

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUÑA

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES DE TERRASSA**

**ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL SUELO
RADIANTE POR CABLE ELECTRICO EN LA
CALEFACCION DE LOS EDIFICIOS
INDUSTRIALES**

Tesis Doctoral presentada por:
MONTSE SANCHEZ ROMERO
Ingeniero Industrial
por la E.T.S.I.I de Terrassa

Dirigida por:

PERE ALAVEDRA RIBOT
Dr. Ingeniero Industrial (U.P.C.)

Terrassa, Septiembre 1994

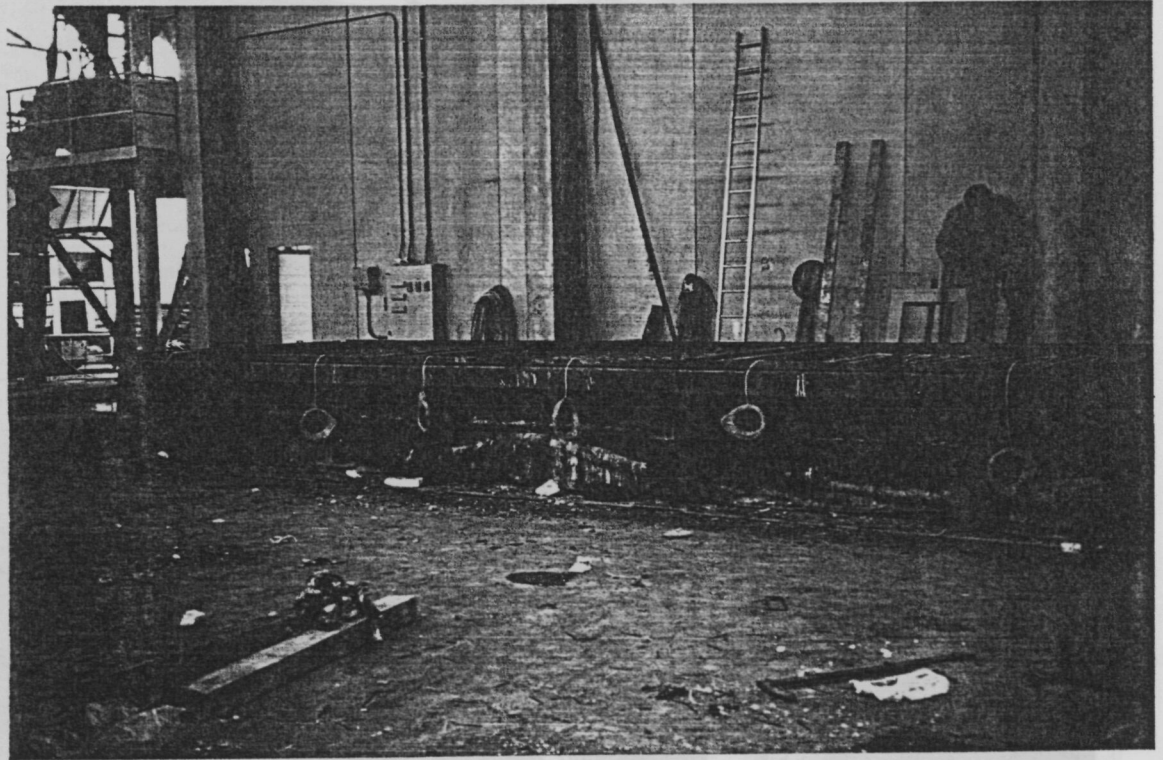


fig 8.19

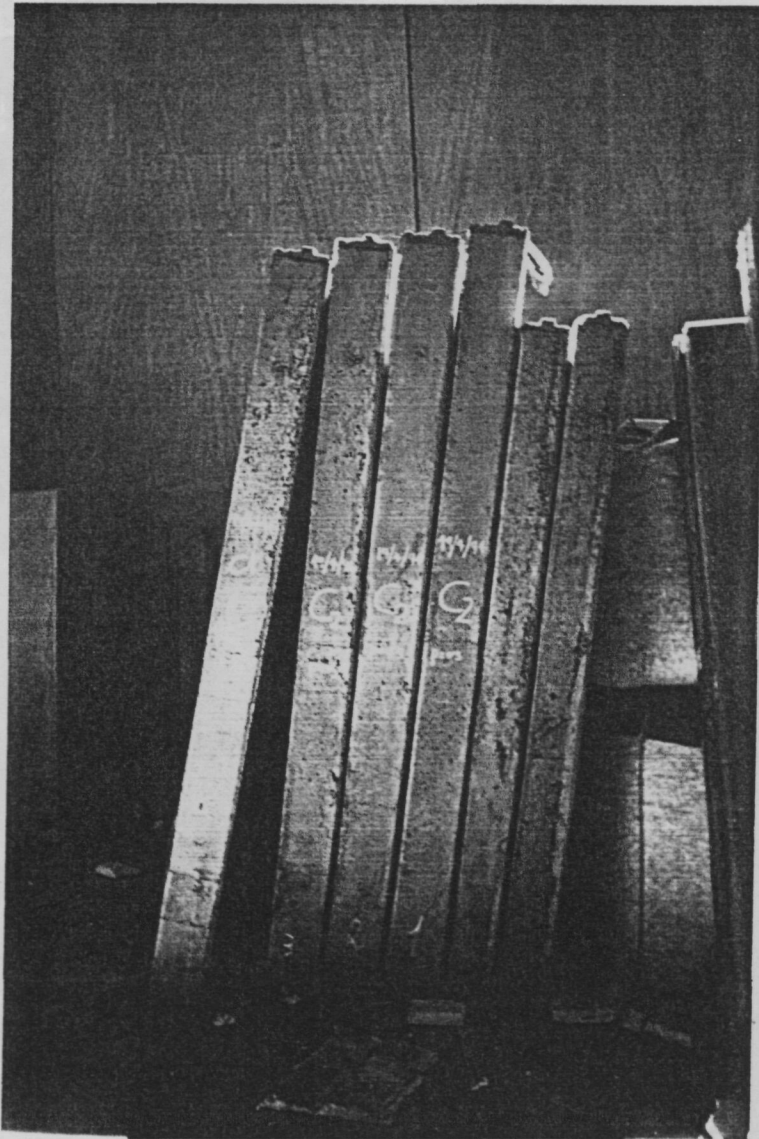


fig 8.19

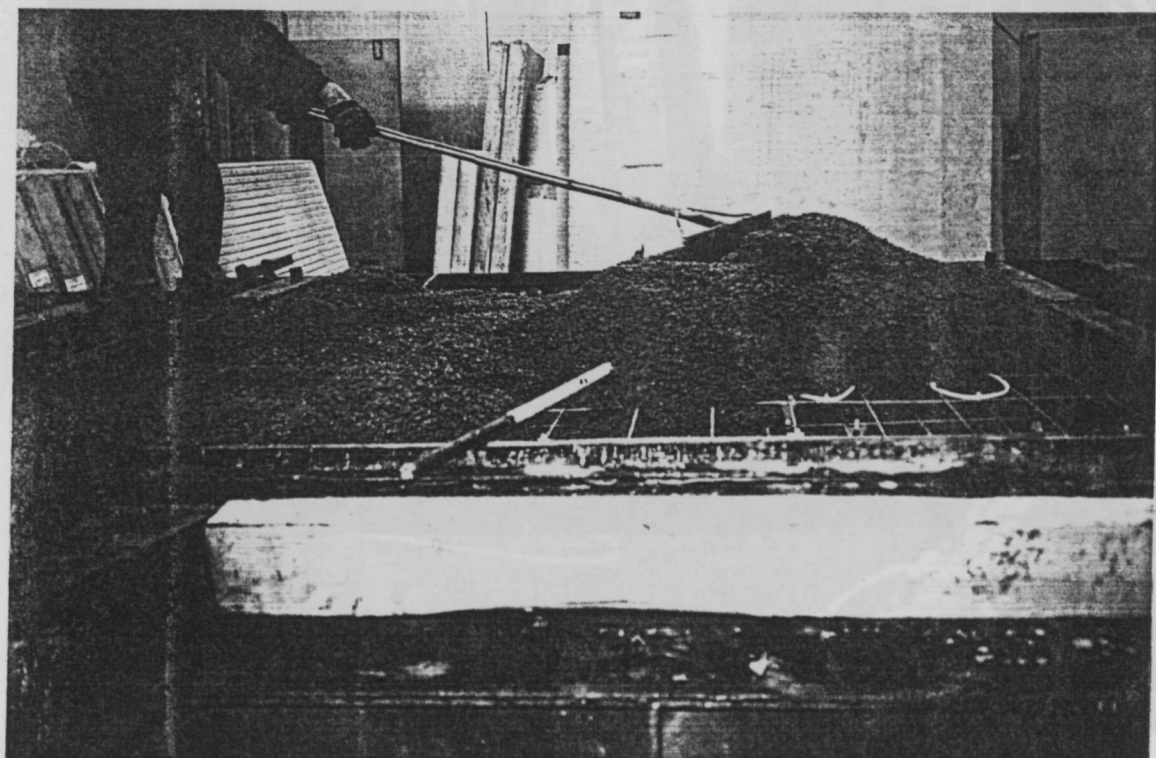
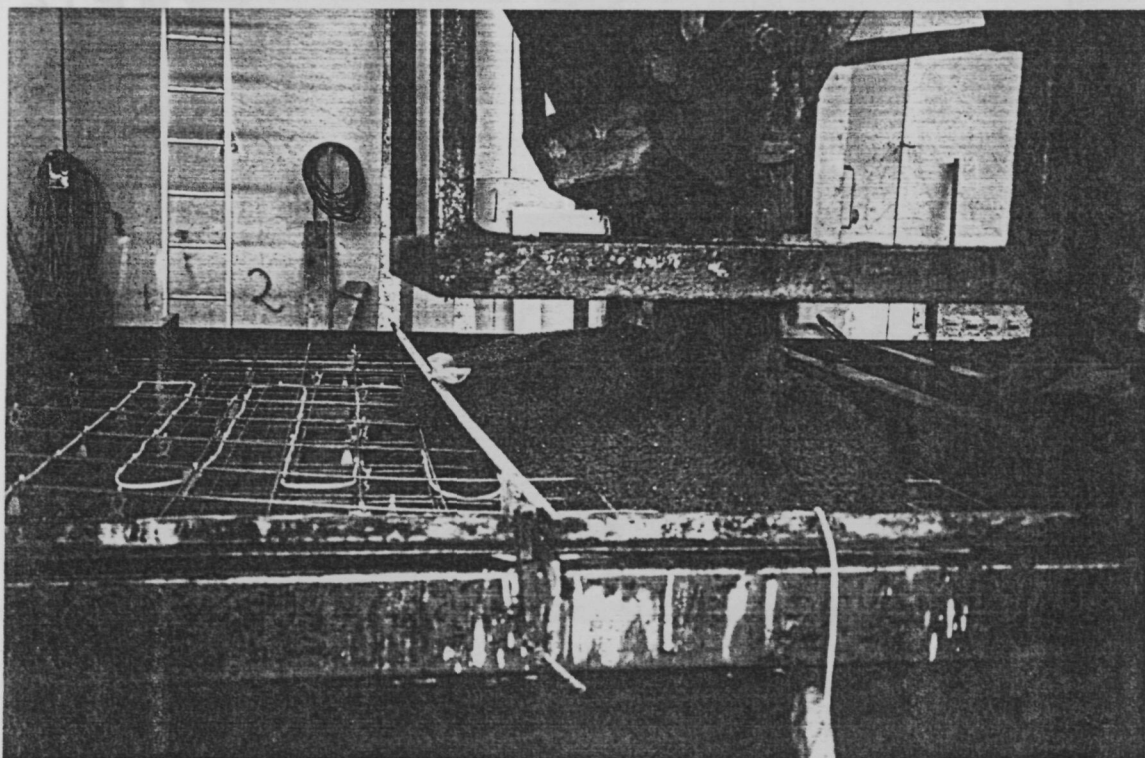


fig 8.20

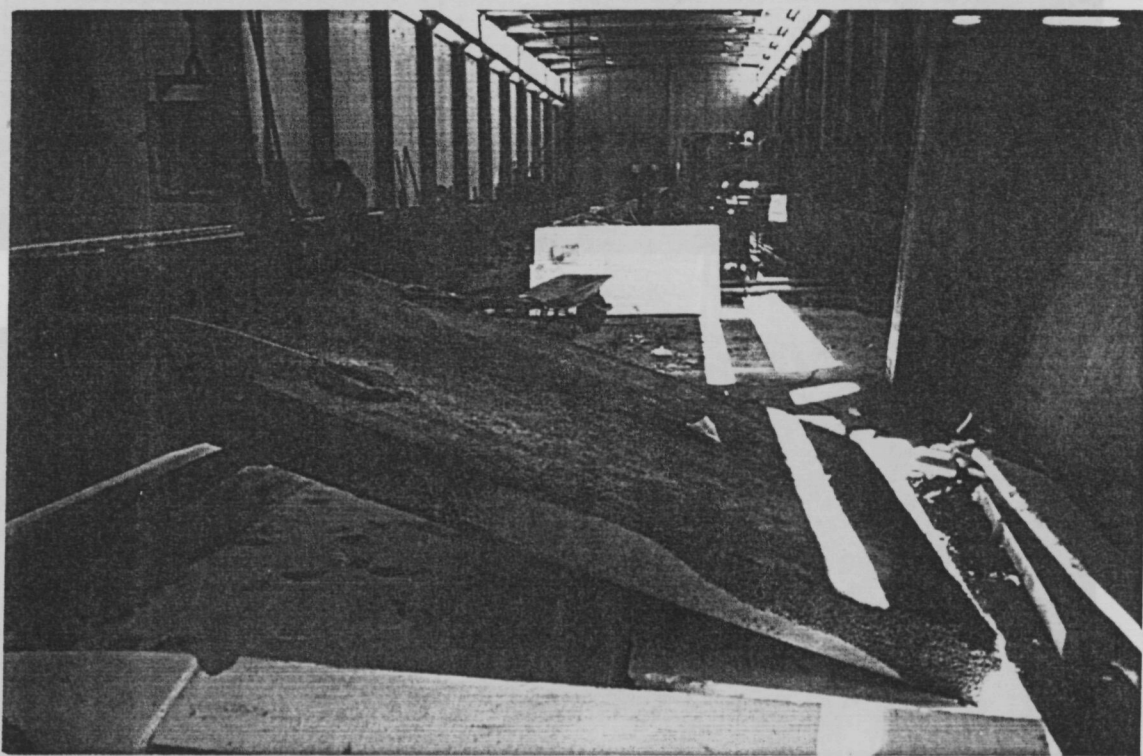


fig 8.20

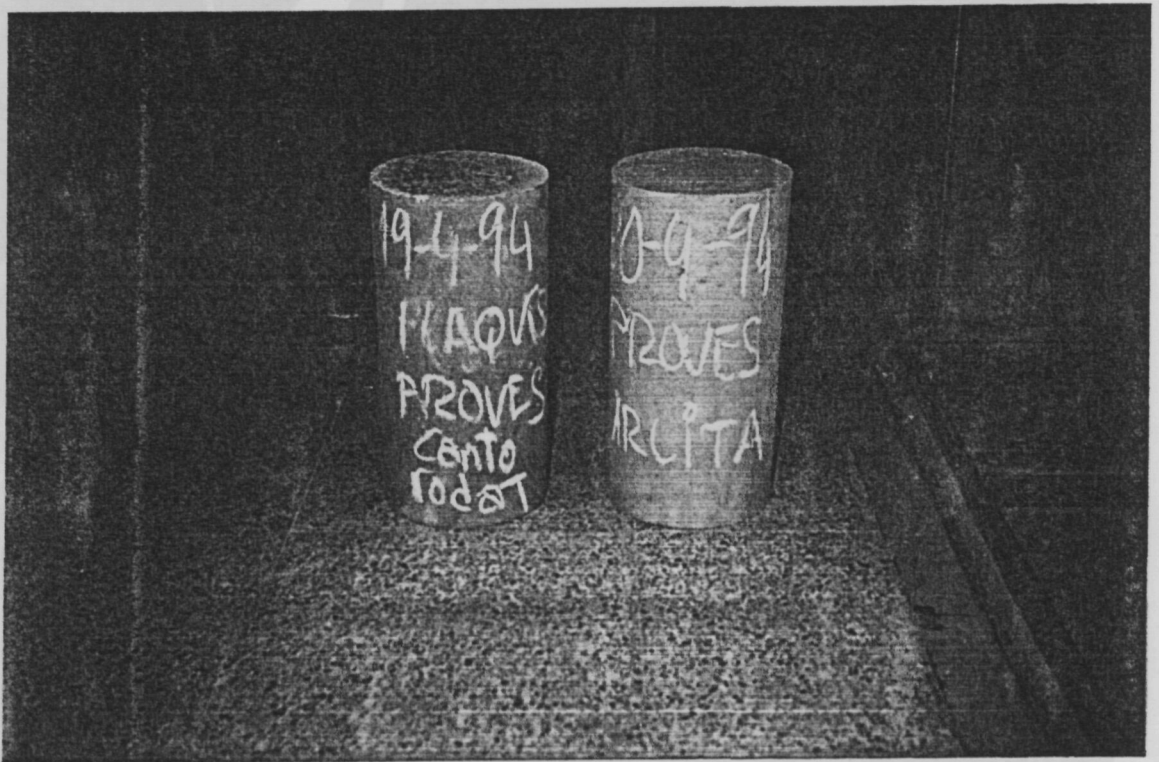
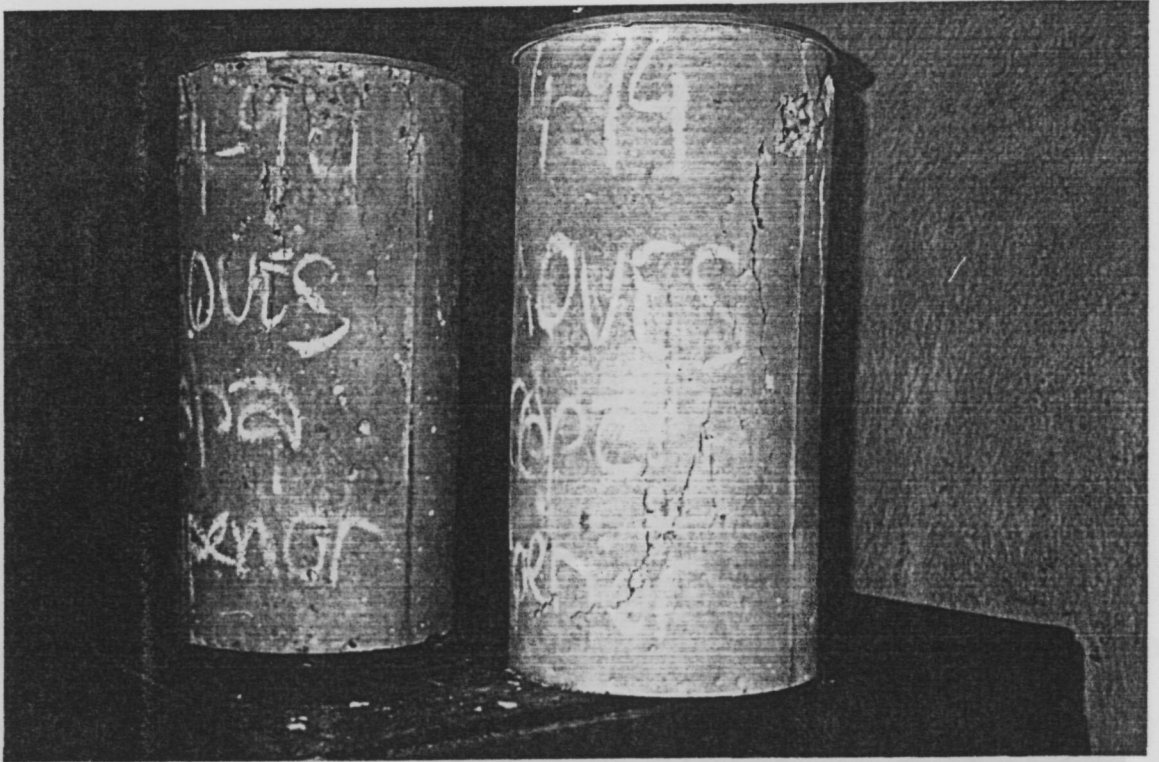


fig 8.21

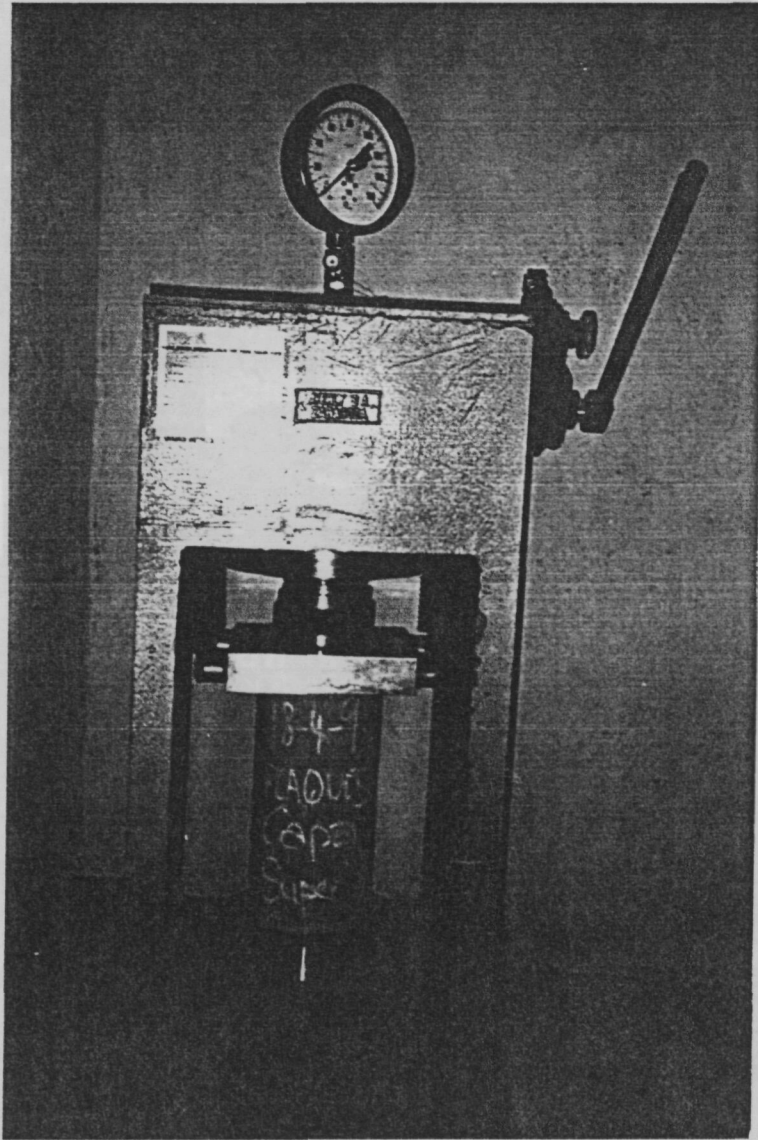


fig 8.21

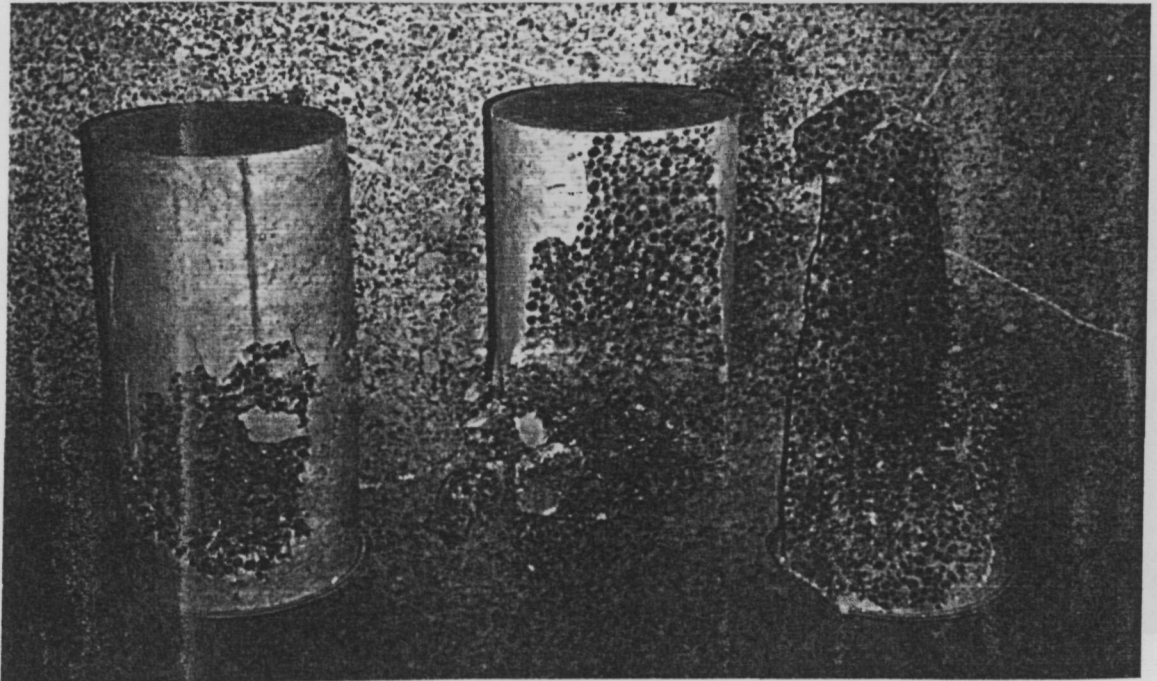
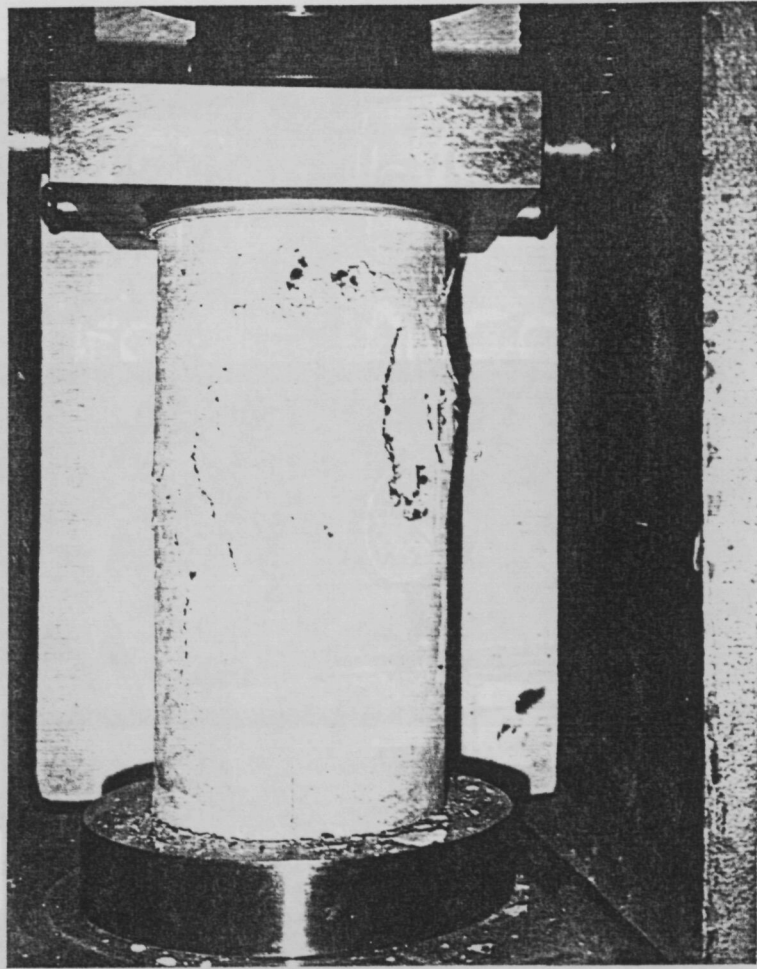


fig 8.21

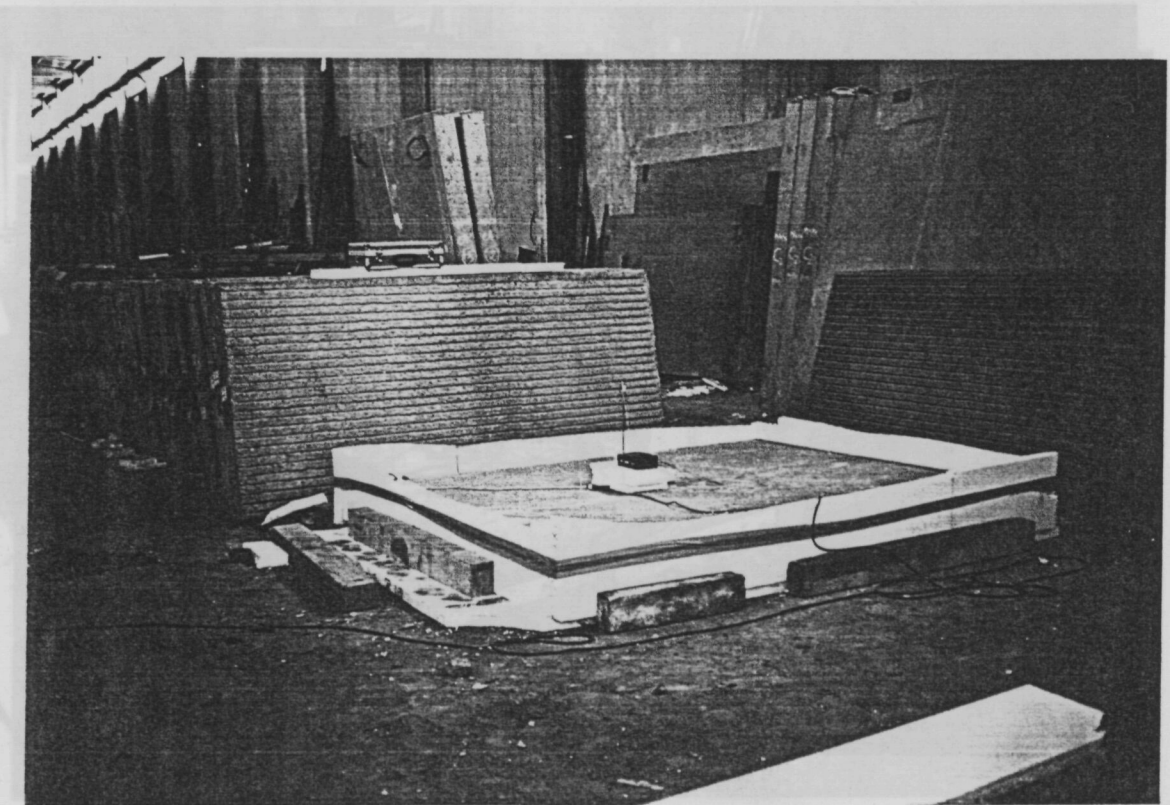
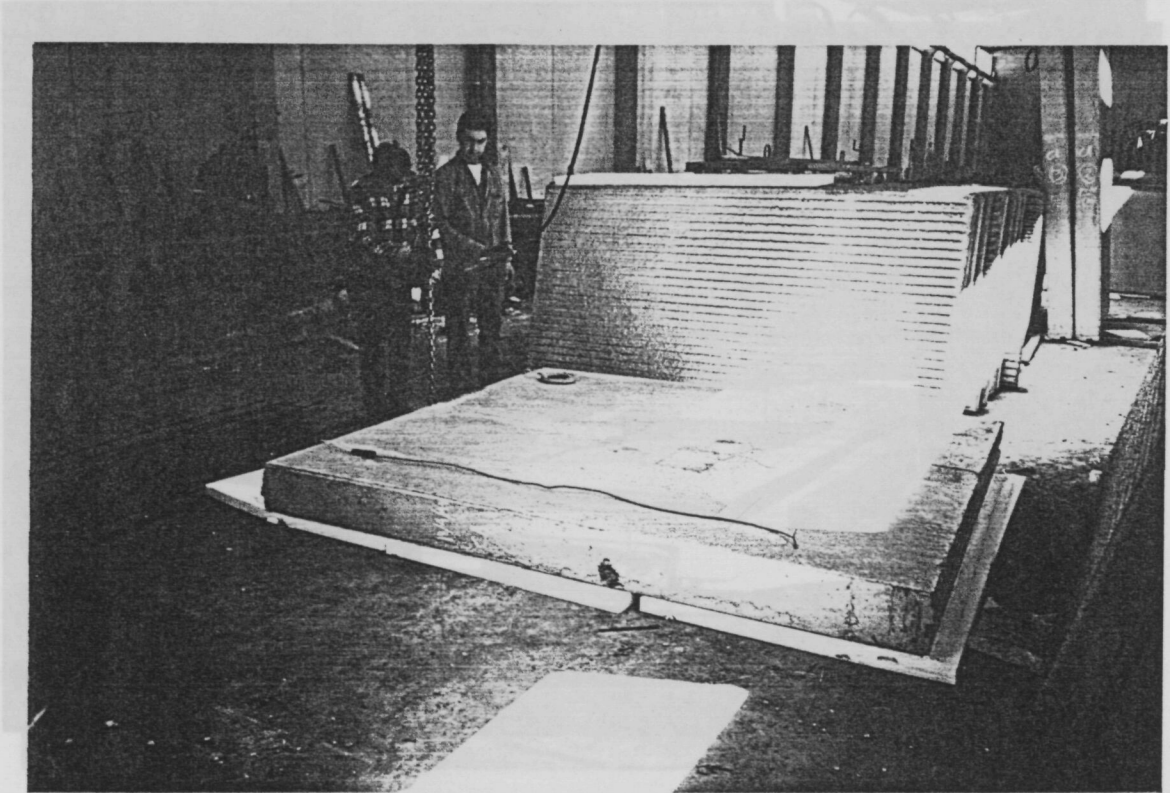


fig 8.22

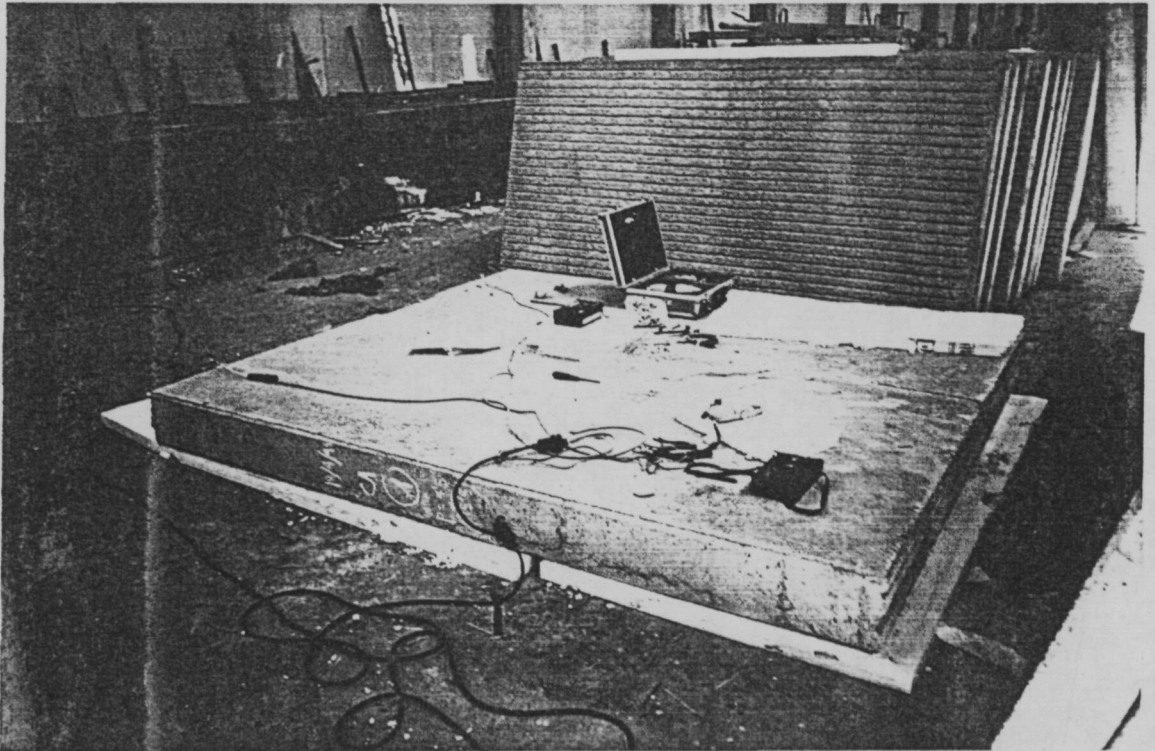
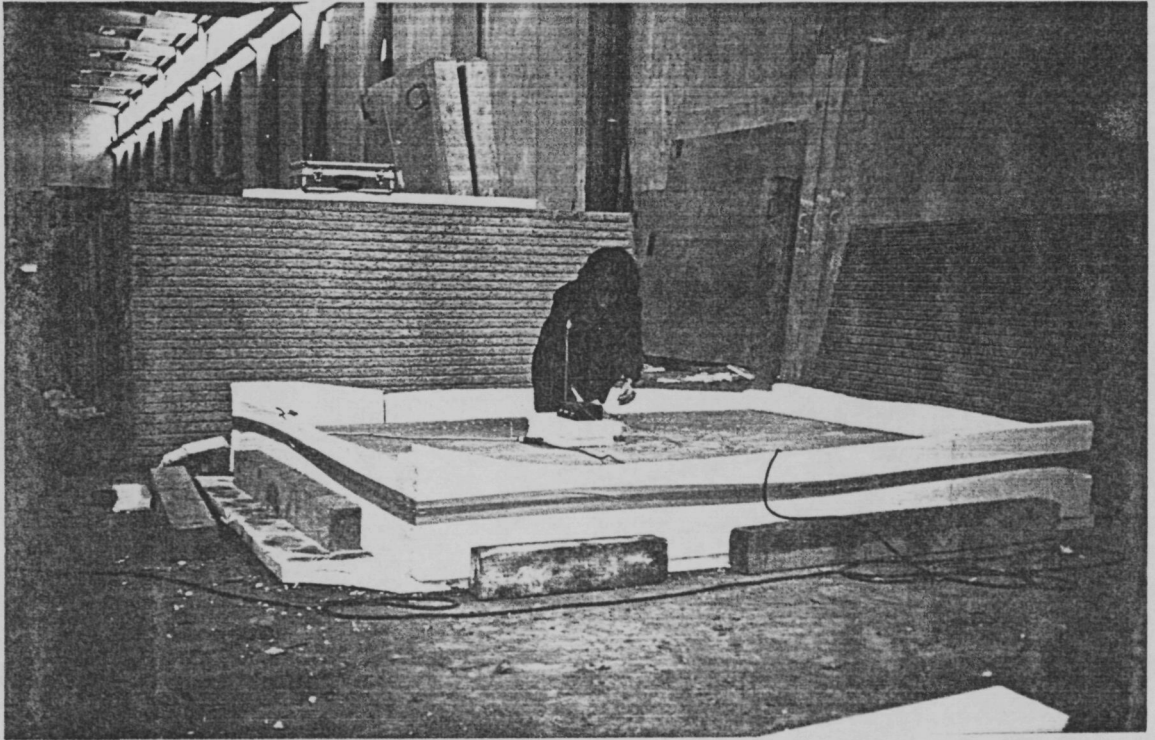


fig 8.23

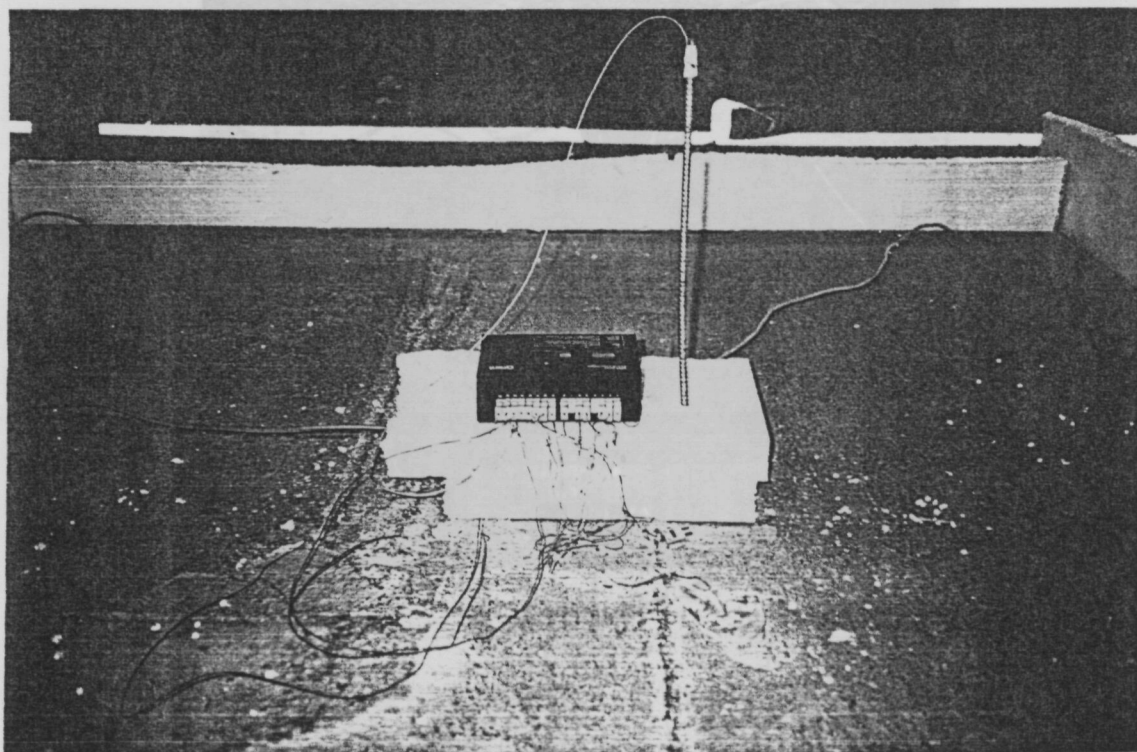
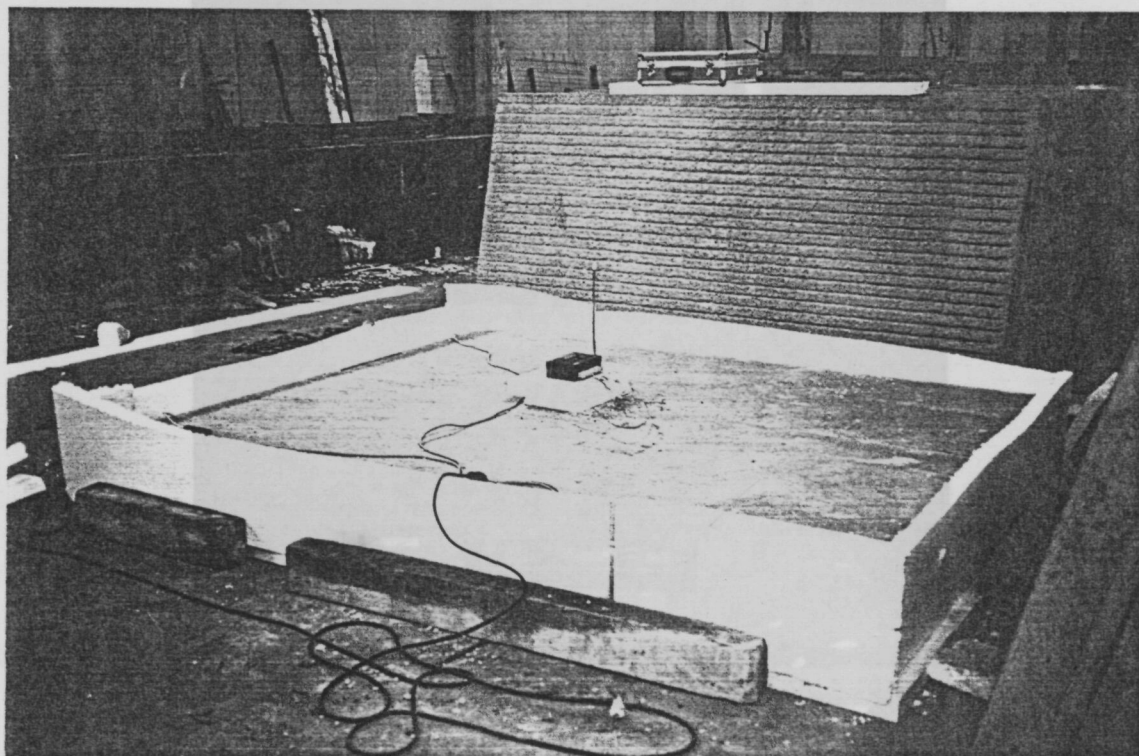


fig 8.23

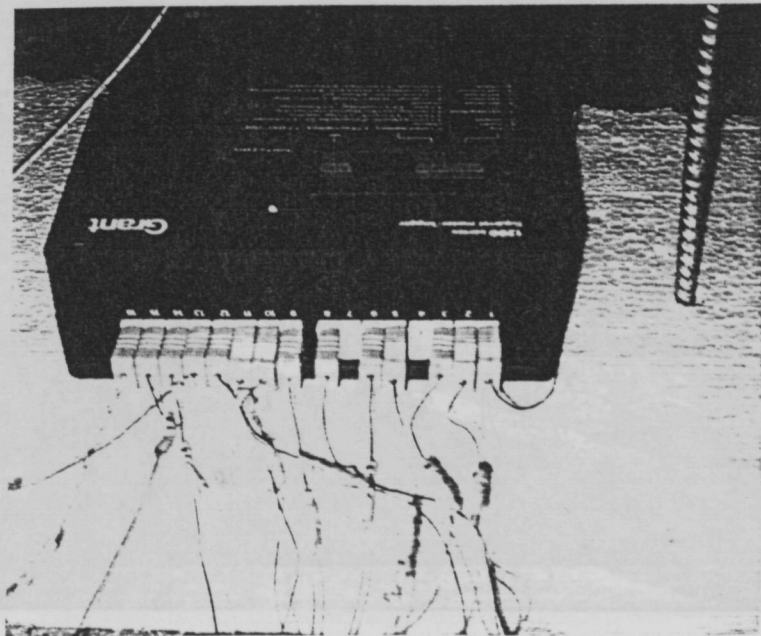
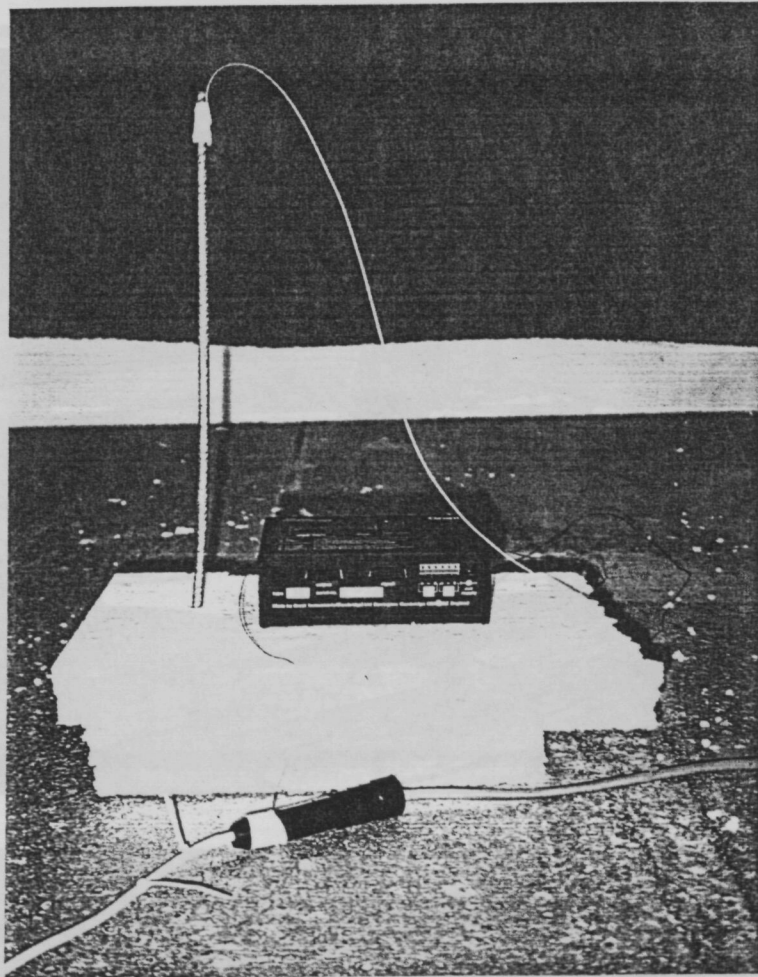


fig 8.23

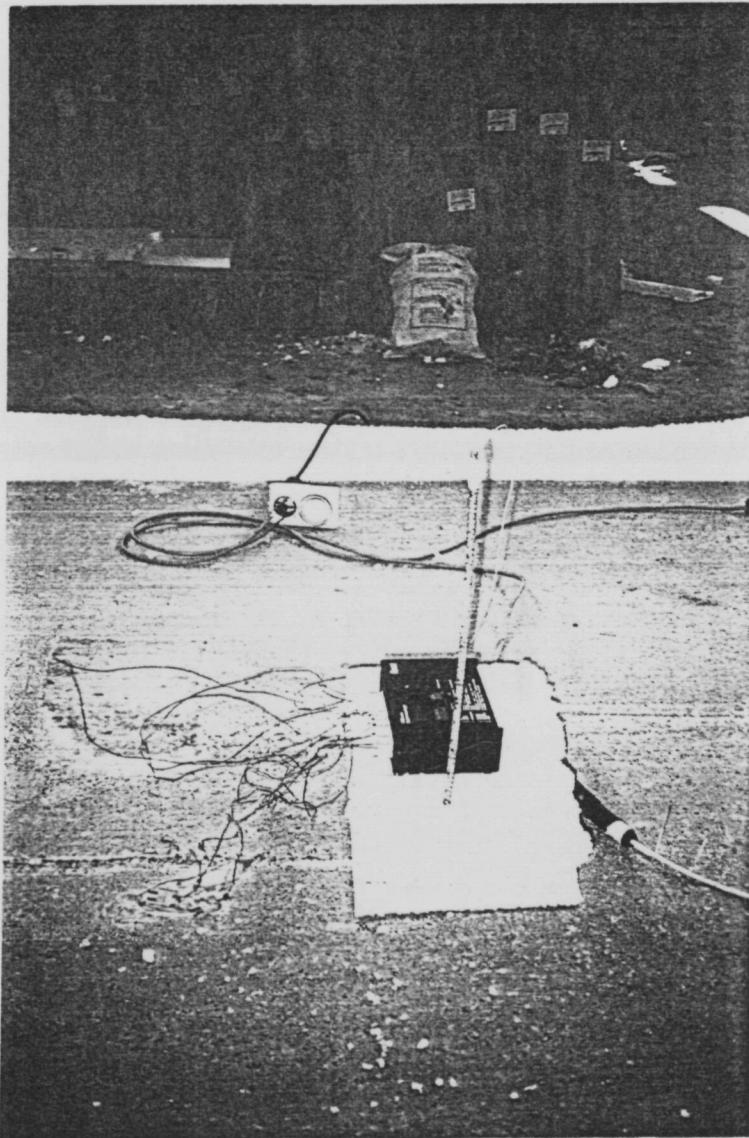


fig 8.24

CLASIFICACION RESULTADOS EXPERIMENTALES

Capitulo 9

CLASIFICACION RESULTADOS EXPERIMENTALES

En este capitulo se indica la forma en que han sido clasificados los resultados más representativos obtenidos en las pruebas experimentales.

La representación gráfica de estos resultados se encuentra en el ANEJO II.

9.1 CLASIFICACION DE RESULTADOS EVOLUCION TEMPERATURA EN LOSAS TIPO (INTERVALO 1 HORA)

Como ya se indicó en el capitulo 8, se han construido 9 losas tipo combinando 3 dosificaciones de hormigón con 3 profundidades de embebido.

Para medir la evolución de la temperatura se han situado 15 sondas distribuidas en el interior de cada una de estas losas, además de una sonda de medida de la temperatura exterior (figura 9.1)

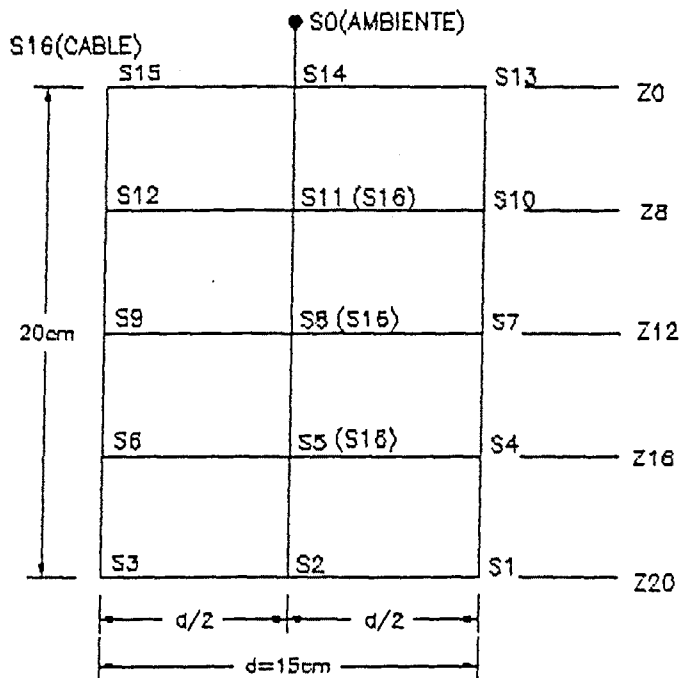


fig 9.1

A continuación se indican como se han clasificado los resultados obtenidos en el ensayo de la medición más representativa (un ciclo de carga y otro de descarga) de las 2 mediciones realizadas en pos de la fiabilidad de los resultados.

9.1.1 TABLAS DE EVOLUCION DE TEMPERATURA

En las tablas denominadas EXPHxy, donde "x" es la variable dosificación (x = C1, C2, C3) e "y" la variable profundidad de embebido (y= p1, p2, p3), se refleja como evoluciona la temperatura durante el periodo de carga y de descarga (en intervalos de 1 hora) en el interior de la Losa Radiante (posiciones Z8, Z12, Z16, Z20) y en la superficie del suelo (posición Z0).

El formato para la clasificación de los datos es del tipo:

TABLA EXPH11

		TEMPERATURA								
POSICION		TAMB	TCABLE	TZ20			.	TZ0		
CANAL		0	X	1	2	3	.	13	14	15
SONDA		S0	S16	S1	S2	S3	.	S13	S14	S15
T I E M P O	tc=0									
	..									
	tc=8									
	..									
	td=16									

Analogamente para el resto de las losas se obtendrá:

TABLA EXPH12, TABLA EXPH13, TABLA EXPH21, TABLA EXPH22, TABLA EXPH23, TABLA EXPH31, TABLA EXPH32, TABLA EXPH33

9.1.2 GRAFICOS DE EVOLUCION DE TEMPERATURA

Los datos obtenidos se han representado graficamente para su mejor interpretación. Para cada losa ensayada EXPHxy se han realizado 7 gráficos, uno para cada una de las 5 posiciones de estudio, otro para la evolución de la temperatura ambiente y otro para la evolución de la temperatura del cable.

La denominación de los gráficos es la siguiente:

Z20CHAN	Gráfico evolución temperatura en posición Z20 (sonda 2)
Z16CHAN	Gráfico evolución temperatura en posición Z16 (sonda 5)
Z12CHAN	Gráfico evolución temperatura en posición Z12 (sonda 8)
Z8CHAN	Gráfico evolución temperatura en posición Z8 (sonda 11)
Z0CHAN	Gráfico evolución temperatura en posición Z0 (sonda 14)
CHAN0	Gráfico evolución temperatura ambiente (sonda 0)
CHANX	Gráfico evolución temperatura cable (sonda 16)

Para cada losa modelizada se representan los siguientes gráficos:

GRAFICOS EXPH12

CHAN0, CHANX, Z20CHAN, Z16CHAN, Z12CHAN, Z8CHAN, Z0CHAN

GRAFICOS EXPH13

CHAN0, CHANX, Z20CHAN, Z16CHAN, Z12CHAN, Z8CHAN, Z0CHAN

GRAFICOS EXPH21

CHAN0, CHANX, Z20CHAN, Z16CHAN, Z12CHAN, Z8CHAN, Z0CHAN

GRAFICOS EXPH22

CHAN0, CHANX, Z20CHAN, Z16CHAN, Z12CHAN, Z8CHAN, Z0CHAN

GRAFICOS EXPH23

CHAN0, CHANX, Z20CHAN, Z16CHAN, Z12CHAN, Z8CHAN, Z0CHAN

GRAFICOS EXPH31

CHAN0, CHANX, Z20CHAN, Z16CHAN, Z12CHAN, Z8CHAN, Z0CHAN

GRAFICOS EXPH32

CHAN0, CHANX, Z20CHAN, Z16CHAN, Z12CHAN, Z8CHAN, Z0CHAN

GRAFICOS EXPH33

CHAN0, CHANX, Z20CHAN, Z16CHAN, Z12CHAN, Z8CHAN, Z0CHAN

Para facilitar la comparación de los gráficos experimentales se han representado los datos para un intervalo de tiempo de 1 hora.

9.2 CLASIFICACION DE RESULTADOS EVOLUCION TEMPERATURA EN LOSAS TIPO (INTERVALO 10 MINUTOS)

La toma de datos en los ensayos, tal como se indicó en el CAPITULO VIII, se ha realizado con un intervalo de tiempo mucho más pequeño (10 minutos).

A efectos ilustrativos en el ANEJO II se refleja la evolución de la temperatura con un intervalo de 10 minutos para los ensayos EXPH11 Y EXPH32.

Para cada uno de estos ensayos se han representado los gráficos siguientes:

DENOMINACION GRAFICO	TEMPERATURA REPRESENTADA
Z20CHAN	TAMB, TCABLE, TSONDA2
Z16CHAN	TAMB, TCABLE, TSONDA5
Z12CHAN	TAMB, TCABLE, TSONDA8
Z8CHAN	TAMB, TCABLE, TSONDA11
ZOCHAN	TAMB, TCABLE, TSONDA14
CHAN0	TAMB
CHANX	TCABLE
Z20,Z16,Z12,Z8,Z0	TSONDA 2,5,8,11,14

Posteriormente a la realización de los ensayos correspondientes a las 9 losas, se repitió el ensayo para una de ellas (EXPH21) tomando datos cada 10 minutos y durante 1 semana.

En el ANEJO II se representa gráficamente esta evolución de la temperatura durante los 3 últimos días, y para todos los puntos en los que se situaron sondas de medición.

La denominación de este ensayo y de los gráficos correspondientes ha sido:

EXPHX = (EXPH21)

DENOMINACION GRAFICO	TEMPERATURA REPRESENTADA
Z20CHAN	TAMB, TCABLE, TSONDA 1 y 3, TSONDA 2
Z16CHAN	TAMB, TCABLE, TSONDA 4 y 6, TSONDA 5
Z12CHAN	TAMB, TCABLE, TSONDA 7 y 9, TSONDA 8
Z8CHAN	TAMB, TCABLE, TSONDA 10 y 12, TSONDA 11
ZOCHAN	TAMB, TCABLE, TSONDA 13 y 15, TSONDA 14
CHANO	TAMB
CAHNX	TCABLE

CUARTA PARTE

CONCLUSIONES

CAPITULO 10

VALIDACION EXPERIMENTAL

Capítulo 10

VALIDACION EXPERIMENTAL

10.1. VALIDACION EXPERIMENTAL DEL MODELO

Los resultados teóricos obtenidos mediante la modelización particularizada a las condiciones de cada uno de los ensayos, se adecuan a los resultados obtenidos experimentalmente, lo cual permite validar el modelo teórico propuesto y las conclusiones referentes a la influencia en la distribución de la temperatura de las variables dosificación del hormigón y profundidad de embebido del elemento calefactor.

10.2 INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DEL ENSAYO

10.2.1 CONDICIONES DEL ENSAYO

El aparato medidor utilizado en los ensayos, tal como se ha indicado en el apartado 8.4.5 dispone de 16 canales para registro de datos, los cuales han correspondido a los 16 puntos de medida previstos en cada ensayo. Por ello, las 9 losas no se han podido ensayar simultáneamente.

Esto ha dado lugar a que las condiciones de la prueba experimental hayan sido diferentes en cada una de las losas ensayadas. Aparece por tanto una variable adicional con influencia en la distribución de temperaturas y que inicialmente dificulta el análisis de la influencia de las variables dosificación y profundidad de embebido.

Por ello, paralelamente a una modelización teórica del problema en la que partiendo de las mismas condiciones iniciales solo se modifica las variable dosificación y profundidad de embebido, se ha realizado una modelización particularizada de cada uno de los ensayos, tomando como condiciones iniciales del modelo las experimentales de cada ensayo.

Estas condiciones iniciales hacen referencia no solo a la temperatura inicial de partida y a la evolución de la temperatura ambiente durante el periodo de carga y descarga, sino también a las dimensiones, profundidades de embebido y dosificaciones reales de cada prueba experimental.

Esto ha permitido, comparando la evolución teórica de la temperatura con la evolución experimental, validar el modelo teórico propuesto y analizar en

cada caso como influyen las condiciones iniciales y ambientales en la distribución de temperatura.

Las condiciones del ensayo referentes a las temperaturas iniciales de partida y a la evolución de la temperatura ambiente en cada ensayo, están reflejadas en el ANEJO II.

Las condiciones de cada uno de los ensayos referentes a la situación de las sondas y profundidades de embebido reales, son las siguientes:

LOSA H11

Posición malla inferior	a 4,5 cm de la superficie inferior
Posición malla intermedia	a 10 cm de la superficie inferior
Posición malla superior	a 13 cm de la superficie inferior
Cable calefactor en malla inferior	p1 = 15,5 cm

LOSA H12

Posición malla inferior	a 4,5 cm de la superficie inferior
Posición malla intermedia	a 10 cm de la superficie inferior
Posición malla superior	a 13 cm de la superficie inferior
Cable calefactor en malla intermedia	p2 = 10 cm

LOSA H13

Posición malla inferior	a 4,5 cm de la superficie inferior
Posición malla intermedia	a 10 cm de la superficie inferior
Posición malla superior	a 13 cm de la superficie inferior
Cable calefactor en malla superior	p3 = 7 cm

LOSA H21

Posición malla inferior	a 4,5 cm de la superficie inferior
Posición malla intermedia	a 8 cm de la superficie inferior
Posición malla superior	a 13,5 cm de la superficie inferior
Cable calefactor en malla inferior	p1 = 15,5 cm

LOSA H22

Posición malla inferior	a 4,5 cm de la superficie inferior
Posición malla intermedia	a 8,5 cm de la superficie inferior
Posición malla superior	a 13 cm de la superficie inferior

Cable calefactor en malla intermedia $p_2 = 11,5$ cm

LOSA H23

Posición malla inferior a 4,5 cm de la superficie inferior

Posición malla intermedia a 9 cm de la superficie inferior

Posición malla superior a 12,5 cm de la superficie inferior

Cable calefactor en malla superior $p_3 = 7,5$ cm

LOSA H31

Posición malla inferior a 4,5 cm de la superficie inferior

Posición malla intermedia a 9 cm de la superficie inferior

Posición malla superior a 13,5 cm de la superficie inferior

Cable calefactor en malla inferior $p_1 = 15,5$ cm

LOSA H32

Posición malla inferior a 4,5 cm de la superficie inferior

Posición malla intermedia a 9 cm de la superficie inferior

Posición malla superior a 13 cm de la superficie inferior

Cable calefactor en malla intermedia $p_2 = 11$ cm

LOSA H33

Posición malla inferior a 4,5 cm de la superficie inferior

Posición malla intermedia a 9 cm de la superficie inferior

Posición malla superior a 13,5 cm de la superficie inferior

Cable calefactor en malla superior $p_3 = 6,5$ cm

10.2.2 INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DEL ENSAYO EN EL ANALISIS DE LA PRIMERA VARIABLE. DOSIFICACION.

1er ANALISIS

COMPOSICION FIJA C1
 PROFUNDIDAD VARIABLE P1, P2, P3

LOSAS H11-H12-H13

En el análisis experimental se observa que durante el periodo de carga:

- La temperatura ambiente media del ensayo H11 (13,5 °C) es mayor que la del ensayo H12 (11,6°C) y mayor que la del ensayo H13 (9,6 °C)
- Las pérdidas de calor del ensayo H13 han sido mayores que las del ensayo H11 y mayores que las del ensayo H12
- La temperatura inicial del ensayo H12 es mayor que la del ensayo H11 y mayor que la del ensayo H13 en las posiciones Z20, Z16, Z12 y Z8. Y en la posición Z0, la temperatura inicial del ensayo H11 es mayor que la del ensayo H13 y mayor que la del ensayo H12

Esto da lugar a ;

EN EL INTERIOR DE LA LOSA

La diferencia entre la temperatura al final de la carga de los ensayos H11 y H12 no sea tan acusada como correspondería al hecho de que la profundidad de embebido del cable es mayor en la losa H11, debido a que la temperatura inicial del ensayo H11 es menor que la del ensayo H12 y las pérdidas en la losa H11 mayores que las de H12.

Por el contrario en el ensayo H13 la diferencia de la temperatura al final del periodo de carga con respecto a los ensayos H11 y H12 es más acusada de lo que correspondería a una disminución de la profundidad de embebido, debido a que se suma el efecto de que en H13 la temperatura inicial es menor y las pérdidas de calor mayores que en las losas H11 y H12.

EN LAS CAPAS CERCANAS A LA SUPERFICIE SUPERIOR

En las capas cercanas a la superficie del suelo, donde el proceso se invierte; durante la carga a mayor profundidad de embebido corresponde un crecimiento mas lento de la temperatura, ocurre que este crecimiento en el ensayo H13 es más lento de lo que debiera debido a que su temperatura inicial es menor, sus pérdidas de calor mayores y su temperatura ambiente menor que en los ensayos H11 y H12.

2º ANALISIS**COMPOSICION FIJA C2****LOSAS H21-H22-H23****PROFUNDIDAD VARIABLE P1, P2, P3**

En el análisis experimental se observa que durante el periodo de carga:

- La temperatura ambiente media del ensayo H21 (10 °C) es mayor que la del ensayo H22 (9,4°C) y mayor que la del ensayo H23 (9 °C)
- Las pérdidas de calor del ensayo H22 han sido mayores que las del ensayo H21 y mayores que las del ensayo H23
- La temperatura inicial del ensayo H21 es mayor que la del ensayo H23 y mayor que la del ensayo H22

Esto da lugar a ;

EN EL INTERIOR DE LA LOSA

La diferencia entre la temperatura al final de la carga en el ensayo H22 es prácticamente igual a la de H23 cuando debería ser mayor por estar el cable a mayor profundidad dentro de la losa. Esto es debido a que la temperatura inicial del ensayo H22 es menor que la del ensayo H23 y las pérdidas en la losa H22 mayores que las de H23.

EN LAS CAPAS CERCANAS A LA SUPERFICIE SUPERIOR

En las capas cercanas a la superficie del suelo, donde el crecimiento de la temperatura debe ser menor a medida que la profundidad de embebido es mayor, ocurre que este efecto es menos acusado debido a que se contrapone el hecho de que la temperatura ambiente en el ensayo H23 es menor que la del ensayo H22 y esta a su vez menor que la del ensayo H21, siendo además la temperatura inicial en H23 menor que en H21.

3er ANALISIS

**COMPOSICION FIJA C3
PROFUNDIDAD VARIABLE P1, P2, P3**

LOSAS H31-H32-H33

En el análisis experimental se observa que durante el periodo de carga:

- La temperatura ambiente media del ensayo H33 (14,5 °C) es mayor que la del ensayo H32 (13,8°C) y mayor que la del ensayo H31 (9 °C)
- Las perdidas de calor del ensayo H31 han sido mayores que las del ensayo H32 y estas últimas prácticamente iguales que las del ensayo H33
- La temperatura inicial del ensayo H33 es mayor que la del ensayo H32 y mayor que la del ensayo H31

Esto da lugar a ;

EN EL INTERIOR DE LA LOSA

La velocidad de crecimiento de la temperatura durante la carga en la losa H31 se ve reducida por el hecho de que la temperatura inicial en éste ensayo es menor que la de las otras dos losas ensayadas, siendo además las pérdidas en H31 mayores que las producidas en H32 y H33.

EN LAS CAPAS CERCANAS A LA SUPERFICIE SUPERIOR

En la superficie superior la velocidad de crecimiento de la temperatura durante la carga en el ensayo H31 es menor que en las pruebas H32 y H33 ya que la profundidad a la que se encuentra el cable calefactor es mayor. Esta velocidad de crecimiento se ve todavía más ralentizada por el hecho de que la temperatura ambiente de H31 es menor que las de H33 y H32, produciéndose por tanto una diferencia más acusada entre las temperaturas de las tres losas al final de la carga.

10.2.3 INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DEL ENSAYO EN EL ANALISIS DE LA SEGUNDA VARIABLE. PROFUNDIDAD DE EMBEBIDO.

1er ANALISIS

PROFUNDIDAD FIJA P1

LOSAS H11-H21-H31

COMPOSICION VARIABLE C1, C2, C3

En el análisis experimental se observa que durante el periodo de carga:

- La temperatura ambiente media del ensayo H11 (13,5 °C) es mayor que la del ensayo H21 (10°C) y mayor que la del ensayo H31 (9°C)
- Las perdidas de calor del ensayo H12 han sido mayores que las del ensayo H11
- La temperatura inicial del ensayo H11 es mayor que la del ensayo H21 y mayor que la del ensayo H31.

Esto da lugar a ;

EN EL INTERIOR DE LA LOSA

En las capas más profundas de la losa, donde la velocidad de crecimiento de la temperatura durante el periodo de carga debe ser mayor a medida que disminuye la conductividad, ocurre que efectivamente la velocidad de crecimiento de la temperatura en H31 es superior a el de las losas H11 y H21, pero la temperatura al final de la carga se ve reducida en H31 debido a que la temperatura inicial de partida en este ensayo es menor que en los otros dos.

EN LAS CAPAS CERCANAS A LA SUPERFICIE SUPERIOR

En las capas más superficiales, la velocidad de crecimiento de la temperatura durante la carga debe ser menor a medida que disminuye la conductividad. Estas velocidades de crecimiento se ven afectadas por el hecho de que la temperatura inicial del ensayo H21 es menor que la del ensayo H11, lo cual provoca que la temperatura al final de la carga en H21 se vea reducida. Por otra parte, la temperatura ambiente durante la prueba H21 es menor que durante el ensayo H11 lo cual se traduce en una reducción del crecimiento de la temperatura de H21 .

2º ANALISIS

**PROFUNDIDAD FIJA P2
COMPOSICION VARIABLE C1, C2, C3**

LOSAS H12-H22-H32

En el análisis experimental se observa que durante el periodo de carga:

- La temperatura ambiente media del ensayo H32 (13,8 °C) es mayor que la del ensayo H12 (11,6°C) y mayor que la del ensayo H22 (9,4°C)
- Las pérdidas de calor del ensayo H22 han sido mayores que las del ensayo H12
- La temperatura inicial del ensayo H12 es mayor que la del ensayo H32 y mayor que la del ensayo H22.

Esto da lugar a ;

EN EL INTERIOR DE LA LOSA

En las capas más profundas de la losa, donde la velocidad de crecimiento de la temperatura durante el periodo de carga debe ser mayor a medida que disminuye la conductividad, ocurre que efectivamente la velocidad de crecimiento de la temperatura en H32 es superior a el de la losa H12 y éste superior al de H22, pero el valor de la temperatura al final de la carga en H32 se ve reducido debido a que la temperatura inicial de H32 es inferior a la de H12.

EN LAS CAPAS CERCANAS A LA SUPERFICIE SUPERIOR

En las capas más superficiales, deberá ocurrir que la velocidad de crecimiento durante la carga de la temperatura de H22 sea superior a la de H12 y ésta superior a la de H32.

Debido a que la temperatura ambiente del ensayo H22 es inferior a la de los ensayos H12 y H32, se ve reducida su velocidad de crecimiento. Por otra parte, la temperatura inicial de H22 es menor que la de H12 por lo que la temperatura al final de la carga en H22 se ve considerablemente reducida respecto a la de H12 aunque la velocidad de crecimiento sea superior en H22.

3er ANALISIS

**PROFUNDIDAD FIJA P3
COMPOSICION VARIABLE C1, C2, C3**

LOSAS H13-H23-H33

En el análisis experimental se observa que durante el periodo de carga:

- La temperatura ambiente media del ensayo H33 (14,5 °C) es mayor que la del ensayo H13 (9,6°C) y mayor que la del ensayo H23 (9°C)
- Las pérdidas de calor del ensayo H13 han sido mayores que las del ensayo H33 y éstas mayores que las de H23
- La temperatura inicial del ensayo H33 es mayor que la del ensayo H23 y mayor que la del ensayo H13 en las posiciones Z20, Z16, Z0.

En las posiciones Z8 y Z0, la temperatura inicial del ensayo H33 es mayor que la de H13 y ésta mayor que la de H23

Esto da lugar a ;

EN EL INTERIOR DE LA LOSA

En las capas más profundas de la losa, la velocidad de crecimiento de la temperatura durante el periodo de carga debe ser mayor a medida que disminuye la conductividad. El crecimiento de la temperatura en H33 es claramente superior al de las losas H13 y H23. La temperatura al final de la carga en H13 es inferior a la de H23 debido a que en H13 la temperatura inicial de partida es menor y las pérdidas mayores. Este efecto es más acusado a medida que ascendemos a capas superiores.

EN LAS CAPAS CERCANAS A LA SUPERFICIE SUPERIOR

En las superficie superior el crecimiento de la temperatura y su valor al final de la carga en H23 se ve reducido debido a que su temperatura ambiente y su temperatura inicial es menor que en H13 y H33.

Por otra parte, la velocidad de crecimiento y la temperatura al final de la carga en H33 aumentan por ser su temperatura ambiente y su temperatura inicial mayores que en los otros dos ensayos.

10.3 DETERMINACION DE LA COMPOSICION OPTIMA DE LA LOSA RADIANTE

DOSIFICACIONES CONSIDERADAS

DOSIFICACION	CONDUCTIVIDAD TERMICA (W/m ² C)	CALOR ESPECIFICO (W.h/kg ^o)	DENSIDAD (Kg/m ³)
C1	2,26	0,23	2400
C2	3,60	0,23	2500
C3	0,80	0,23	1300

PROFUNDIDADES CONSIDERADAS

PROFUNDIDADES (cm)	
P1	15,5
P2	11
P3	7

El valor óptimo de los parámetros analizados en el estudio comparativo de las diferentes composiciones de la losa de hormigón sería el reflejado en la siguiente tabla:

PARAMETROS	tc	td	%CN	TSmáx	TRmáx	OC
VALOR OPTIMO	8 h	16 h	100	< 32 ^o c	< 36 ^o c	< 2 ^o c

siendo:

tc = TIEMPO DE CARGA

td = TIEMPO DE DESCARGA

CN = % CONSUMO NOCTURNO

TSmáx = TEMPERATURA MAXIMA SUPERFICIE DEL SUELO

TRmáx = TEMPERATURA MAXIMA EN PLANO DE LAS RESISTENCIAS

OC = OSCILACION TÉRMICA DE LA TEMPERATURA AMBIENTE

Analizando los valores obtenidos en los ensayos SE OBSERVA que:

Analizando los valores obtenidos en los ensayos SE OBSERVA que:

- En los hormigones con CONDUCTIVIDAD TERMICA (&) MAS BAJA (C1 y C3) la TEMPERATURA EN EL PLANO DE LAS RESISTENCIAS es MAYOR, llegando incluso en el hormigón C3 a superar el valor máximo admisible de 36°C, por lo que deben descartarse dosificaciones de hormigón con conductividades inferiores a la C3.

Efectivamente se comprueba que al disminuir la conductividad térmica del hormigón, disminuye su difusividad lo cual se traduce en un aumento de la temperatura en el plano de las resistencias, esto a su vez da lugar a que aumenten las pérdidas a través del suelo al existir un mayor gradiente de temperatura entre la resistencia y la superficie del suelo.

Este fenómeno se produce también al colocar las resistencias más juntas entre si (menor paso), ya que aumenta la potencia disipada por las resistencias produciéndose un mayor gradiente de temperatura entre la resistencia y el suelo.

Si se representa graficamente las APORTACIONES Y PERDIDAS A TRAVES DEL SUELO de los 3 hormigones, se observa que cuando disminuye la conductividad térmica aumentan las pérdidas a través del suelo.

- Por otra parte se observa que el hormigón con CONDUCTIVIDAD TERMICA MAS ALTA (C2), además de tener una TEMPERATURA EN EL PLANO DE LAS RESISTENCIAS MENOR también tiene un TIEMPO DE DESCARGA MAYOR, lo cual se traduce en un AUMENTO DEL % DE CONSUMO NOCTURNO (MENOR CONSUMO DIURNO).

La COMPOSICION DE HORMIGON IDEAL desde el PUNTO DE VISTA DE EXPLOTACION será la C2 ya que aprovechará al máximo la TARIFA NOCTURNA (TIEMPO DE CARGA MENOR), y tiene una TEMPERATURA EN EL PLANO DE LAS RESISTENCIAS MENOR, lo que repercute en un MENOR CONSUMO, debido a que DISMINUYEN LAS PERDIDAS A TRAVES DEL SUELO.

- Cuanto MAYOR es el CALOR ESPECIFICO, MENOR es la TEMPERATURA MAXIMA que se alcanza en la SUPERFICIE DEL SUELO, y esto repercute en una MAYOR OSCILACION TERMICA DE LA TEMPERATURA

El hormigón C1, a pesar de tener un MENOR CONSUMO NOCTURNO (mayor consumo diurno) respecto a C2, tiene una OSCILACIÓN TERMICA ligeramente INFERIOR, lo que se traduce en un MAYOR CONFORT debido a la mayor constancia de la temperatura.

- En el hormigón C1 el crecimiento de la temperatura desde la superficie del suelo hasta el plano de las resistencias es mucho más rápida que en el hormigón C2 (ver gráficos de evolución de la temperatura en la superficie del suelo y en el plano de las resistencias)
- Se comprueba que TERMICAMENTE Y ECONOMICAMENTE, desde el

punto de vista de EXPLOTACION DEL SISTEMA DE CALEFACCION, el COMPORTAMIENTO OPTIMO lo tiene el C2, pero el hormigón C1 cuenta a su favor con una TEMPERATURA AMBIENTE ligeramente MAS ESTABLE a lo largo del dia y su DENSIDAD ES MENOR.

La ELECCION de COMPOSICION OPTIMA que se realiza teniendo en cuenta estos resultados es la DEL HORMIGON C2.

DOSIFICACION OPTIMA C2

10.4 DETERMINACION DE LA POSICION OPTIMA DEL CABLE CALEFACTOR

Analizando los valores obtenidos en los ensayos para una DOSIFICACION OPTIMA C2 y para las DIFERENTES POSICIONES DE LOS CABLES CALEFACTORES, SE OBSERVA que:

- A medida que AUMENTA LA PROFUNDIDAD DE EMBEBIDO DEL CABLE CALEFACTOR dentro de la losa de hormigón;
 - AUMENTA EL PERIODO DE CARGA, ya que al existir una mayor masa con capacidad calorífica elevada que hay que calentar y que no cederá calor al ambiente (la temperatura del cual controla la carga de las resistencias) hasta que eleva su propia temperatura previamente.
Lo cual es un INCONVENIENTE puesto que DISMINUIRA EL % DE CONSUMO NOCTURNO y AUMENTARA EL % DE CONSUMO DIURNO.
(Ver gráficos de los periodos de calefacción para las tres profundidades de embebido consideradas)
 - DISMINUYE EL RIZADO DE LA TEMPERATURA AMBIENTE, puesto que cuanto mayor sea la profundidad de las resistencias dentro de la losa, mayor es el calor acumulado en esta, y por tanto cuando se desconectan, el calor acumulado se disipará al ambiente lentamente, con lo cual el descenso de la temperatura ambiente es menor que en el caso de que el suelo no tenga energía que ceder al ambiente.
Esto supone una VENTAJA puesto DISMINUYE LA OSCILACION TERMICA DE LA TEMPERATURA AMBIENTE, traduciendo en un MAYOR CONFORT para los ocupantes.

De las 3 posiciones ensayadas y con los resultados obtenidos se deduce que LA POSICION OPTIMA DEL CABLE CALEFACTOR dentro de la losa de hormigón es la P1 (15,5 cm), puesto que aunque EL PERIODO DE CARGA es MAYOR que en los otros casos, NO SE SUPERAN LAS 8 HORAS NOCTURNAS y además proporciona una OSCILACION TERMICA DE LA TEMPERATURA AMBIENTE que NO SOBREPASA los 2°C.

POSICION OPTIMA P1

Realizando un análisis de la evolución de la temperaturas:

- en el EXTERIOR
- en el AMBIENTE
- en la SUPERFICIE DEL SUELO
- en el PLANO DE LAS RESISTENCIAS
- en el TERRENO

Se observa que las temperaturas disminuyen más rápidamente hacia la superficie del suelo que en sentido contrario, esto es lógico puesto que al estar la parte inferior aislada termicamente (protegida por un aislante), esto hace que al disminuir las pérdidas se provoque una acumulación de calor y, por tanto, un aumento de la temperatura. (Ver gráficos de evolución de la temperatura en el interior de la losa y del terreno)

