLANO POSTERIOR DE LA LOSA ALIGERADA.

INSTRUMENTACION LA17VDC y LA20VDC

PROYECTO:

TESIS

REVISION:

DISEÑO:

M.Y.C.B.

FECHA:

SEPTIEMBRE 1994

DIBUJO:

M.Y.C.B.

ESCALA:

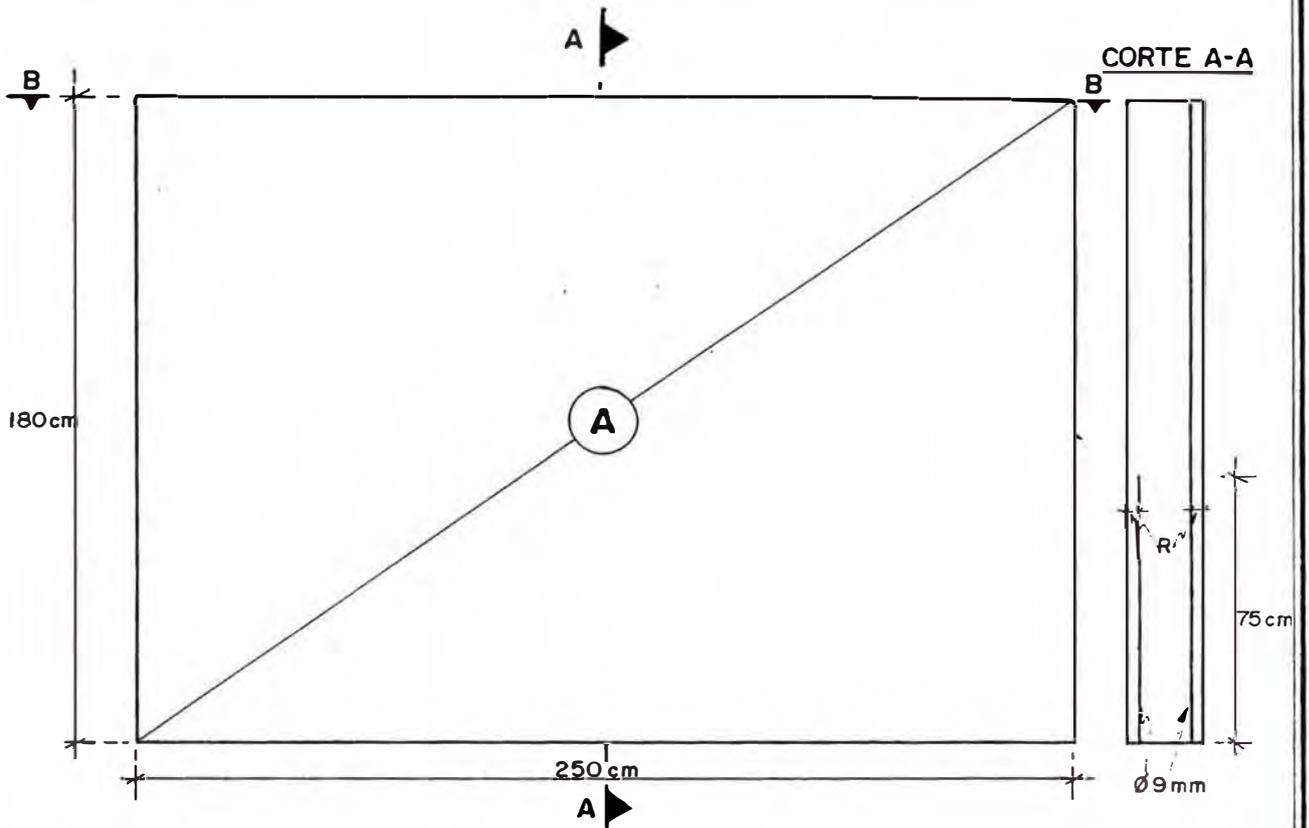
1 : 20

LAMINA N°

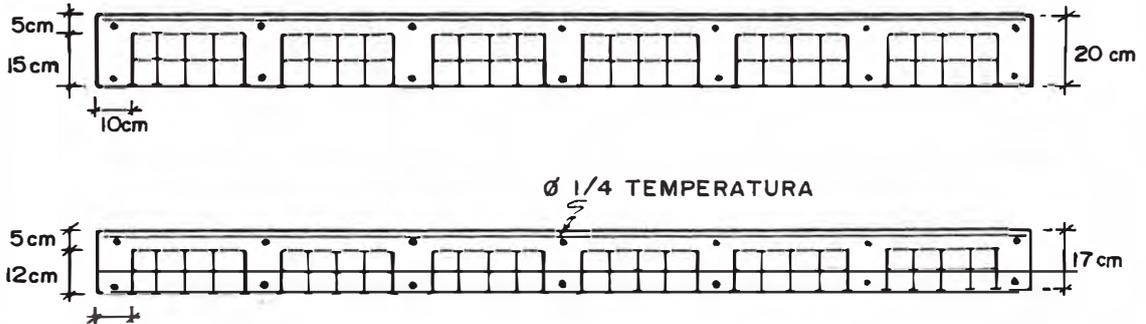
3-b

CONVENIO:

CISMID- JICA



CORTE B-B

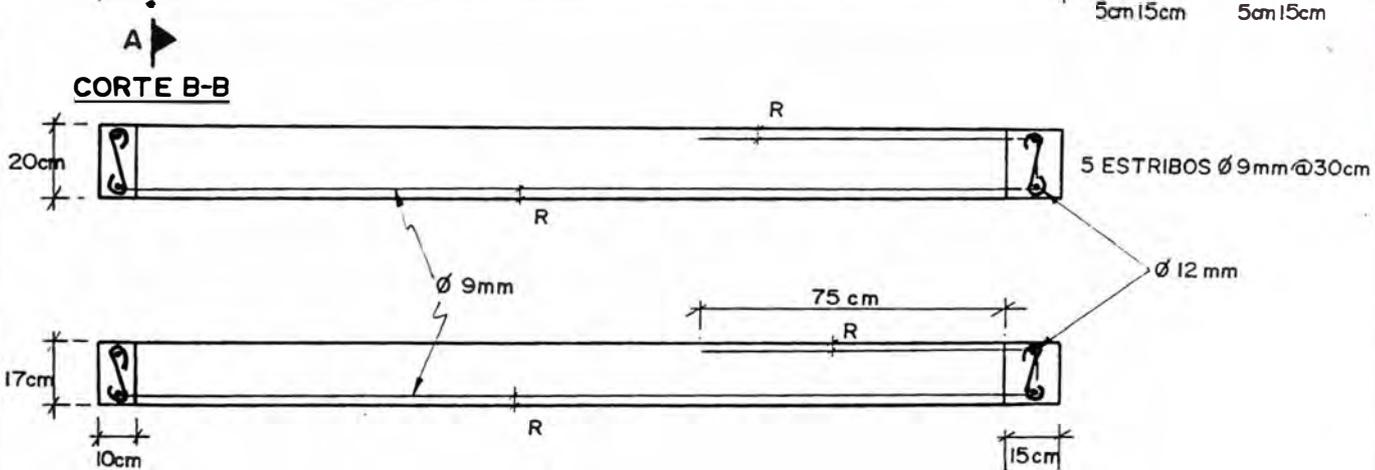
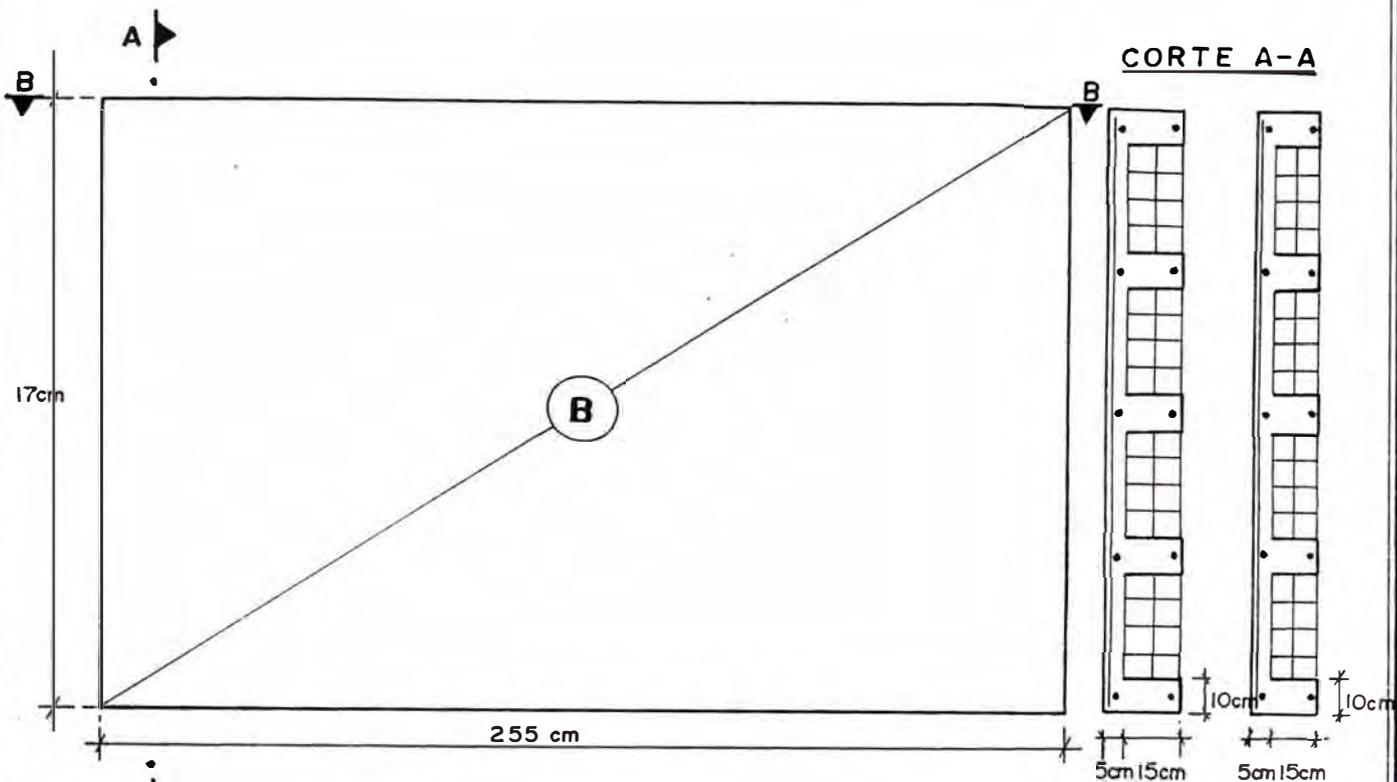


ESPECIFICACIONES:

$f_c = 175 \text{ kg/cm}^2$
 $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
 $R = \text{recubrimiento} = 2.5 \text{ cm.}$

LOSA ALIGERADA LA20VPC y LA17VPC

PROYECTO: TESIS	REVISION:	DIBUJO: M.Y.C.B	LAMINA N° 04
	DISEÑO: M.Y.C.B.	ESCALA: 1:20	
CONVENIO: CISMID-JICA	FECHA: SETIEMBRE 1994		



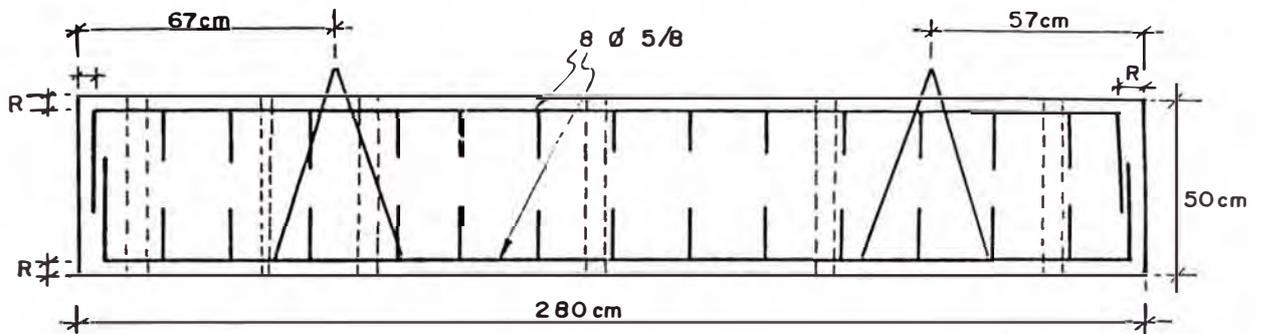
ESPECIFICACIONES:

$f'_c = 175 \text{ kg/cm}^2$
 $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
 $R = \text{recubrimiento} = 2.5 \text{ cm}$

LOSA ALIGERADA LA 20VPC y LA 17VPC

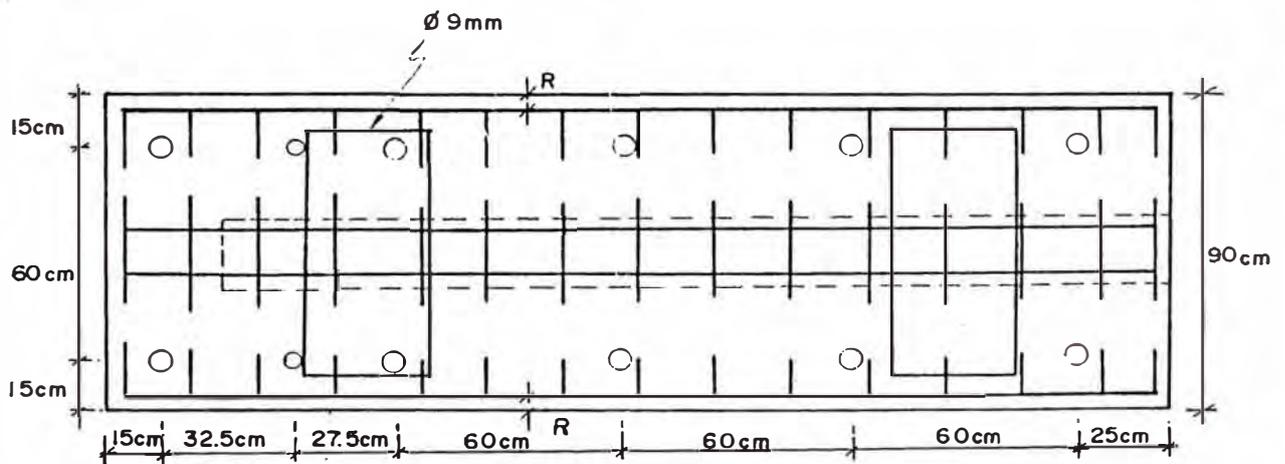
PROYECTO: TESIS	REVISION:	DIBUJO: M.Y.C.B.	LAMINA N° 05
	DISEÑO: M.Y.C.B.	ESCALA: 1:20	
CONVENIO: CISMID-JICA	FECHA: SEPTIEMBRE 1994		

ELEVACION



30 ESTRIBOS ∅ 9mm a 20cm

PLANTA



ESPECIFICACIONES :

$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$
 $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
 R = recubrimiento = 4cm

VIGA DE ANCLAJE

PROYECTO:

TESIS

REVISION:

DISEÑO
M.Y.C.B.

DIBUJO:

M.Y.C.B.

ESCALA:

1:20

LAMINA Nº

06

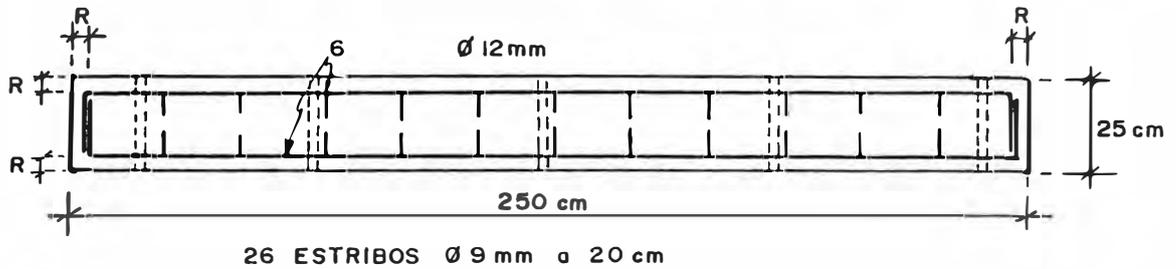
CONVENIO:

CISMID-JICA

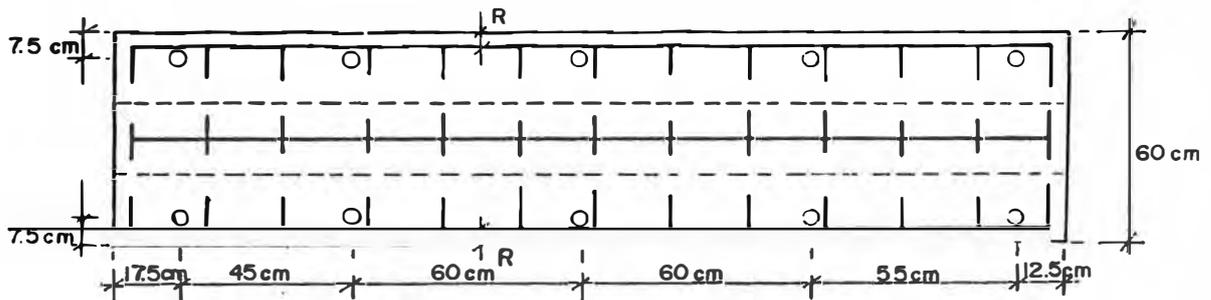
FECHA:

SEPTIEMBRE 1994

ELEVACION



PLANTA



ESPECIFICACIONES:

$f'_c = 175 \text{ kg/cm}^2$
 $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
 $R = \text{recubrimiento} = 4 \text{ cm}$

VIGA PARA APLICACION DE CARGA - LA20VPC, LA17VPC

PROYECTO:

TESIS

DISEÑO:

M.Y.C.B.

DIBUJO:

M.Y.C.B.

LAMINA N°

REVISION:

ESCALA:

1:20

07

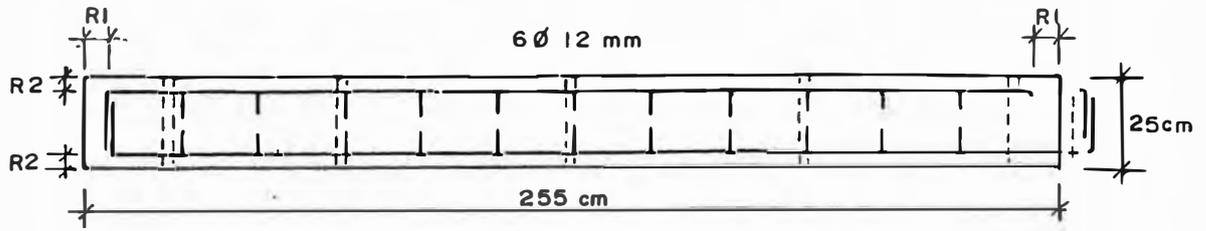
CONVENIO:

CISMID - JICA

FECHA:

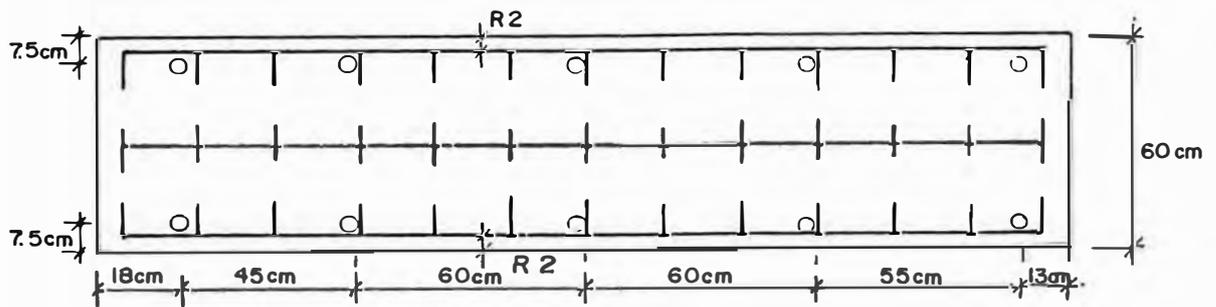
SETIEMBRE 1994

ELEVACION



26 ESTRIBOS $\varnothing 9 \text{ mm}$ a 20 cm

PLANTA



ESPECIFICACIONES

$f'_c = 175 \text{ kg/cm}^2$
 $F_y = 4200 \text{ k/cm}^2$
 R1 = recubrimiento = 6.5 cm
 R2 = recubrimiento = 4.0 cm

VIGA PARA APLICACION DE CARGA - LA20VPC, LA17VPC

PROYECTO:
TESIS

DISEÑO:
M.Y.C.B.

REVISION:

DIBUJO:
M.Y.C.B.

ESCALA:
1:20

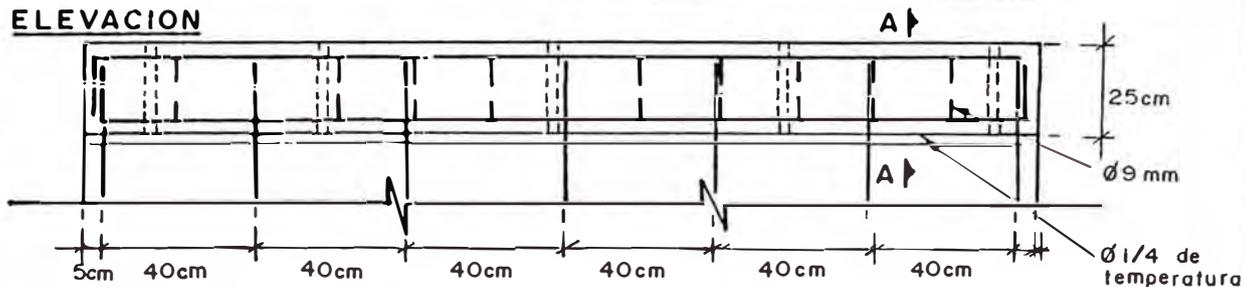
LAMINA N°
08

CONVENIO:
CISMID-JICA

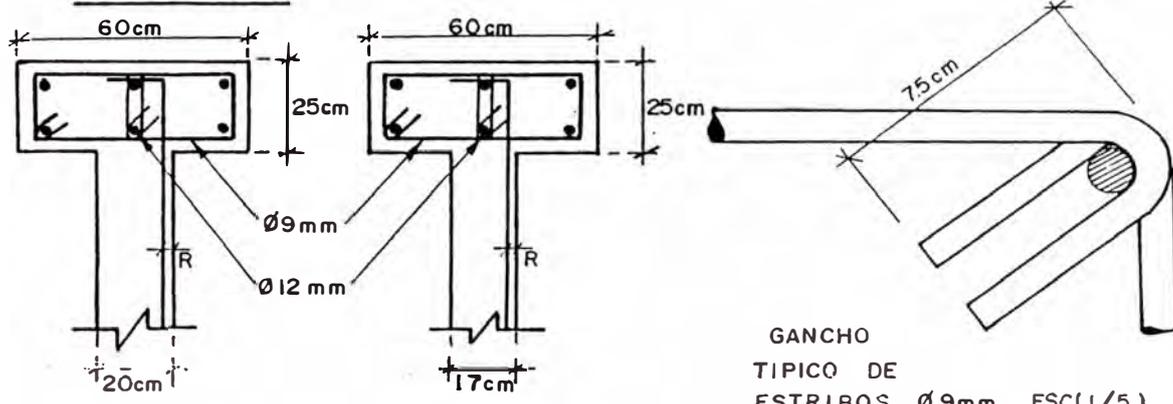
FECHA:
SETIEMBRE 1994

CONEXION VIGA DE APLICACION DE CARGA - LOSA ALIGERADA

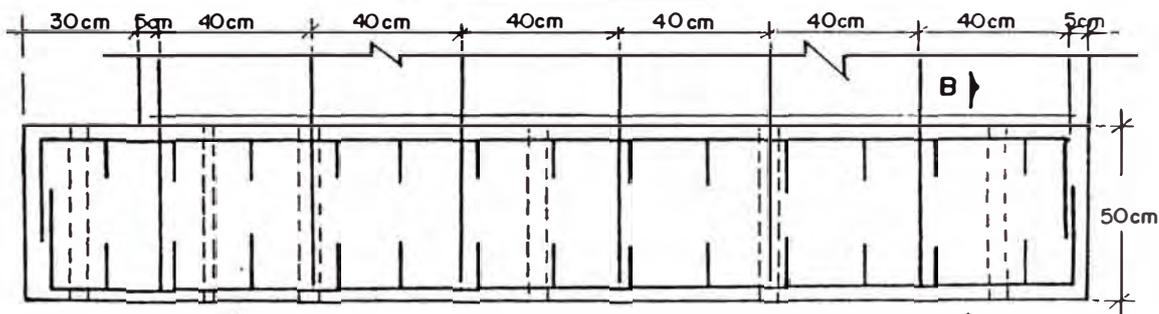
ELEVACION



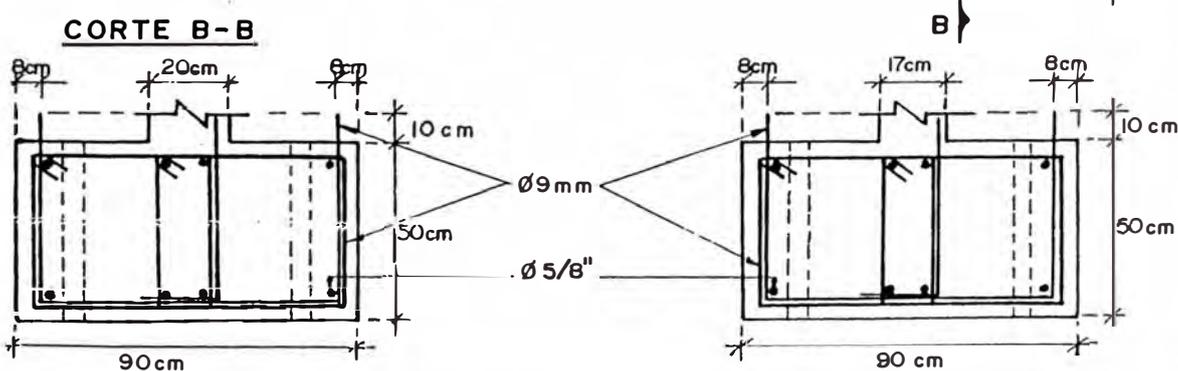
CORTE A-A



CONEXION VIGA DE ANCLAJE - LOSA ALIGERADA



CORTE B-B



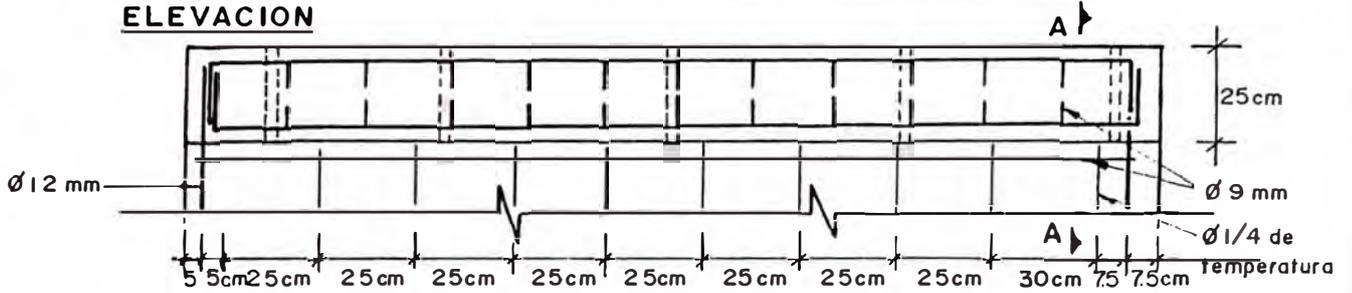
R = reabrimiento = 2.5 cm

CONEXIONES LA 20 VPC y LA 17 VPC

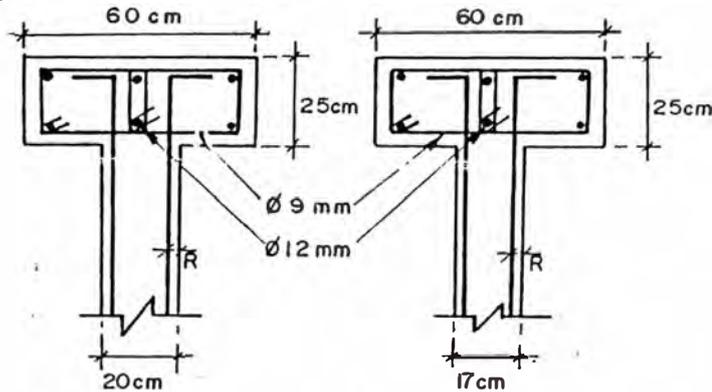
PROYECTO: <p style="text-align: center;">T E S I S</p>	REVISION: DISEÑO: M.Y.C.B.	DIBUJO: M.Y.C.B. ESCALA: 1:20	LAMINA N° <p style="font-size: 2em;">09</p>
CONVENIO: <p style="text-align: center;">CISMID - JICA</p>	FECHA: <p style="text-align: center;">SETIEMBRE 1994</p>		

CONEXION VIGA DE APLICACION DE CARGA Y LOSA ALIGERADA

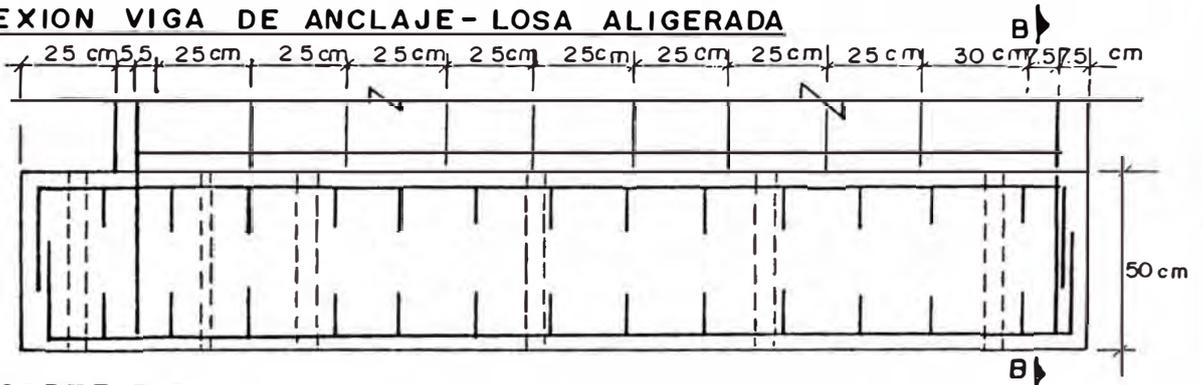
ELEVACION



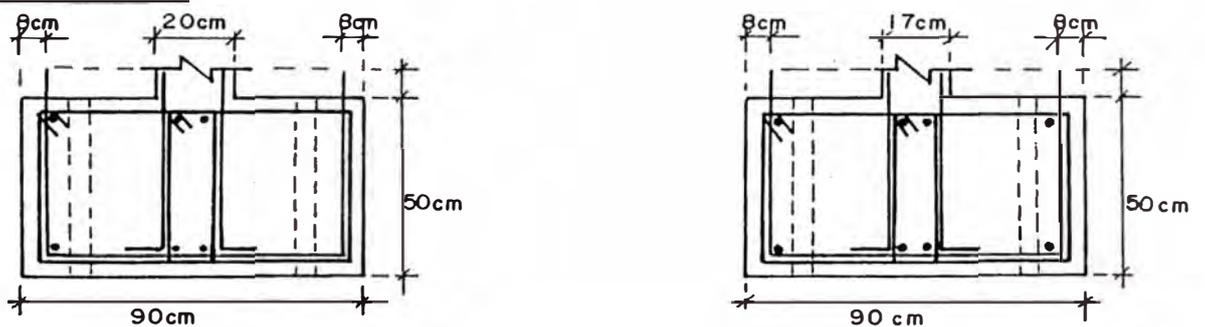
CORTE A-A



CONEXION VIGA DE ANCLAJE- LOSA ALIGERADA



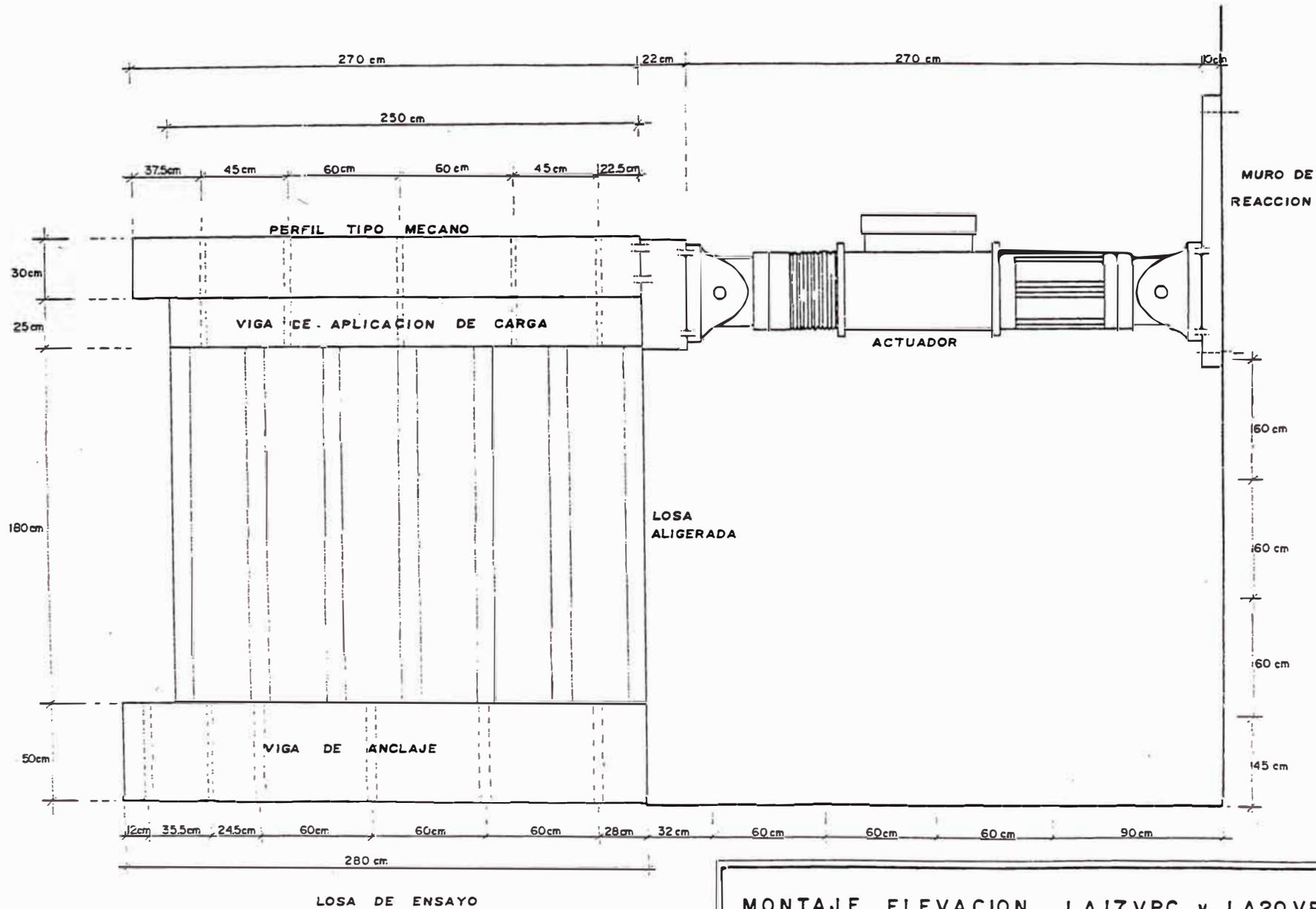
CORTE B-B



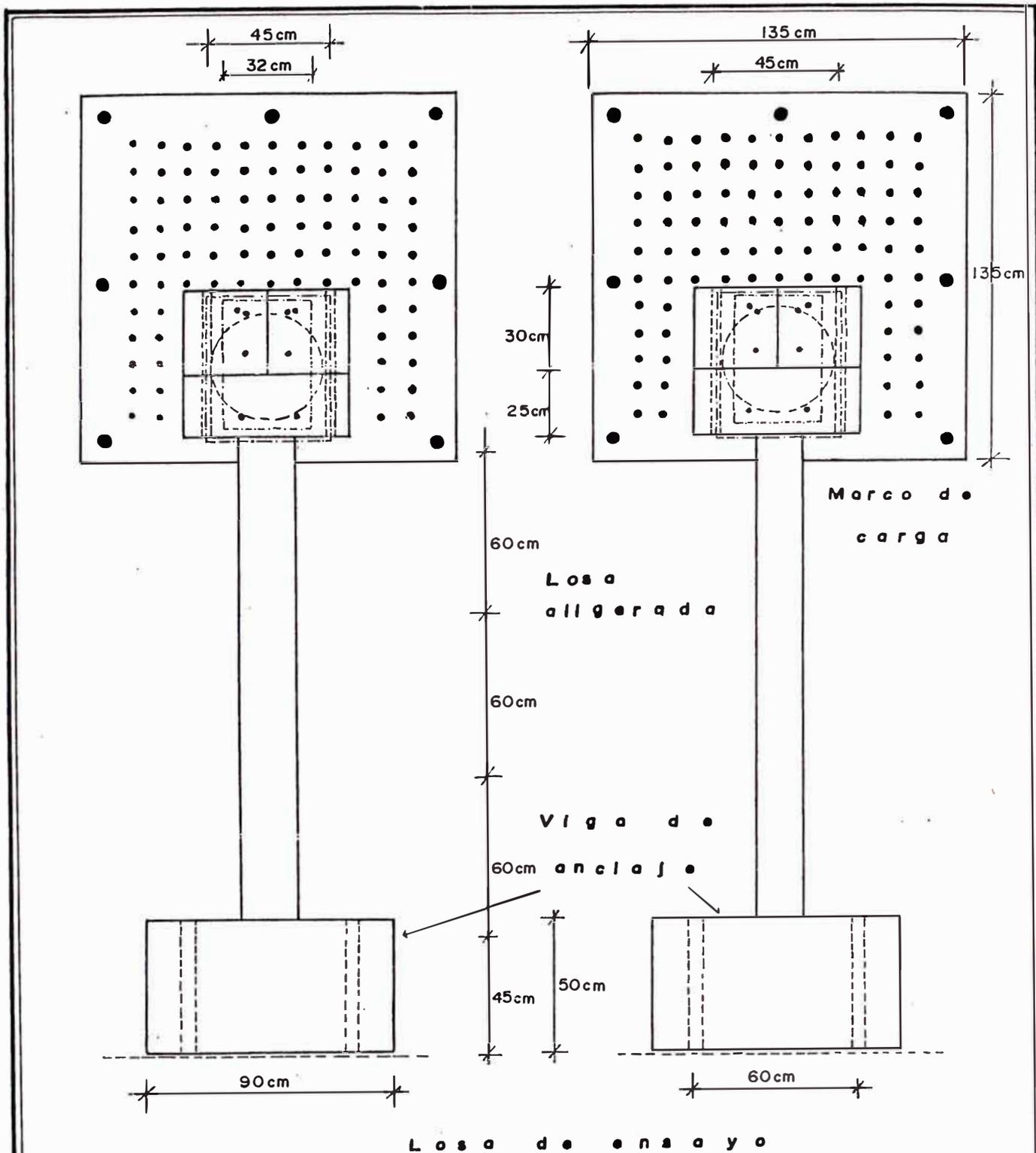
R = recubrimiento = 2.5 cm

CONEXIONES LA 20 VPC y LA 17 VPC

PROYECTO: TESIS	REVISION: DISEÑO: M.Y.C.B.	DIBUJO: M.Y.C.B.	LAMINA N° 10
CONVENIO: CISMID - JICA	FECHA: SEPTIEMBRE 1994	ESCALA: 1:20	



MONTAJE ELEVACION LA17VPC y LA20VPC			
PROYECTO:	REVISION:	DIBUJO:	LAMINA N° 11
TESIS		M.Y.C.B.	
CONVENIO:	FECHA:	ESCALA:	
CISMID - JICA	SETIEMBRE 1994	1:20	



MONTAJE

LA17 VPC y LA20 VPC

PROYECTO:

TESIS

REVISIÓN:

DIBUJO:

M.Y.C.B.

LAMINA N°

DISEÑO:

M.Y.C.B.

ESCALA:

1:20

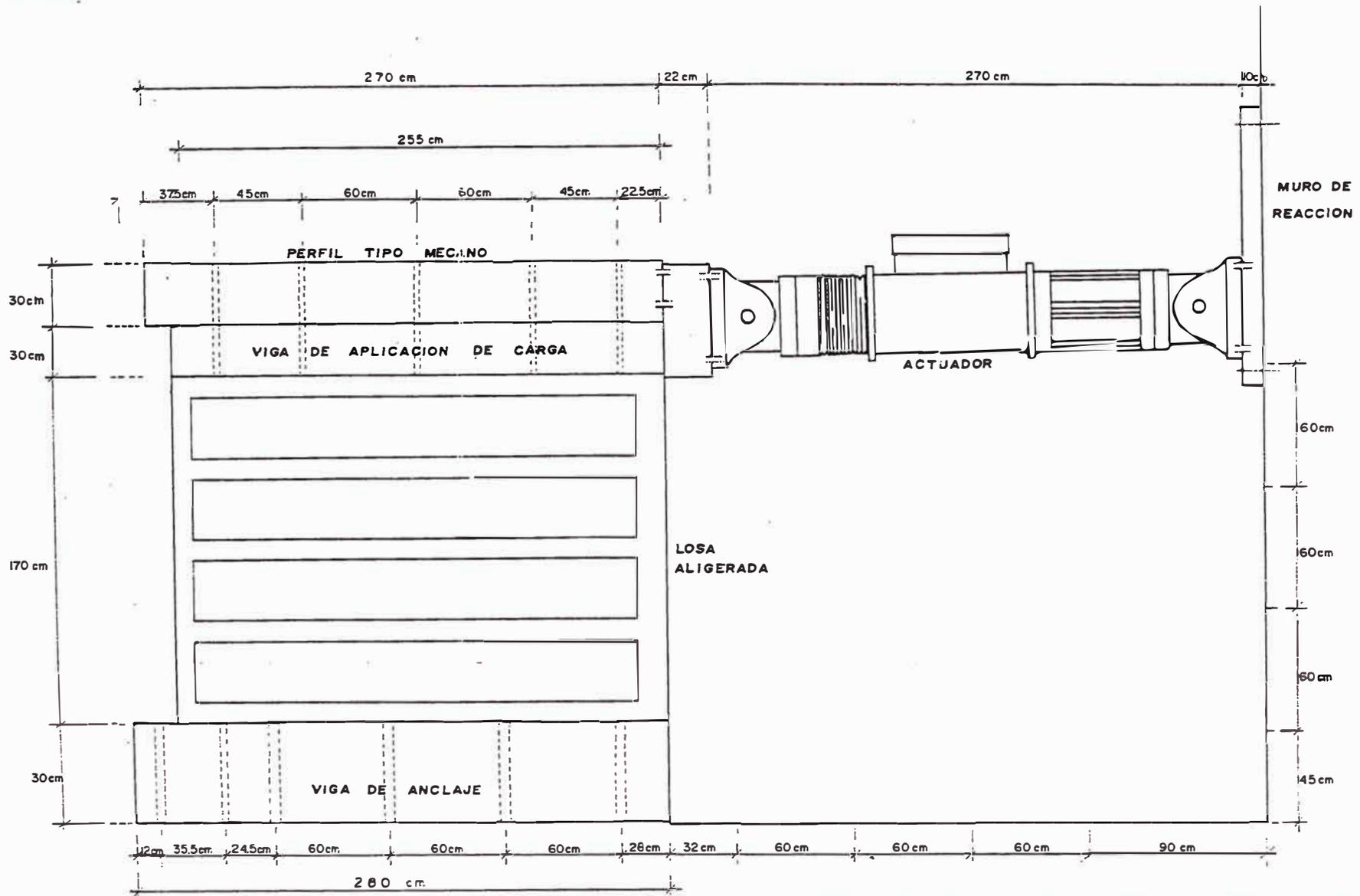
12

CONVENIO:

CISMID - JICA

FECHA:

SEPTIEMBRE 1994



LOSA DE ENSAYO

MONTAJE ELEVACION LA17VDC y LA20VDC

PROYECTO:
TESIS

REVISION:
DISEÑO: M.Y.C.B

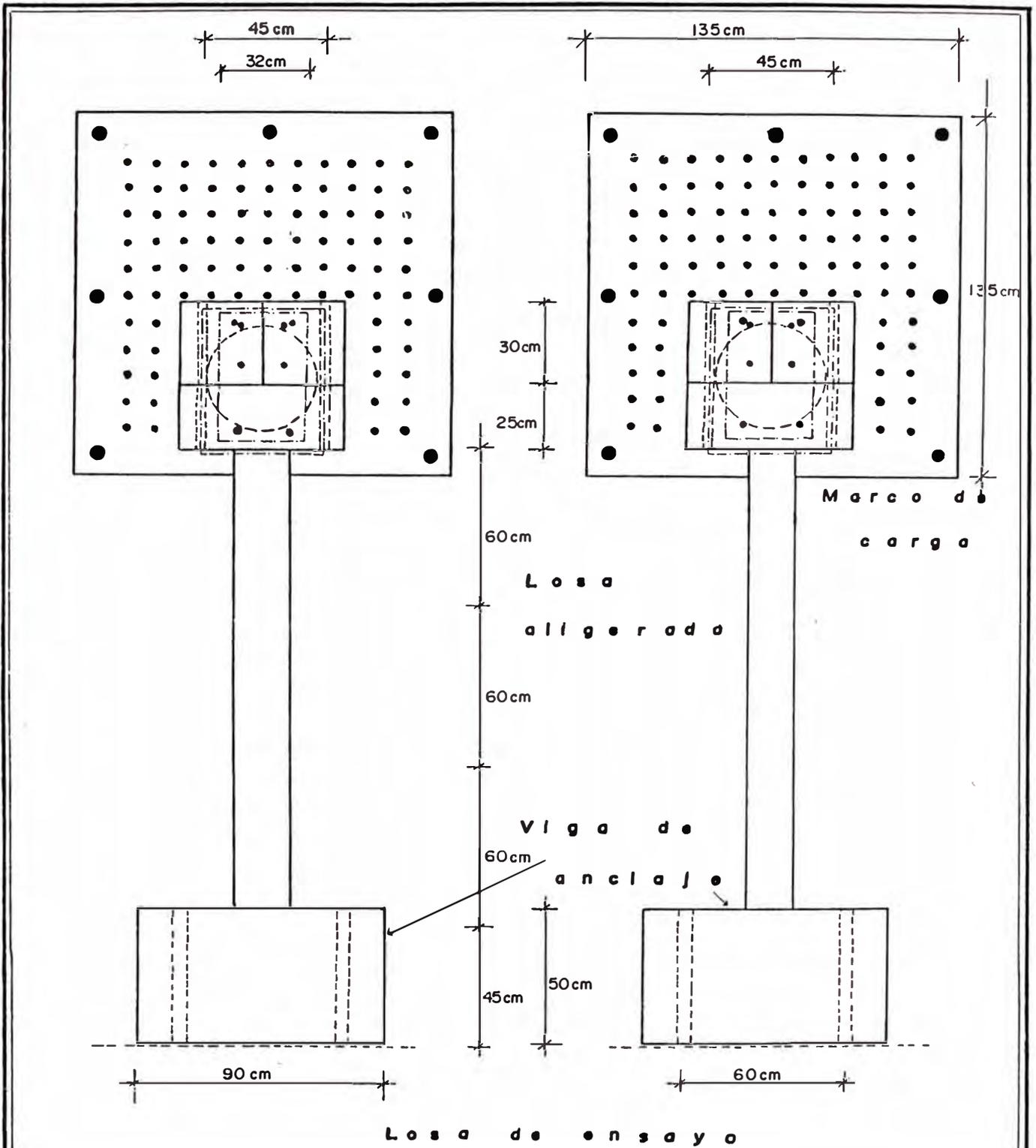
DIBUJO: M.Y.C.B
ESCALA: 1:20

LAMINA N°

CONVENIO:
CISMID - JICA

FECHA:
SEPTIEMBRE 1994

13



MONTAJE LA17 VDC y LA20 VDC

PROYECTO:

TESIS

REVISION:

DISEÑO: **M.Y.C.B**

DIBUJO:

M.Y.C.B.

ESCALA: **1:20**

LAMINA N°

14

CONVENIO:

CISMID - JICA

FECHA:

SETIEMBRE 1994

e.- Otros



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE COMPRESION

PLANILLA DE RESULTADOS:

Peticionario: B. MIGUEL Y. CESPEDES B. Muestreo por:
 Procedencia: CISMID - LABORATORIO DE ESTRUCTURAS
 Material: Fecha de Ensayo: 14-10-93
 Tipo de Probeta: Norma: de Ensayo:

FECHA DE OBTENCION	MARCA DE IDENTIFICACION	PESO DE LA PROBETA : KGS.	DIMENSIONES EN CMS.	CARGA MÁXIMA KGS.	SECCION NORMAL A LA CARGA CM ²	RESISTENCIA A LA COMPRESION KG./CM ²
7.10.93	1-175		15.0 x 30	34.800	177	197
7.10.93	2-175		15.0 x 30	32.800	177	185
7.10.93	3-175		15.1 x 30	31.500	179	176
7.10.93	4-175		14.9 x 30	33.800	174	194
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—

Observaciones:

Expediente N°:

Máquina : T-0

Determinado por:

Recibo N°:

Operador : P. Q. M.

Revisado por:

INGENIERO JEFE
LABORATORIO N° 1 - ENSAYO DE MATERIALES



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE COMPRESION

PLANILLA DE RESULTADOS:

Peticionario: BSC. MIGUEL Y. CESPENES B. Muestreo por:

Procedencia: CISHID - LABORATORIO DE ESTRUCTURAS

Material:

Fecha de Ensayo: 14-10-93

Tipo de Probeta:

Norma de Ensayo:

FECHA DE OBTENCION	MARCA DE IDENTIFICACION	PESO DE LA PROBETA : KGS.	DIMENSIONES EN CMS.	CARGA MAXIMA KGS.	SECCION NORMAL A LA CARGA CM ²	RESISTENCIA A LA COMPRESION KG./CM ²
7-10-93	1-210		14.9 x 30	34.800	174	200
7-10-93	2-210		15.0 x 30	34.600	177	195
7-10-93	4-210		15.0 x 30	38.800	177	219
7-10-93	3-210		14.9 x 30	40.100	184	230

Observaciones:

Expediente N°:

Máquina: T.O.

Determinado por:

Récibo N°:

Operador: C.O.M.

Revisado por:

INGENIERO JEFE
LABORATORIO N° 1 - ENSAYO DE MATERIALES



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE COMPRESION

PLANILLA DE RESULTADOS:

Peticionario:

Muestreo por:

Procedencia:

Fecha de Ensayo: 26-11-93

Material:

Norma de Ensayo:

Tipo de Probeta:

FECHA DE OBTENCION	MARCA DE IDENTIFICACION	PESO DE LA PROBETA : KGS.	DIMENSIONES EN CMS.	CARGA MAXIMA KGS.	SECCION NORMAL A LA CARGA CM ²	RESISTENCIA A LA COMPRESION KO./CM ²
19.10.97	1-175		15.1x70	57.500	179	321
19.10.97	2-175		15.2x30	61.300	181	339
19.10.97	3-175		15.1x30	59.900	179	335
19.10.97	A-210		15.2x70	65.000	181	357
19.10.97	B-210		15.2x30	65.200	181	360
19.10.97	C-210		15.1x30	63.000	179	352

Observaciones:

Expediente N°:

Máquina : T-0

Determinado por:

Recibo N°:

Operador : S. D. M.

Revisado por:

INGENIERO JEFE
LABORATORIO N° 1 - ENSAYO DE MATERIA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE TRACCION

PLANILLA DE RESULTADOS:

Peticionario *TESIS*

Procedencia:

Material:

Tipo de Probeta: *CS-0*

Muestreo por:

Fecha de Ensayo: *9-12-93*

Norma de Ensayo:

N° ó MARCA	SECCION TRANSVERSAL		LIMITE <i>Fluencia</i>		RESISTENCIA A LA TRACCION		ELONGACION FINAL	
	Dimensiones mm	Area mm ²	CARGA Kgs.	CARGA Unitaria Kg/mm ²	CARGA Máxima Kgs.	CARGA Unitaria Kg/mm ²	EN / 2 CMS.	
							cms.	%
1	4.8	18.1	—		1650	0.091	—	—
2	4.8		—		1670	0.092	—	—
3	4.8		—		1750	0.097	10.3	3%
1	4.8		—		1670	0.092	—	—
2	4.8		—		1660	0.092	—	—
3	4.0	12.57	—		1250	0.099	10.5	5%

OBSERVACIONES: *Rotura en la parte de la mordaza*
No presento fluencia
0.099

Recibo N°:

Expediente

Maquina: *AMSER* Hecho por:

Operador: *F.R.L* Revisado por:

Lima ___ de ___ de 19___

INGENIERO JEFE
LABORATORIO N° 1- ENSAYO DE MATERIALES



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ENSAYO DE TRACCION

PLANILLA DE RESULTADOS:

Peticionario *TESIS*

Procedencia:

Muestreo por:

Material

Fecha de Ensayo: *9-12-93*

Tipo de Probeta: *CONJUGADO*

Norma de Ensayo:

N° ó MARCA	SECCION TRANSVERSAL		LIMITE <i>FLEXION</i>		RESISTENCIA A LA TRACCION		ELONGACION FINAL	
	Dimensiones mm	Area mm ²	CARGA Kgs.	CARGA Unitaria Kg/mm ²	CARGA Máxima Kgs.	CARGA Unitaria Kg/mm ²	EN 20 cms.	
							cms	%
<i>3/8"</i>	<i>9.5</i>	<i>70.9</i>	<i>3,180</i>	<i>44.85</i>	<i>4,850</i>	<i>68.41</i>	<i>23.6</i>	<i>18</i>
<i>3/8"</i>	<i>9.5</i>	<i>70.9</i>	<i>3,200</i>	<i>45.14</i>	<i>4,840</i>	<i>68.27</i>	<i>3.1</i>	<i>15.5</i>
<i>3/8"</i>	<i>9.5</i>	<i>70.9</i>	<i>3,210</i>	<i>45.28</i>	<i>4,800</i>	<i>67.70</i>	<i>3.5</i>	<i>19.5</i>
<i>1/2"</i>	<i>12.7</i>	<i>126.7</i>	<i>5,830</i>	<i>46.01</i>	<i>9,140</i>	<i>72.14</i>	<i>3.0</i>	<i>15</i>
<i>1/2"</i>	<i>12.7</i>	<i>126.7</i>	<i>5,570</i>	<i>43.96</i>	<i>8,880</i>	<i>70.09</i>	<i>2.8</i>	<i>14</i>
<i>1/2"</i>	<i>12.7</i>	<i>126.7</i>	<i>5,850</i>	<i>46.17</i>	<i>9,180</i>	<i>72.45</i>	<i>2.6</i>	<i>13</i>

OBSERVACIONES:

42.00 kg/mm²

Límite de fluencia correspondiente a la primera carga de la carga. Calidad de probeta C-38

Recibo N°:

Maquina: *AMSLER* Hecho por:

Expediente N°:

Operador: *F.R.C* Revisado por:

Lima ___ de ___ de 19___

INGENIERO JEFE
LABORATORIO N° 1- ENSAYO DE MATERIALES

BIBLIOGRAFIA

- (1) APPLIED FINITE ELEMENT ANALYSIS
Editorial Jhon Wiley and Sons, Second Edition
Larry J. Segerlind
- (2) CONCRETO ARMADO NORMA TECNICA DE EDIFICACION E 060
ININVI 1989
- (3) DYNAMICS OF STRUCTURES
Editorial Mac Graw-Hill 1975
Clough, R y Penzien, J.
- (4) EDIFICACIONES DE ALBAÑILERIA SIN DIAFRAGMA RIGIDO
Libro de Ponencias VI Congreso Nacional de Ingeniería Civil Cajamarca, Set. 1986
Icochea, Guillermo.
- (5) ENERGY ABSORPTION OF STRUCTURES UNDER CICLIC LOADING
Journal of the Structural Division.
Proceedings of the American Society of Civil Engineers Feb. 1964
Medearis, Kenneth.
- (6) EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS
Editorial Reverte, Barcelona, 1980
Zienkiewicz, O, C.
- (7) ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO
Editorial Limusa, Mexico, 1a. Edición, 1980
Park, R. y Paulay, T.
- (8) ESTUDIO DE LA INTERACCION PORTICO PLACA USANDO EL METODO DE
ELEMENTOS FINITOS
Informe de Investigación, Cismid- UNI Perú 1992
Matos, C
- (9) NORMA DE DISEÑO SISMO-RESISTENTE E 030
ININVI.
- (10) NORMA TECNICA DE EDIFICACION E 020 CARGAS
ININVI, 1990
- (11) LOSAS DE CONCRETO ARMADO
Instituto de Ingenieria Sísmica, Perú, Dic. 1993.
Bariola Bernales, J.
- (12) MEASUREMENT SYSTEMS APLICATION AND DESING
Third Edition 1983
Doebelin, Ernest O.

- (13) RESISTENCIA DE MATERIALES
Editorial Harper and Row Publishers Inc.
Singer, Ferdinand L.
- (14) SHEAR DUCTILITY OF REINFORCED CONCRETE BEAMS OF NORMAL AND HIGH-STRENGTH CONCRETE
ACI Vol N° 2 March-April 1994
Structural Journal
- (15) TECNOLOGIA DEL CONCRETO DISEÑO DE MEZCLAS
Editorial Hozlo SCRL 1992
Rivva López, E.
- (16) FURTHER STUDIES ON SEISMIC BEHAVIOR OF STEEL BEAM- COLUMN SUBASSEMBLAGES
Repor N° EERC 73-27 Dic 1973
Berkeley California
Bertero, Vitelmo V.