



MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL
INSTITUTO ANTARTICO ECUATORIANO
GUAYAQUIL

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN
2009-2010

ESTUDIO DE LA EFICIENCIA SOBRE TRANSFERENCIA CALÓRICA DE
LOS MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL
MÓDULO DE LABORATORIOS EN LA ESTACIÓN ECUATORIANA
“PEDRO VICENTE MALDONADO” EN LA ANTÁRTIDA.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

DR. ING. WALTER VICENTE MERA ORTIZ
Decano Facultad de Ingeniería
EGRESADO ANDRES PABLO VASCONEZ GUTIERREZ
Carrera de Ingeniería Civil

6 DE FEBRERO DE 2010

DESCRIPCION DEL INFORME DE CAMPO

1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

La Estación Científica Ecuatoriana "Pedro Vicente Maldonado" (PEVIMA), se constituye desde 1990 en la principal plataforma permanente de investigación utilizada por Ecuador en la Antártida, cuando se ejecutan expediciones con la participación de una Unidad de Investigación marina como es el "Orión", los proyectos de investigación se incrementan.

Se encuentra ubicada en la Punta Fort William de la Isla Geenwich, en la siguiente posición geográfica latitud 62 26 57, 6 sur y longitud 59 44 32, 1 oeste.

La Estación PEVIMA, fue construida durante la II Expedición Ecuatoriana el primer módulo y durante la VII Expedición Ecuatoriana a la Antártida el segundo y tercer módulos, actualmente cubre una superficie de 480 metros cuadrados.

En el año 1998, durante la ejecución de la VII Expedición Ecuatoriana a la Antártida se construyo la segunda etapa de la Estación Científica "Pedro Vicente Maldonado", que considera el modulo de servicios y el modulo de generadores.

La distribución de los módulos de la Estación es la siguiente:

Módulo #1 de habitabilidad.- Tiene 8 camarotes dobles mas una batería de baños y servicios higiénicos. Uno de los camarotes es ocupado por mujeres y tiene incluido un baño y servicio higiénico.

Módulo # 2 de servicios.- Contempla sala, comedor, cocina, oficina del jefe de Expedición, enfermería, lavandería, laboratorio de química, laboratorio de biología y sala de radio.

Módulo # 3 de generadores.- Que alberga dos generadores, uno de emergencia, planta de tratamiento de aguas, talleres y sirve como depósito de agua, diesel.

En la expedición del presente año se va a construir el Módulo # 4 de 200 m² que será destinado exclusivamente a laboratorios científicos, esto permitirá a los investigadores tener un espacio adecuado para desarrollar sus actividades, además al eliminar los laboratorios del módulo de servicios, se pueden incrementar la habitabilidad en 6 cupos mas 2 en el otro módulo, que serán ocupados por investigadores, lo que permitirá tener en una expedición un total de 25 cupos de los cuales 13 serán destinados exclusivamente para investigadores.

En expediciones anteriores no se ha realizado un estudio sobre el comportamiento de los materiales utilizados en la construcción de los módulos de la Estación, de las características que permitan mejorar las condiciones de habitabilidad, ahorro de energía y los efectos ecológicos que producen su mantenimiento.

Se conoce que el color con el que está recubierto un material es determinante en el proceso de transmisión de calor hacia el interior. Esto puede traducirse en ahorro de energía e incremento del confort de los usuarios de la Estación.

Es posible estudiar el comportamiento térmico del sistema mediante la instalación en puntos exteriores e interiores de termocuplas que permitan adquirir fácilmente datos de la temperatura en tiempo real, así como hacer observaciones del proceso de oxidación de las estructuras existentes para prevenirlas y de analizar las características de los agregados para la elaboración de elementos de hormigón.

2. OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO

Garantizar las mejores condiciones de habitabilidad para los usuarios y los experimentos que se realicen en los laboratorios, determinando el comportamiento, durabilidad y eficiencia de los materiales en bajas temperaturas, utilizados en la construcción de la Estación Ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PROYECTO

- Mejorar la habitabilidad y los resultados de los experimentos realizados en los laboratorios, determinando el comportamiento térmico de los paneles en función del color.
- Reducir los costos de mantenimiento, determinando el grado de corrosión de los materiales y los sitios predominantes.
- La resistencia del Hormigón fundido a bajas temperaturas.
- Cumplir con las normas de construcción en la Antártida, especialmente relacionadas con la protección del ambiente antártico.
- Utilizar materiales adecuados para clima antártico que mantengan el calor en los interiores.
- Establecer métodos alternativos de construcción.
- Aplicar tecnologías adecuadas eficientes relacionadas con el uso del sistema de calefacción utilizado
- Identificar el área adecuada para la construcción.
- Considerar la Estación para futuras investigaciones y como refugio en caso de alguna emergencia.

4. HIPÓTESIS DEL PROYECTO

El sistema y los materiales utilizados para la construcción del Modulo de Laboratorios de la Estación Ecuatoriana “Pedro Vicente Maldonado”, ayudará mantener un ambiente adecuado interior y en consecuencia, alcanzar los resultados propuestos en las investigaciones que se propongan en la Antártida en beneficio del País.

Al respecto se ha considerado los siguientes detalles:

- Los paneles de color negro absorben mayor cantidad de calor y así también lo transmiten al interior.
- La condensación de la humedad al interior de la Estación, provocada por los usuarios, ocasiona corrosión localizada preferencialmente.
- Los materiales cementíceos pre-ensacados se pueden utilizar satisfactoriamente con aditivos, para la fabricación de hormigón.
- Es factible utilizar los materiales del medio para el diseño de mezclas básicas de hormigón.
- Determinando la resistencia de los elementos estructurales básicos de la estación se puede, mediante un estudio y diseño estructural, ejecutar construcción en dos niveles lo que resulta más eficiente desde el punto de vista térmico y de habitabilidad.

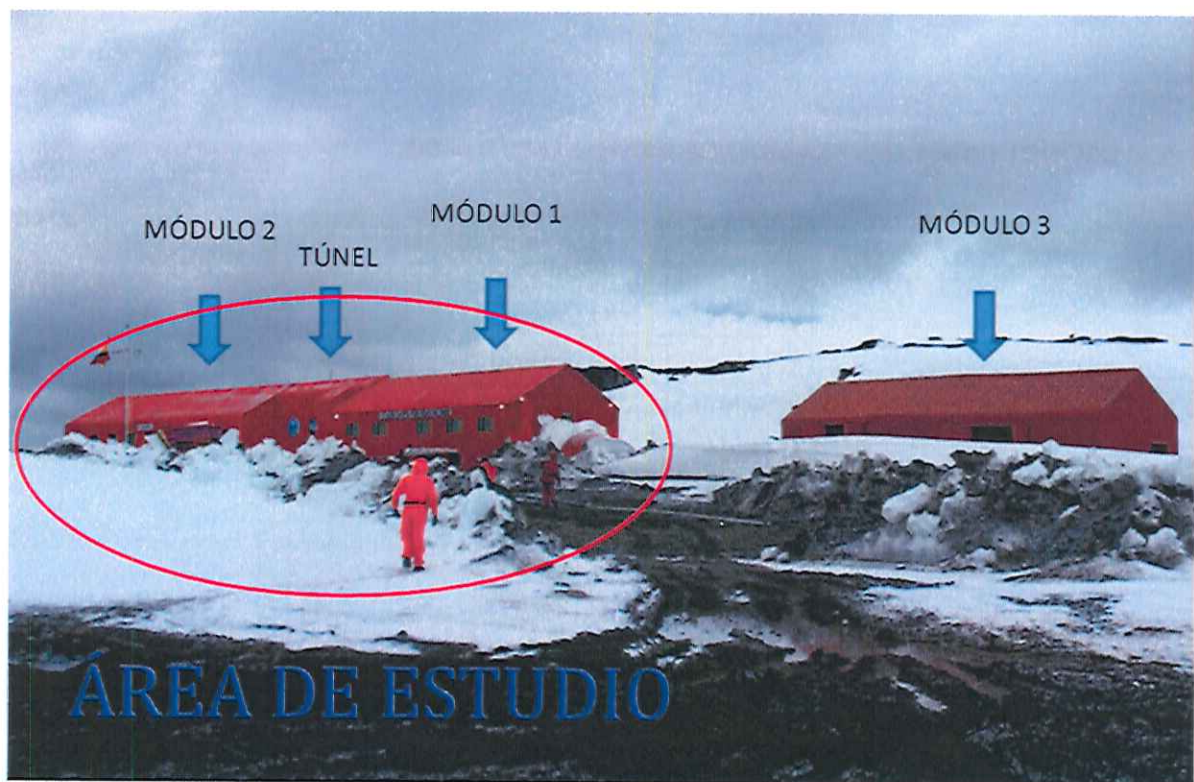
5. ÁREA DE ESTUDIO

El área estudio del proyecto son las instalaciones de la Estación “Pedro Vicente Maldonado”, ubicada en la Punta Fort William de la Isla Greenwich, en la siguiente posición geográfica latitud 62°26' 57,6" Sur y longitud 59°44'32,1" Oeste.

El proyecto está dividido en 4 diferentes ramas de estudio que se mencionan a continuación con sus respectivos lugares de estudio:

1. ESTUDIO TÉRMICO: Módulos 1, 2 y 4
2. ESTUDIO DE CORROSIÓN: Módulos 1 y 2
3. ESTUDIO DE HORMIGÓN: Módulos 1, 2, 3 y 4
4. ESTUDIO DE AGREGADOS: Toma de Muestra de Arena en Punta Ambato en la coordenada Geográfica 62°26'30.3" Sur y 59°47'16.5" Altitud: 1.10m. Toma de Muestra de Arena y Piedra en Caleta Jambelí .

Para referencia de los lugares estudiados, se tienen los siguientes mapas y fotografías de ubicación:



6. CRONOGRAMA DEL TRABAJO DE CAMPO EFECTUADO

[illegible]

7. DESCRIPCION DEL TRABAJO DE CAMPO / METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE LOS DATOS

7.1 ESTUDIO TÉRMICO

Se realizó el monitoreo diario de las temperaturas tanto exterior como interior en 10 estaciones (puntos de medición) de la Estación Pedro Vicente Maldonado. El período de monitoreo fue de 12 días, entre el 29 de diciembre de 2009 al 11 de enero de 2010.

El instrumento de medición de las temperaturas fue la *termocupla tipo K*.

ARMADO DE CONEXIONES DE TERMOCUPLA Y FUNCIONAMIENTO

La *termocupla tipo K* es un cable de dos alambres de diferente composición química (Aluminio y CH) que no están en contacto entre sí. Si se juntan tales alambres, en su punto de conexión es posible determinar la temperatura. La conexión puede asegurarse mediante el enroscamiento de los dos alambres o por medio de soldadura de cautín.

Para poder realizar la lectura de la temperatura, se corta un segmento de longitud necesaria de termocupla y en el extremo donde se quiera realizar la medición (extremo de medición), se unen sus dos alambres. En el otro extremo (extremo de enchufe), los cables se atornillan a los *Miniconectores Tipo K* del siguiente modo: Cable amarillo con polo positivo y cable rojo con polo negativo.

Es el *Miniconector Tipo K*, el que se conecta finalmente al *Termómetro Electrónico de Termocupla Tipo K*, para poder obtener la lectura de la temperatura en el extremo de medición de la termocupla. La lectura, por tanto, corresponde a la temperatura en 1 punto.

Entonces, para tomar lectura en el exterior e interior del panel, se instalaron 2 segmentos de termocupla más 2 miniconectores instalados permanentemente en los sitios seleccionados.

El monitoreo diario consistió en la toma de lecturas por medio del Termómetro Electrónico en todos los sitios seleccionados cada 2 horas, en los siguientes horarios: 08h00, 10h00, 12h00, 14h00, 16h00, 18h00 y 20h00. En promedio se tomaron de 5 a 7 lecturas en todas las estaciones determinadas.

DETERMINACIÓN DE LOS SITIOS DE MEDICIÓN

Para determinar los lugares a realizar los monitoreos de temperatura, se realizó el recorrido de los Módulos 1 ,2 y del Túnel. Se buscó en los interiores de los módulos, sitios donde haya la menor influencia posible en la temperatura de factores externos tales como la calefacción y filtraciones de aire.

Sin embargo, es importante notar que resultaron escasos ese tipo de lugares, así que se optó por realizar observaciones sobre estos agentes externos al momento del monitoreo.

Los sitios seleccionados fueron los siguientes:

ESTACIÓN	UBICACIÓN	MÓDULO
A	Camarote 6	1
B	Camarote 5	1
C	Baño General	1
D	Camarote 4	1
E	Túnel	
F	Comedor - Sala	2
G	Sala de Radio	2
H	Camarote 7	2
I	Lavandería	2
J	Enfermería	2

La ubicación de las estaciones de medición de temperatura se encuentra en el Anexo 7.1.

DEFINICIÓN DE LOS AGENTES EXTERNOS

En el presente estudio se consideran agentes externos, a todas las variables que pudieren influir en el registro de temperatura exterior e interior.

El factor o agente externo que se ha identificado que afecta la medición de la temperatura exterior es la radiación solar. Estos rayos sobrecalientan las planchas de acero que cubren la estación y provocan en la medición una temperatura exterior más elevada, al punto de ser mayor que la temperatura interior.

Los factores o agentes externos que afectan las mediciones de la temperatura interior son las filtraciones de aire, el uso de calefacción y la condición del confinamiento del aire (es decir, si se mantiene abierta o cerrada la puerta de la habitación). Se resalta que la estación no cuenta con un sistema central de calefacción, sino que se emplean calefactores individuales en cada habitación o camarote y en ocasiones más de uno.

Combinando todos los factores mencionados, se obtuvieron 12 condiciones distintas en que se puede encontrar una estación al momento de la medición de la temperatura tanto interna como externa, y son las siguientes:

CONDICIÓN	DESCRIPCIÓN
A0N	Puerta Abierta, Sin Calefactores, Sin rayos solares
A1N	Puerta Abierta, 1 Calefactor, Sin rayos solares
A2N	Puerta Abierta, 2 Calefactores, Sin rayos solares
A0S	Puerta Abierta, Sin Calefactores, Influencia de rayos solares
A1S	Puerta Abierta, 1 Calefactor, Influencia de rayos solares
A2S	Puerta Abierta, 2 Calefactores, Influencia de rayos solares
C0N	Puerta Cerrada, Sin Calefactores, Sin rayos solares
C1N	Puerta Cerrada, 1 Calefactor, Sin rayos solares
C2N	Puerta Cerrada, 2 Calefactores, Sin rayos solares
C0S	Puerta Cerrada, Sin Calefactores, Influencia de rayos solares
C1S	Puerta Cerrada, 1 Calefactor, Influencia de rayos solares
C2S	Puerta Cerrada, 2 Calefactores, Influencia de rayos solares

De estas 12 condiciones, se consideran importantes para la estación, aquellas donde no hay influencia de rayos solares, debido a que a más de ser las condiciones de temperatura exterior más bajas, se trata de condiciones permanentes durante el invierno austral.

Por tanto, al estudio se enfoca de manera principal en las condiciones A0N, A1N, A2N, C0N, C1N y C2N, que se pueden resumir en aislamiento térmico sin calefacción, aislamiento térmico con 1 calefactor y aislamiento térmico con 2 calefactores, sin tomar en consideraciones el estado de la puerta (abierta o cerrada).

En resumen se registraron las siguientes cantidades de lecturas:

Número de Lecturas Realizadas	680
Lecturas Módulo 1	272
Lecturas Módulo 2	340
Lecturas Túnel	68

7.2 ESTUDIO CORROSIÓN

Se realizó la observación visual y toma de fotografías de los Módulos 1 y 2, previo al pintado de las mismas.

Se encontró que los paneles que recubren lateralmente y la cubierta de la estación son planchas de acero galvanizadas de dimensiones originales 0.4 mm.

Se intentó medir el espesor de las planchas con el Calibrador Vernier, pero después de retirar la pintura y dejar sola la plancha las mediciones daban resultados superiores a 0.4mm debido a ligeras curvaturas que las mismas presentaban.

Por tanto, se prefirió solamente realizar inspecciones visuales e identificar las zonas que presentaban corrosión evidente.

Se inspeccionaron además los perfiles de acero que forman parte de la cimentación y, en general, se encuentran en buenas condiciones. Presentan solamente zonas donde está desprendida un poco la pintura.

Un dato interesante es que se encontraron 30 Ánodos de sacrificio de Zinc, que se colocaron hace aproximadamente 11 años y no se han consumido en absoluto. Como información adicional, se observó que estos ánodos no están conectados entre sí y esto impide el desempeño de su función.

7.3 ESTUDIO HORMIGÓN

El estudio se divide en tres partes:

1. PRUEBAS DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN DE LA CIMENTACIÓN
2. ENSAYOS DEL TIEMPO DEL FRAGUADO
3. TOMA DE MUESTRAS DE HORMIGÓN FRESCO

La metodología de cada una de las partes del estudio se detalla a continuación:

7.3.1 PRUEBAS DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN

Para estimar la resistencia a la compresión simple del hormigón de la cimentación de los módulos 1, 2, 3 y 4 se realizarán pruebas no destructivas de las estructuras, mediante la utilización de un aparato llamado *esclerómetro*.

En primer lugar, se realizó el levantamiento de la cimentación de cada módulo para conocer los diferentes tipos de plintos usados de la cimentación y ubicar los puntos de muestreo.

TIPOS DE CIMENTACIÓN Y PUNTOS DE MUESTREO

Se encontraron los siguientes tipos de cimentación:

- Cilíndrica: Diámetro 50 cm, Altura 30 cm
- Paralelepípedo: Base 50x50 cm, Altura 30 cm
- Pirámide o Cono Truncado: Base Menor 20x20cm, Base Mayor 30x30cm, Altura 25 cm.
- Dado + Paralelepípedo: Dado 40x40cm y Altura 30cm, Paralelepípedo 80x80cm y Altura 25cm

Los elementos de muestreo fueron los de la tabla presentada a continuación:

ELEMENTO	FORMA	MÓDULO	EDAD
Plinto No. 1	Cilindro	1	20 años
Plinto No. 2	Cilindro	1	20 años
Plinto No. 3	Cilindro	1	20 años
Plinto No. 4	Paralelepípedo	TÚNEL	12 años
Plinto No. 5	Pirámide Truncada	TÚNEL	12 años
Plinto No. 6	Pirámide Truncada	TÚNEL	12 años
Plinto No. 7	Paralelepípedo	TÚNEL	12 años
Plinto No. 8	Paralelepípedo	2	12 años
Plinto No. 9	Pirámide Truncada	2	12 años
Plinto No. 10	Pirámide Truncada	2	12 años
Riostra No. 1		3 Sección 1	12 años
Riostra No. 2		3 Sección 2	1 año
Riostra No. 3		3 Sección 2	1 año
Riostra No. 4		3 Sección 1	12 años
Losa de Contrapiso No. 1		3 Sección 1	1 año
Plinto No. 1G	Dado + Paralelepípedo	4	10 días
Plinto No. 1E	Dado + Paralelepípedo	4	9 días
Plinto No. 2A	Dado + Paralelepípedo	4	7 días
Plinto No. 4I	Dado + Paralelepípedo	4	7 días
Plinto No. 1F	Dado + Paralelepípedo	4	14 días
Plinto No. 5A	Dado + Paralelepípedo	4	13 días
Plinto No. 3B	Dado + Paralelepípedo	4	11 días

La ubicación de los puntos de muestreo y fotografías de los tipos de cimentación encontradas se presentan en el Anexo 7.3.

Se hicieron pruebas en las riostras del módulo 3, debido a que la cimentación de este modulo no tiene plintos propiamente dichos, sino riostras que unen las columnas de las cerchas y el perímetro de la estructura.

Se realizaron en resumen la siguiente cantidad de pruebas con el esclerómetro por módulo:

MÓDULO	EDAD	NO. PRUEBAS REALIZADAS
1	20 años	3
TÚNEL	12 años	3
2	12 años	3
3 Sección 1	12 años	2
3 Sección 2	1 año	2
Losa de Contrapiso Módulo 3	1 año	1
4	10 días	7
TOTAL		21

Un mayor detalle del procedimiento de las pruebas y procesamiento de los datos obtenidos, se presenta en el Anexo 7.3.

7.3.2 ENSAYOS DEL TIEMPO DEL FRAGUADO DEL HORMIGÓN

Para conocer los tiempos de fraguado promedio inicial y final del hormigón, se realizaron ensayos utilizando el Aparato de Vicat.

Los ensayos se realizaron bajo las mismas condiciones que la fundición de la cimentación del nuevo módulo, es decir, a la intemperie y con condiciones de temperatura, humedad, viento no controladas. Este aspecto difiere de la Norma del Ensayo del Tiempo de Fraguado del Hormigón que se realiza en laboratorios a temperatura entre 20 a 27°C, con humedad relativa no menor al 50% y 0 nudos de viento.

Esto se debe a que el objetivo del estudio de la norma es el cemento, mientras que el objetivo del presente trabajo es conocer la influencia de las bajas temperaturas en el fraguado del hormigón, para lo cual se midió la temperatura y se tomaron de la estación meteorológica la humedad relativa del aire y la velocidad del viento durante el desarrollo del ensayo.

Se diseñaron 2 tipos de mezclas para observar adicionalmente la influencia del aditivo acelerante en los tiempos de fraguado del hormigón y se usó en la misma proporción que en el hormigón de la construcción del Módulo 4: 1 litro por kilogramo de cemento.

Las cantidades totales utilizadas en los dos tipos de mezcla fueron las siguientes:

MEZCLA TIPO	Cemento (gr.)	Agua (ml)	Aditivo (ml)
1	650	215	0
2	690	215	15

En resumen se realizaron las cantidades de ensayos que se encuentran a continuación:

MEZCLA TIPO	PROBETAS NO.	NO. ENSAYOS
1	1, 2 y 5	3
2	3, 4 y 6	3 (2 completos)
TOTAL		6 (5 Completos)

De las probetas con mezcla tipo 2, la última no pudo concluirse debido a las altas velocidades del viento (30 a 40 nudos) que impidieron la salida de la estación y solamente pudo obtenerse el tiempo inicial del fraguado del hormigón. Es por esta razón que de 6 ensayos que se iniciaron, 5 se encuentran completos.

7.3.3 TOMA DE MUESTRAS DE HORMIGÓN FRESCO

Para determinar si la resistencia y comportamiento del hormigón de la cimentación del Módulo 4 es el adecuado, a más de las pruebas con el esclerómetro, se tomaron un total de 18 muestras cilíndricas de hormigón fresco durante la fundición de plintos correspondientes a la obra en construcción.

Las 18 muestras cilíndricas se tomaron en grupos de 6, en 3 días diferentes de la construcción: 15, 16 y 18 de enero de 2010. Se siguieron los procedimientos que se detallan en el Anexo 7.3.

Estas muestras se desmoldaron 48 horas después de su fundición y de inmediato se pusieron a curar, sumergiéndolas en agua.

Posteriormente serán entregadas al Centro de Investigación de Estructuras (CEINVES) en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, para realizar los siguientes análisis de cada punto muestral (6 muestras):

- 3 ensayos de compresión simple
- 3 ensayos de módulo de elasticidad

7.4 ESTUDIO DE AGREGADOS

Se tomaron 2 muestras de arena y una de piedra en dos puntos distintos de la Punta Fort Williams:

- Punta Ambato en la coordenada geográfica 62°26'30.3" S 59°47'16.5" W (Muestra arena)
- Caleta Jambelí (Muestra arena y piedra). Este punto es la cantera de la construcción del Módulo 4.

Una de las principales inquietudes acerca del material muestreado era la salinidad, debido a la gran cercanía de los puntos mencionados con la zona intermareal.

Con la gran colaboración del Dr. Luis Burgos, químico representante del INOCAR en esta expedición, se realizaron los análisis de salinidad de las dos muestras de arena de Punta Ambato y Caleta Jambelí. La salinidad en ambos casos fue 0 (cero).

También se llevarán muestras al Laboratorio de Suelos de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, de modo que se analice su granulometría y los límites de Atterberg.

8. DATOS OBTENIDOS

8.1 ESTUDIO TÉRMICO

De las 680 lecturas tomadas, para el análisis de datos sirvieron 472 lecturas, distribuidas de la siguiente manera:

Número de Lecturas Útiles	472
Lecturas Módulo 1	183
Lecturas Módulo 2	268
Lecturas Túnel	21

Las 6 condiciones que fueron consideradas en el presente estudio, se resumieron en 3 condiciones básicas:

1. AISLAMIENTO TÉRMICO SIN CALEFACCIÓN
2. AISLAMIENTO TÉRMICO CON 1 EQUIPO CALEFACTOR
3. AISLAMIENTO TÉRMICO CON 2 EQUIPOS CALEFACTORES

Se realizó una distribución de frecuencias para cada condición por módulo y se calcularon valores promedios de aislamiento térmico (ver Anexo 8.1).

El resumen de resultados promedio es el siguiente:

CONDICIÓN	AISLAMIENTO TÉRMICO (°C)		
	MÓDULO 1	MÓDULO 2	TÚNEL
SIN CALEFACCIÓN	8.0	10.6	5.4
CON 1 CALEFACTOR	15.4	13.0	N/A
CON 2 CALEFACTORES	17.6	16.1	N/A

PROYECCIONES PARA INVIERNO

Según datos de Base Pratt, durante el período de 1994 a 2003, la temperatura exterior mínima promedio del mes de Julio (mes más frío del período invernal y del año) es de -9.3°C.

Si permaneciera operativa la Estación Pedro Vicente Maldonado durante el invierno austral y manteniendo las condiciones de calefacción actuales, se tendrían las siguientes temperaturas interiores:

ZONAS	TEMPERATURAS INTERIORES (°C)		
	MÓDULO 1	MÓDULO 2	TÚNEL
SIN CALEFACCIÓN	-1.3	1.3	-3.9
CON 1 CALEFACTOR	6.1	3.7	N/A
CON 2 CALEFACTORES	8.3	6.8	N/A

Las temperaturas utilizando incluso 2 calefactores llegarían por debajo de los 10°C de temperatura interior y en ciertas zonas estarían por debajo de 0°C.

La experiencia en la Estación Pedro Vicente Maldonado muestra que temperaturas interiores inferiores a 14°C, comienzan a ser incómodas para las personas y afectan el desarrollo de sus actividades en el interior.

8.2 ESTUDIO CORROSIÓN

En general, se encontró un estado de las planchas aceptable, sobre todo en los Módulos 2 y 3 de la estación.

En el Módulo 1, existen zonas de corrosión evidente, donde incluso la oxidación se ha consumido el espesor entero de las planchas de acero galvanizadas.

Las planchas laterales superiores y las planchas de cubierta son las más afectadas, debido a que éstas tienen 20 años desde que han sido colocadas.

En los Módulo 2 y 3, las planchas laterales están intactas y solamente existen contadas zonas donde se ha perdido la pintura, pero no hay huellas de corrosión en las planchas.

Las planchas de cubierta sí presentan poca zonas de avance de corrosión, pero son muy pocas.

8.3 ESTUDIO DE HORMIGÓN

8.3.1 PRUEBAS DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN

Las resistencias a la compresión simple obtenidas en el presente estudio son las que se muestran a continuación:

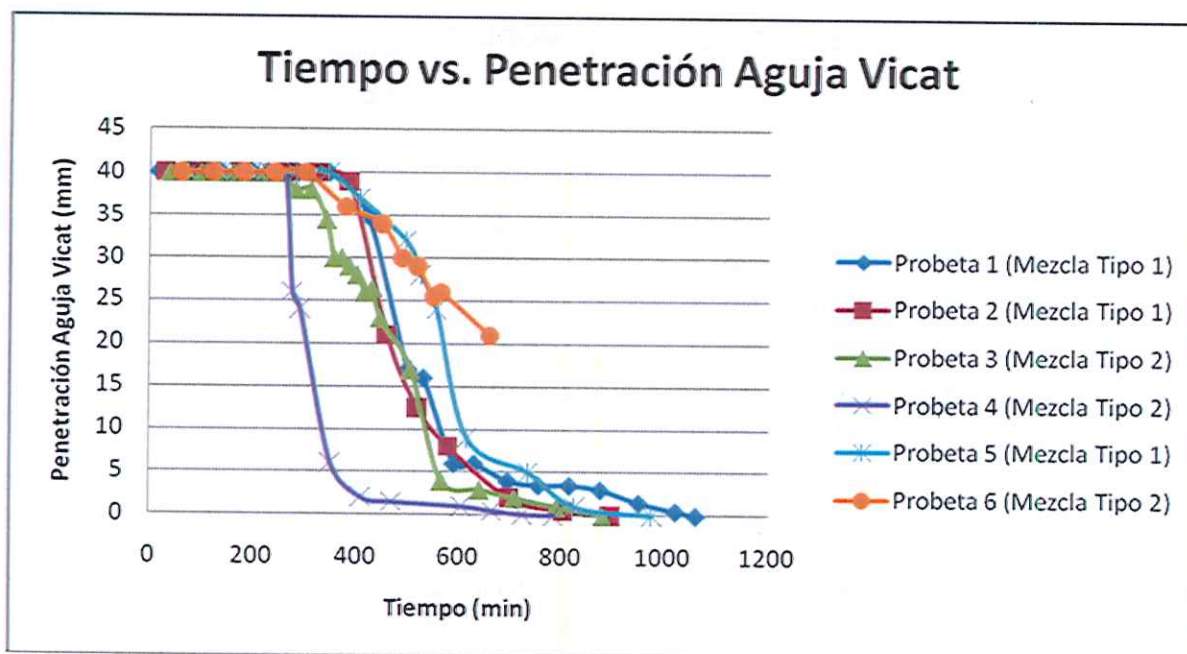
MÓDULO	EDAD	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN f'_c (kg/cm ²)
1	20 años	150
TÚNEL	12 años	124
2	12 años	90
3 Sección 1	12 años	79
3 Sección 2	1 año	69
Losa de Contrapiso Módulo 3	1 año	210
4	10 días	116

El desglose de estos resultados por plinto o riostra son:

ELEMENTO	MÓDULO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN f'c (kg/cm2)
Plinto No. 1	1	155
Plinto No. 2	1	146
Plinto No. 3	1	94
Plinto No. 4	TÚNEL	122
Plinto No. 5	TÚNEL	127
Plinto No. 6	TÚNEL	N/A
Plinto No. 7	TÚNEL	76
Plinto No. 8	2	88
Plinto No. 9	2	102
Plinto No. 10	2	80
Riostra No. 1	3 Sección 1	60
Riostra No. 2	3 Sección 2	64
Riostra No. 3	3 Sección 2	74
Riostra No. 4	3 Sección 1	99
Losa de Contrapiso No. 1	3 Sección 1	210
Plinto No. 1G	4	103
Plinto No. 1E	4	130
Plinto No. 2A	4	112
Plinto No. 4I	4	112
Plinto No. 1F	4	115
Plinto No. 5A	4	112
Plinto No. 3B	4	128

8.3.2 ENSAYOS DEL TIEMPO DE FRAGUADO DEL HORMIGÓN

Las curvas tiempo vs. Penetración, se muestran a continuación:



El resumen de los resultados se encuentra en la siguiente tabla:

PROBETA NO.	MEZCLA TIPO	TEMP. AGUA EN PREPARACIÓN MEZCLA (°C)	TEMP. AIRE PROMEDIO (°C)	HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO (%)	VEL. VIENTO PROMEDIO (NUDOS)	TIEMPO INICIAL FRAGUADO (min)	TIEMPO FINAL FRAGUADO (min)
1	1	5,0	2,8	80	7,7	456	1060
2	1	28,5	3,4	82	4,8	402	895
3	2	28,0	2,6	77	5,4	439	880
4	2	25,8	3,5	75	7,5	283	785
5	1	17,0	0,8	93	22,5	533	975
6	2	22,7	0,8	83	22,4	641	N/A

De los resultados presentados en la tabla superior, se puede observar lo siguiente:

PARÁMETRO	SIN ADITIVO	CON ADITIVO	REDUCCIÓN TIEMPO CON ADITIVO
TIEMPO FINAL DEL FRAGUADO (min)	980	830	15%
TIEMPO INICIAL DEL FRAGUADO A TEMPERATURA AIRE 3.5°C (min)	402	283	30%
TIEMPO INICIAL DEL FRAGUADO A TEMPERATURA AIRE 2.7°C (min)	456	439	4%
TIEMPO INICIAL DEL FRAGUADO A TEMPERATURA AIRE 0.8°C (min)	533	641	-17%

Se puede ir observando que el tiempo de fraguado final con el aditivo es menor que sin usarlo.

El efecto del aditivo en el tiempo inicial del fraguado depende mucho de las temperaturas del aire durante los ensayos, observándose que para mayores temperaturas, mayor reducción de tiempo gracias al aditivo.

9. TRABAJOS PENDIENTES RELACIONADOS CON EL PROYECTO

Quedan pendientes todavía las siguientes actividades para poder dar conclusión al proyecto:

- Monitoreo de Lecturas de Temperatura en el Módulo 4, debido a que todavía se encuentra en construcción.
- Ensayos de Compresión Simple y Módulos de Elasticidad en 18 muestras cilíndricas de hormigón.
- Ensayos Granulométricos y Límites de Atterberg de las muestras de arena y piedra para fabricación de hormigón.

10. CONCLUSIONES

ESTUDIO TÉRMICO

- No existe un sistema de calefacción en la estación.

- Para las condiciones operativas de la Estación Pedro Vicente Maldonado, es decir, con el uso de calefactores, los paneles del Módulo 1 son más eficientes en el aislamiento de temperatura que los paneles del Módulo 2.
- Bajo el manejo de calefacción actual, las temperaturas interiores proyectadas para invierno, harían muy difícil la estadía en la estación.

ESTUDIO CORROSIÓN

- Las planchas laterales superiores y las planchas de cubierta del Módulo 1, presentan zonas de corrosión evidente
- La instalación de ánodos de sacrificio de Zinc no ha cumplido la función para lo cual fue instalada.
- La práctica de pintar cada año ha ayudado a encontrar el buen estado de las planchas del módulo 2.

ESTUDIO HORMIGÓN

- Las resistencias a la compresión simple del hormigón de las cimentaciones de los módulos 1, 2 y 3 obtenidas con el esclerómetro están por debajo de los 180 kg/cm². Este valor es el mínimo que el código de diseño estructural ACI-318, asegura válidas sus fórmulas.
- El hormigón de las cimentaciones de los módulos 1, 2 y 3 (Sección 1) se encuentran deteriorados por el intemperismo, siendo común el descascaramiento o debilidad de las superficies de los elementos, en algunos casos de más de 2 cm, poniendo en riesgo el acero de refuerzo al ataque de la corrosión.
- La principal causa del estado actual de estas estructuras es probablemente una alta relación agua-cemento que significa una baja resistencia del hormigón y una menor durabilidad. A este factor se suma probablemente una muy baja temperatura y alta velocidad del viento a la hora de fundición y fraguado del hormigón sin tomar las debidas precauciones y, evidentemente al tiempo que ha transcurrido desde su construcción que está entre 12 y 20 años.
- Cabe destacar que la resistencia de hormigón más alta medida se trata de un elemento no estructural: losa de contrapiso del Módulo de generadores, con 210 kg/cm². Se debe principalmente a las condiciones de su fundición, temperatura no muy baja y velocidad del viento baja al encontrarse en un ambiente cerrado.

PARÁMETRO	SIN ADITIVO	CON ADITIVO	REDUCCIÓN TIEMPO CON ADITIVO
TIEMPO FINAL DEL FRAGUADO (min)	980	830	15%
TIEMPO INICIAL DEL FRAGUADO A TEMPERATURA AIRE 3.5°C (min)	402	283	30%
TIEMPO INICIAL DEL FRAGUADO A TEMPERATURA AIRE 2.7°C (min)	456	439	4%
TIEMPO INICIAL DEL FRAGUADO A TEMPERATURA AIRE 0.8°C (min)	533	641	-17%

Se puede ir observando que el tiempo de fraguado final con el aditivo es menor que sin usarlo.

El efecto del aditivo en el tiempo inicial del fraguado depende mucho de las temperaturas del aire durante los ensayos, observándose que para mayores temperaturas, mayor reducción de tiempo gracias al aditivo.

9. TRABAJOS PENDIENTES RELACIONADOS CON EL PROYECTO

Quedan pendientes todavía las siguientes actividades para poder dar conclusión al proyecto:

- Monitoreo de Lecturas de Temperatura en el Módulo 4, debido a que todavía se encuentra en construcción.
- Ensayos de Compresión Simple y Módulos de Elasticidad en 18 muestras cilíndricas de hormigón.
- Ensayos Granulométricos y Límites de Atterberg de las muestras de arena y piedra para fabricación de hormigón.

10. CONCLUSIONES

ESTUDIO TÉRMICO

- No existe un sistema de calefacción en la estación.

- Para las condiciones operativas de la Estación Pedro Vicente Maldonado, es decir, con el uso de calefactores, los paneles del Módulo 1 son más eficientes en el aislamiento de temperatura que los paneles del Módulo 2.
- Bajo el manejo de calefacción actual, las temperaturas interiores proyectadas para invierno, harían muy difícil la estadía en la estación.

ESTUDIO CORROSIÓN

- Las planchas laterales superiores y las planchas de cubierta del Módulo 1, presentan zonas de corrosión evidente
- La instalación de ánodos de sacrificio de Zinc no ha cumplido la función para lo cual fue instalada.
- La práctica de pintar cada año ha ayudado a encontrar el buen estado de las planchas del módulo 2.

ESTUDIO HORMIGÓN

- Las resistencias a la compresión simple del hormigón de las cimentaciones de los módulos 1, 2 y 3 obtenidas con el esclerómetro están por debajo de los 180 kg/cm². Este valor es el mínimo que el código de diseño estructural ACI-318, asegura válidas sus fórmulas.
- El hormigón de las cimentaciones de los módulos 1, 2 y 3 (Sección 1) se encuentran deteriorados por el intemperismo, siendo común el descascaramiento o debilidad de las superficies de los elementos, en algunos casos de más de 2 cm, poniendo en riesgo el acero de refuerzo al ataque de la corrosión.
- La principal causa del estado actual de estas estructuras es probablemente una alta relación agua-cemento que significa una baja resistencia del hormigón y una menor durabilidad. A este factor se suma probablemente una muy baja temperatura y alta velocidad del viento a la hora de fundición y fraguado del hormigón sin tomar las debidas precauciones y, evidentemente al tiempo que ha transcurrido desde su construcción que está entre 12 y 20 años.
- Cabe destacar que la resistencia de hormigón más alta medida se trata de un elemento no estructural: losa de contrapiso del Módulo de generadores, con 210 kg/cm². Se debe principalmente a las condiciones de su fundición, temperatura no muy baja y velocidad del viento baja al encontrarse en un ambiente cerrado.

- La resistencia a la compresión simple del nuevo módulo en promedio es 120 kg/cm² que también está por debajo de 280 kg/cm². Sin embargo, al momento de las mediciones el hormigón tenía entre 7 y 14 días y la resistencia máxima teóricamente se alcanza a los 28 días.
- Las bajas temperaturas y las velocidades del viento registradas en la Estación Pedro Vicente Maldonado, incrementan el tiempo de fraguado del hormigón. En las pruebas realizadas, este incremento fue del 150% en comparación con una prueba efectuada en condiciones normalizadas de laboratorio.
- El tiempo inicial de fraguado del hormigón se redujo con el uso de aditivo acelerante, sin embargo, esta reducción fue menor, a menor temperatura del aire y mayores velocidades del viento.
- El tiempo final del fraguado del hormigón también se redujo con el uso de aditivo acelerante en aproximadamente un 17%.
- En la construcción del nuevo módulo, la temperatura del hormigón durante su etapa de endurecimiento, descendió por debajo de los 13°C, que es la temperatura mínima recomendada para obtener resistencias óptimas y mayor beneficio en el uso del aditivo acelerante.

11. RECOMENDACIONES

ESTUDIO TÉRMICO

- Para construcciones futuras, es preferible utilizar los materiales que conforman los paneles del Módulo 1 que aquellos que conforman el Módulo 2.
- Implementar un sistema de calefacción diseñado acorde a las bajas temperaturas, según la mayor cantidad de registros climatológicos de la Base Pratt.
- Una posible alternativa sería utilizar un sistema en base de calderos que calientan agua por tubería y pasa por el circuito de los radiadores emanando calor al ambiente

ESTUDIO CORROSIÓN

- Realizar el cambio de los paneles deteriorados y en general de todos los que ya tienen 20 años en el Módulo.

- Tomar medidas correspondientes para hacer que los ánodos de sacrificio de Zinc instalados en las cimentaciones de los módulos 1 y 2, cumpla con la función que debería hacer.
- Mantener la práctica del pintado de la estación cada año para proveer las planchas y perfiles de acero y disminuir el avance de la corrosión.

ESTUDIO HORMIGÓN

- Realizar un cálculo estructural, en base a las resistencias obtenidas en el presente estudio y a los datos meteorológicos disponibles, principalmente velocidad máxima del viento. Esto ayudará a determinar la seguridad de la estructura y conocer si es necesario readecuarla.
- Estudiar la posibilidad de inyección de grout (mortero) en los plintos de la cimentaciones de los módulos 1, 2 y 3 para fortalecer la resistencia de las superficies de los elementos y con ello proteger el acero de refuerzo de los agentes de corrosión.
- Mejorar las prácticas constructivas durante la fundición: a más de calentar el agua, utilizar sistema de calentamiento de hormigón para asegurar que la temperatura no baje de 13°C y proteger las superficies expuestas al viento para evitar la evaporación del agua.

12. BIBLIOGRAFIA

- Quadri, Néstor "Energía Solar", Librería y Editorial Alsina, 4 ed. Buenos Aires, 2005
- Fontana, Mars G. "Corrosion Engineering, McGraw Hill, 3 ed., 1986
- ACI 318 "Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario", IMCYC, México, 2005

- Neville, A.M. "Properties of Concrete", Longman Scientific & Technical, 3 ed., Inglaterra 1983
- Derucher, Kenneth N, Korfiatis, George, P. "Materials for Civil & Highway Engineers", Prentice Hall, 3 ed., 1994

ANEXOS



Fig. 4 Paralelepípedo



Fig. 5 Pirámide Truncada



Fig. 6. Dado y Paralelepípedo

MÓDULO 1



UBICACIÓN DE LOS PLINTOS MUESTREADOS CON EL ESCLERÓMETRO EN MÓDULO 2

MÓDULO 2

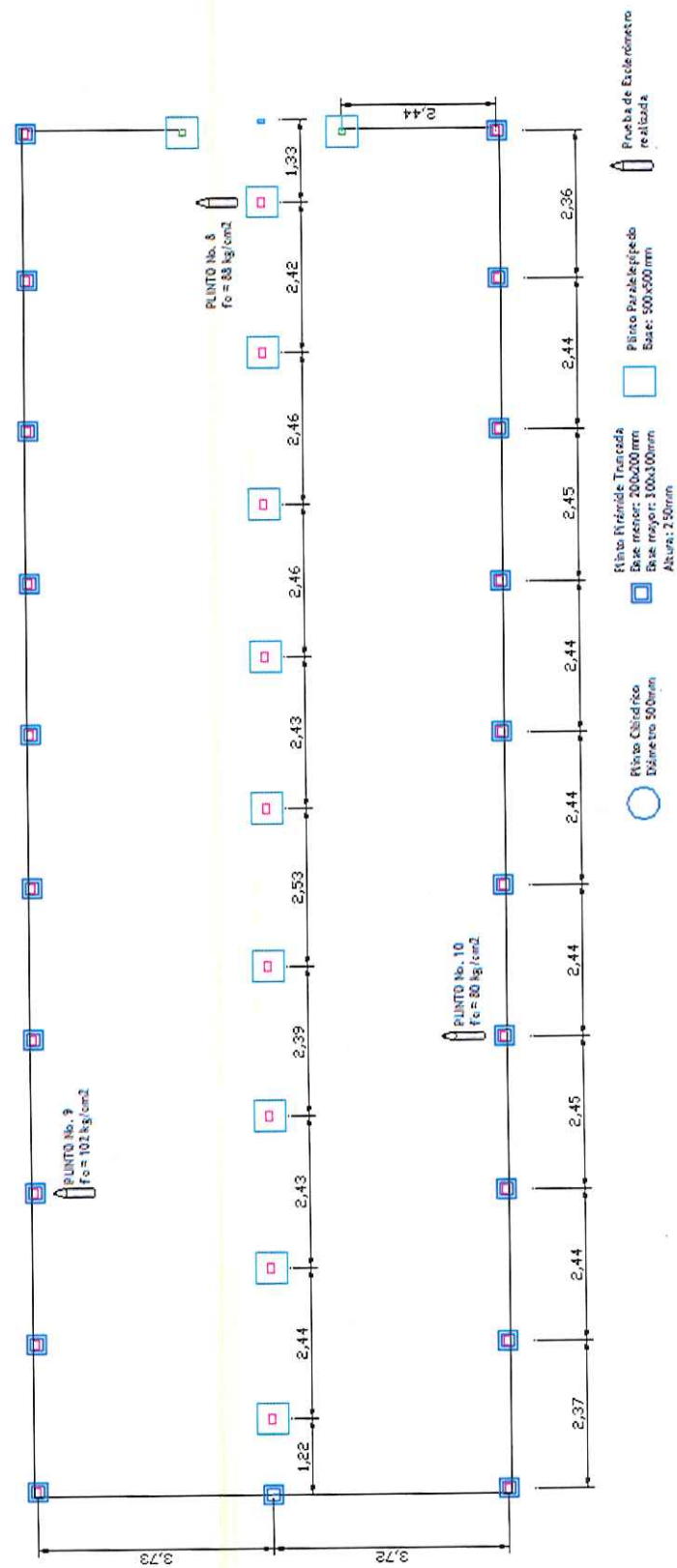


Figura 8

UBICACIÓN DE LOS PLINTOS MUESTREADOS CON EL
ESCLERÓMETRO MÓDULO 4

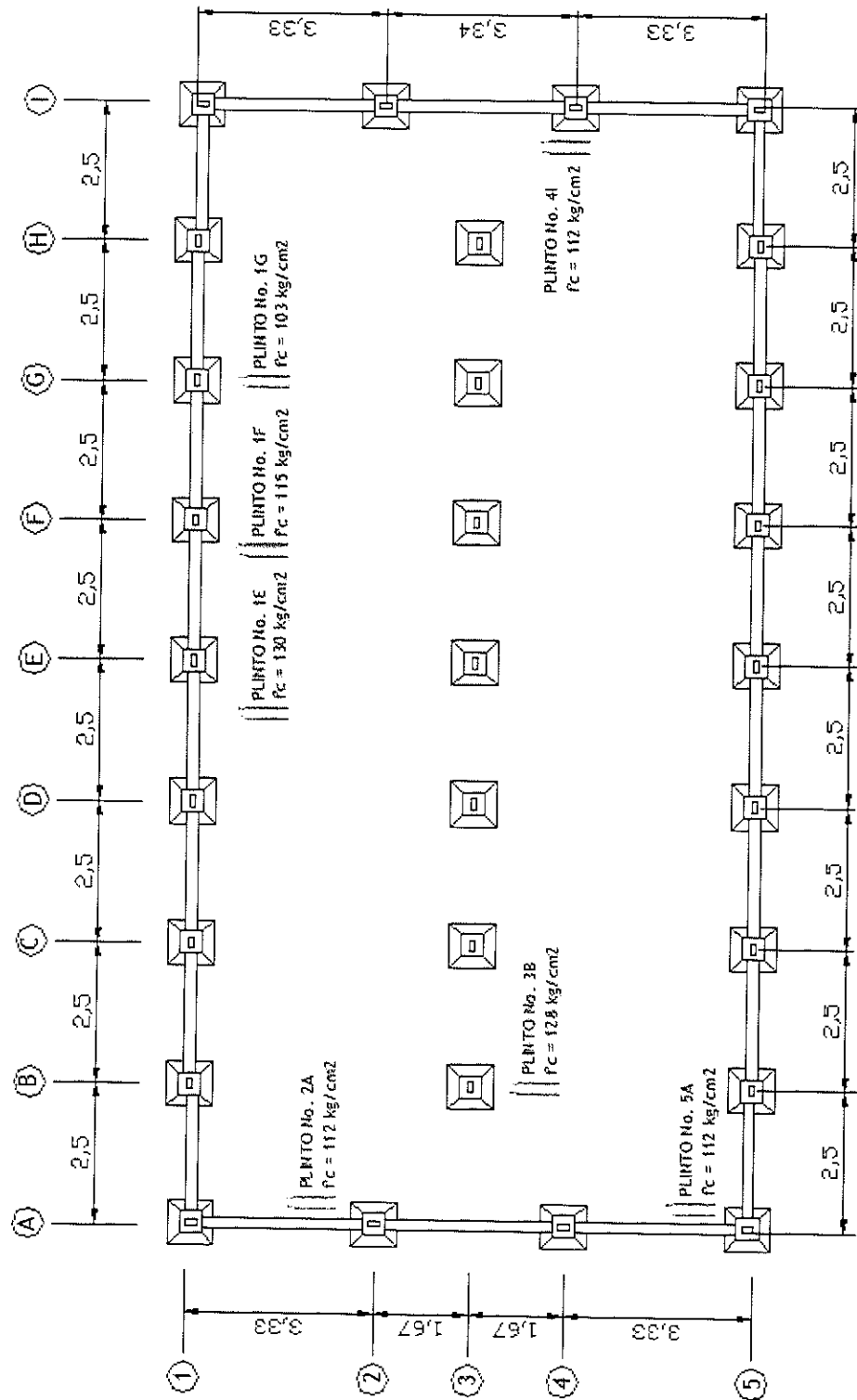


Figura 9

