Segundo Encuentro Nacional de Ingenieros de Suelos y Estructuras
Escuela Colombiana de Ingeniaría - Santa Fe de Bogotá, D.C. - Septiembre de 1993

SISTEMAS DE CONTENCION Y CONTROL DE EXCAVACIONES PANTALLA PRE-EXCAVADA Y SISTEMAS DE APUNTALAMIENTO

Por : Jorge Segura Franco (1)

1. INTRODUCCION

Presentamos en este Segundo Encuentro Nacional de Ingenieros de Suelos y Estructuras el caso de una pantalla pre-excavada para dos sótanos en un edificio - Centro Ejecutivo Santa Bárbara - actualmente en construcción en la Avenida 19 No. 118-95 de esta ciudad de Santa Fe de Bogotá D.C., haciendo especial énfasis en la necesidad de la coordinación entre los Promotores del Proyecto, los Ingenieros Constructores de la Estructura, los Ingenieros Contratistas de la Estructura de Contención, los Ingenieros Consultores de Suelos y Fundaciones y los Ingenieros Estructurales y haciendo mención de los posibles sistemas de apuntalamiento y de los criterios para su adopción con la influencia que estos factores tienen en el diseño estructural y por consiguiente en los costos y factibilidad de un proyecto de esta clase.

Aunque la ejecución de un trabajo de esta naturaleza es cada día más rutinario en las oficinas de los ingenieros consultores de suelos y fundaciones y de los ingenieros estructurales, nos parece importante destacar que a partir de la evaluación de los sistemas posibles de excavación para un proyecto con esta necesidad y la decisión por el grupo de trabajo de la utilización de un sistema de contención y

(1) Profesor de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia
Profesor de Ingeniería Civil, Escuela Colombiana de Ingeniería
Socio de la firma "Jorge Segura Franco & Cia. S. en C"

control de excavación en pantalla pre-excavada, el ingeniero estructural debe proceder a su diseño en un todo de acuerdo con los sistemas de apuntalamiento que se discutan y adopten, sistemas presupuestados y suministrados por los constructores de la estructura y por consiguiente por los promotores del proyecto, afectando sus costos. Por otra parte, la responsabilidad de los ingenieros estructurales y de los ingenieros de suelos y fundaciones irá ligada al éxito de un proyecto y éste estará garantizado en la medida en que todos, proyectistas, constructores y promotores actuen de común acuerdo y esto sólo se conseguirá por medio de la coordinación y evaluación de riesgos, costos y beneficios.

2. DESCRIPCION

2.1 Descripción del lote y del proyecto :

Los lotes Nos. 10 y 12 localizados en la esquina nor-oriental de la manzana No. 16 de la Urbanización Santa Bárbara en la Avenida 19 con Calle 118 de la ciudad de Santa Fe de Bogotá D.C. albergarán un edificio de 37 metros de ancho y 44 metros de largo y limites por el Norte con un acceso peatonal, por el Oriente con la Avenida 19 y por el Sur y Occidente con casas de 1 y 2 pisos, aisladas por el Occidente aproximadamente 4 metros. El Proyecto corresponde a un edificio de 5 pisos y 2 sótanos, destinado para oficinas, locales en el primer piso y estacionamiento de vehículos para un total de área construída de 8.115 M2. Los sótanos están previstos para ocupar el área total del lote y la torre centrada con aislamientos de 3.00, 4.00 y 5.00 metros en los bordes. El sistema estructural propuesto es de pórticos no arriostrados en concreto reforzado y placas aligeradas de entrepiso en una dirección, con luces entre columnas variables entre 4.00 y 7.00 metros. La firma promotora es "Arquitectura, Estudios y Construcciones" gerenciada por el arquitecto Mario García, Figuras (1, 2 y 3).

2.2 Investigación del Subsuelo, Características Geotécnicas, Alternativas de Cimentación, Análisis de la Estabilidad de la Excavación y Análisis de los Procesos Constructivos.

Este capítulo fué ampliamente desarrollado por la firma de ingenieros consultores de Suelos y Cimentaciones "Ingeniería y Geotecnia Ltda", bajo la dirección del ingeniero Julio Moya Barrios con las siguientes conclusiones que resumimos :

2.2.1 Tipo de Cimentación : Para un subsuelo de origen lacustre con arcillas y limos de plasticidad alta y consistencia media a firme y de acuerdo a las características arquitectónicas y estructurales del proyecto (distribución de columnas y cargas por columna suministrada por los ingenieros estructurales) se concluyó en una placa aligerada de concreto reforzado de 28.09 metros de ancho y 36.78 metros de largo y un espesor de 1.00 metro para un nivel de cimentación de - 7.00 M. Figura (4).

2.2.2 Presión portante admisible y asentamientos : La placa transmite al suelo de fundación una presión total de contacto de 7.89 ton/m^2, y la capacidad portante última total del mismo es de 23.0 ton/m^2. Para un alivio por excavación de 10.6 ton/m2, resulta un sistema sobrecompensado. Los asentamientos probables a largo plazo serán del orden de 8 cm; sin embargo, debe tenerse en cuenta los asentamientos debidos a la recompresión.

2.2.3 Parametros para el diseño estructural de la placa de cimentación: Se analizó sobre un sistema de resortes (Modelo de Winkler) con módulos de reacción de la subrasante entre 140 y 100 ton/m^3. (condiciones a corto y largo plazo). Su altura se determinó para un comportamiento relativamente rígido.

2.2.4 Sistemas de Excavación : Estudiadas diversas alternativas con taludes verticales o inclinados y sus análisis de estabilidad para condiciones a corto y largo plazo con una profundidad máxima de 7.00 metros y sobrecarga en la corona con o sin bermas intermedias y la alternativa de construir módulos de pantalla perimetral en el lote, de 11 metros de profundidad, con una longitud de 4 metros por debajo del fondo de excavación, se escogió esta última cuya especificación general para el análisis estructural a corto y largo plazo debe efectuarse con los diagramas de la Figura (5).

Sin embargo, en el análisis y diseño a corto plazo debe tenerse en cuenta el procedimiento o la forma como se ejecutarán los trabajos de la excavación cuyas alternativas deben discutirse y adoptarse de común acuerdo entre promotores, constructores, consultores de suelos y fundaciones y consultores estructurales. En el caso que presentamos, las alternativas debatidas fueron las siguientes.

- Excavación y apuntalamiento mediante vigas metálicas entre pantallas, hasta que se construyan las vigas y luego las placas del 1er sótano y el 1er piso y además el diseño de bermas de apoyo.

- Excavación y apuntalamiento mediante micropilotes que deben retirarse después que la estructura esté construída y, además, bermas de apoyo.

En cualquier caso, se adoptó como obligatoria la construcción de una viga repisa a nivel del 1er piso (cabezal) y otra viga fundida contra la pantalla a nivel del 1er. sótano (viga cinturón) con suficiente rigidez en el plano horizontal a fin de minimizar las deflexiones entre los apoyos del apuntalamiento. Se estudió también como reserva la posibilidad de utilizar postensionamiento para disminuir desplazamientos y su decisión se pospuso para el caso en que al excavar se considerara necesario. Figuras (6 y 7).

En principio y mientras los métodos de excavación y apuntalamiento anteriores funcionaran como se previeron se

descartó la posibilidad de usar la estructura del edificio como soporte, extrayendo el terreno por ventanas o perforaciones dejadas en las placas.

3. ESPECIFICACIONES PARA LA EXCAVACION, APUNTALAMIENTO Y CONSTRUCCION DE LA CIMENTACION Y PRIMEROS TRAMOS DE ESTRUCTURA

Este capítulo fué inicialmente propuesto por los Ingenieros Consultores de Suelos y Fundaciones y después de varias reuniones con intervenciones de cada uno de lo integrantes del equipo de trabajo, y especialmente con el aporte de los ingenieros constructores de la estructura y por lo tanto ejecutores de la excavación, se llegó al "Manual de Procedimientos" cuyo resumen transcribimos, el cual debe ser estrictamente seguido y ratificado en reuniones semanales que se efectuan en día y hora prefijados a partir del comienzo de los trabajos de la excavación y una vez concluída la construcción de las pantallas perimetrales y de los pilotes de apoyo pre-excavados (barretes) en concreto reforzado, elementos estos también diseñados de acuerdo a los parametros contenidos en informes adicionales de suelos y de acuerdo a las especificaciones de la excavación convenidas :

3.1 ETAPA PRELIMINAR : Figura (8)

Comprende las siguientes actividades :

Excavación y construcción de la viga repisa a nivel del primer piso (cabezal) en el perimetro de la excavación con cartelas y mensulas de apoyo de las vigas metálicas de apuntalamiento.

Excavación perimetral a - 3.35 mts. dejando un talud inclinado 1H: 1V en el área interior del terreno e instalando puntales de madera (2 por módulo de pantalla) con una formaleta de apoyo contra la cara del talud. Los taludes abiertos y el fondo de la excavación deben protegerse con mortero y mantener el fondo seco.

Construcción de la viga fundida contra la pantalla a nivel del primer sótano (viga cinturón) en el perimetro de la excavación con cartelas y mensulas de apoyo de las vigas metálicas de apuntalamiento.

3.2 ETAPA I

Comprende las siguientes sub-divisiones y actividades :

ETAPA IA : Figura (9)

Excavación a una cota aproximada de - 2.30 mts. en el espacio necesario para colocar la viga diagonal frente a la esquina 10A y la cercha # 1.

Excavación a una cota aproximada de - 2.30 mts. en el espacio necesario para colocar la viga diagoñal frente a la esquina 10H y la cercha # 2.

Excavación a una cota aproximada de - 4.35 mts. en el espacio necesario para colocar la segunda viga diagonal frente a la esquina 10A y la cercha # 3.

Excavación a una cota aproximada de - 4.35 mts. en el espacio necesario para colocar la segunda viga diagonal frente a la esquina 10H y la cercha # 4.

Colocadas las 4 cerchas y las 4 diagonales, se continua la excavación hasta - 7.00 mts. por una franja de 3 metros desde el eje 9 comenzandose allí los trabajos necesarios para el armado de la placa.

ETAPA I.B - Figura (10).

Una vez fundido el tramo de cimentación correspondiente a la etapa anterior se continúa la excavación de una franja que llega hasta un metro después del eje 8 con la secuencia para

la colocación de las cerchas # 5, # 6, # 7 y # 8 idéntica a la etapa IA.

Colocadas las 4 cerchas se continua la excavación hasta - 7.00 metros y se procede a fundir el segundo tramo de la cimentación y posteriormente el tramo correspondiente del primer sótano.

Acodalamiento de las pantallas a la estructura con postes de madera colocados entre la placa del primer sótano y la viga fundida contra la pantalla a nivel del primer sótano (viga cinturón).

3.3 ETAPA II -

Comprende las siguientes subdivisiones y actividades :

ETAPA II.A - Figura (11).

Se continua la excavación en una franja que llegue hasta 2.50 metros después del eje 7 con la secuencia y pasos necesarios para colocar las cerchas # 9, # 10, # 11 y # 12 idénticos a la etapa IA.

Colocadas las cuatro cerchas se continua la excavación hasta - 7.00 metros y se procede a fundir el tramo correspondiente a la cimentación, el primer sótano y el primer tramo del primer piso.

Acodalamiento de las pantallas a la estructura con postes de madera en forma igual a la etapa IB.

ETAPA II.B - Figura (12)

Se continua la excavación en una franja que llegue hasta 1.20 metros después del eje 6 con la secuencia y pasos necesarios para colocar trasladadas las cercha # 3, # 4, # 7 y # 8, idénticos a la etapa IA.

Colocadas las cuatro cerchas se continua la excavación hasta - 7.00 metros y se procede a fundir el tramo correspondiente de la cimentación, primer sótano y segundo tramo del 1er. piso.

Se continua el acodalamiento de las pantallas a la estructura con postes de madera entre la placa del primer sótano y del primer piso y las vigas repisa (cabezal) y viga cinturón.

3.4 ETAPA III - Figura (13)

Comprende las siguientes actividades :

Se continua la excavación con una franja que llegue hasta una distancia de 0.50 metros después del eje 4 con la secuencia y los pasos necesarios para colocar las cerchas # 5, # 6, # 1 y # 2 trasladadas de los barretes B-2 y B-1 y las cerchas # 9, # 10, # 11 y # 12 trasladadas del barrete B-3 al barrete B-6 con los mismos pasos de la etapa I.

Colocadas las ocho cerchas se continua la excavación hasta - 7.00 metros y se procede a fundir el tramo correspondiente de la cimentación y los siguientes tramos de las placas del primer sótano y del primer piso.

Se continua el acodalamiento a la pantalla o estructura con postes de madera como en las etapas anteriores.

3.5 ETAPA IV - Figura (14)

Comprende las siguientes actividades :

Se continua la excavación con una franja que llegue hasta el eje 3 con la secuencia y los pasos necesarios para colocar las cerchas # 3, # 4, #7 y # 8 trasladas del barrete B-4 al B-7 con los mismos pasos de la Etapa I.

Colocadas las cerchas se continua la excavación hasta - 7.00 metros y se procede a fundir el tramo correspondiente de la cimentación y los siguientes tramos de las placas del primer sótano y del primer piso.

Se continua el acodalamiento de la pantalla a la estructura con postes de madera, como en las etapas anteriores.

3.6 ETAPA V - Figura (15)

Comprende las siguientes actividades :

Excavación mecánica de occidente a oriente con los taludes de la figura y permitiendo colocar las vigas diagonales frente a la esquina 1A y siempre avanzando con el acodalamiento de pantalla hasta la estructura.

Evaluadas las condiciones de acodalamiento se continua la excavación hasta 7.00 metros y se procede a fundir los tramos correspondientes de la cimentación y de los siguientes tramos de las placas del primer sótano y del primer piso.

4. CONCLUSIONES

Hasta la fecha en que escribimos este informe (Agosto 30 de 1993) se había ejecutado la excavación en sus Etapas Preliminar y Etapa I con sus subdivisiones IA y IB presentandose un comportamiento perfectamente encajado dentro de los límites previstos. Anexamos fotografías con los aspectos más importantes de las actividades desarrolladas.

Los procedimientos para la excavación, apuntalamiento y construcción de la cimentación se adoptaron de común acuerdo por las partes que intervienen en su desarrollo, procedimientos perfectamente definidos y planificados con la debida anticipación y sin necesidad de que se presenten traumatismos que obliguen a soluciones de emergencia. Pretendemos que este procedimiento se vuelva rutinario en los

proyectos en que se adopte un sistema de contención y control de excavaciones en pantallas pre-excavadas como la presentada.

Nos parece de especial interés el desarrollo de programas de elementos finitos que simulando la excavación con la información necesaria del suelo, de la secuencia constructiva y del tipo de apuntalamiento, puedan mostrarnos cargas sobre la pantalla, deflexiones para su eje, esfuerzos en los elementos de la pantalla, gráficas de la elástica del sistema pantalla suello, etc... y cotejando estos resultados con los encontrados en la ejecución puedan servir para corregir oportunamente los procesos constructivos.

La vinculación definitiva de la pantalla a la estructura a nivel del 1er. sótano y del 1er. piso deberá llevarse a cabo en un momento apropiado determinado por la evaluación de los resultados de los controles de comportamiento y asentamientos de las zonas aludidas.

AGRADECIMIENTOS :

El autor agradece la colaboración en la planificación y desarrollo de los trabajos de contención y excavación descritos, así como en la preparación del material presentado, al Arquitecto Mario García de la firma "Arquitectura, Estudios y Construcciones Ltda", a los Ingenieros Julio Moya y Miguel Angel Raba de la firma Ingeniería y Geotecnia Ltda, al Ingeniero Andrés Botero de la firma "Geoconstrucciones S.A. ", al Ingeniero Ricardo Parra y demás personal de la firma Inciv Ltda, Constructores de la Estructura, a los Ingenieros y Auxiliares de Jorge Segura Franco & Cia S. en C. y en especial al Ingeniero Carlos Enrique Velez A. adscrito a este proyecto desde su comienzo.

Santa Fe de Bogotá, D.C. Agosto 30 de 1993

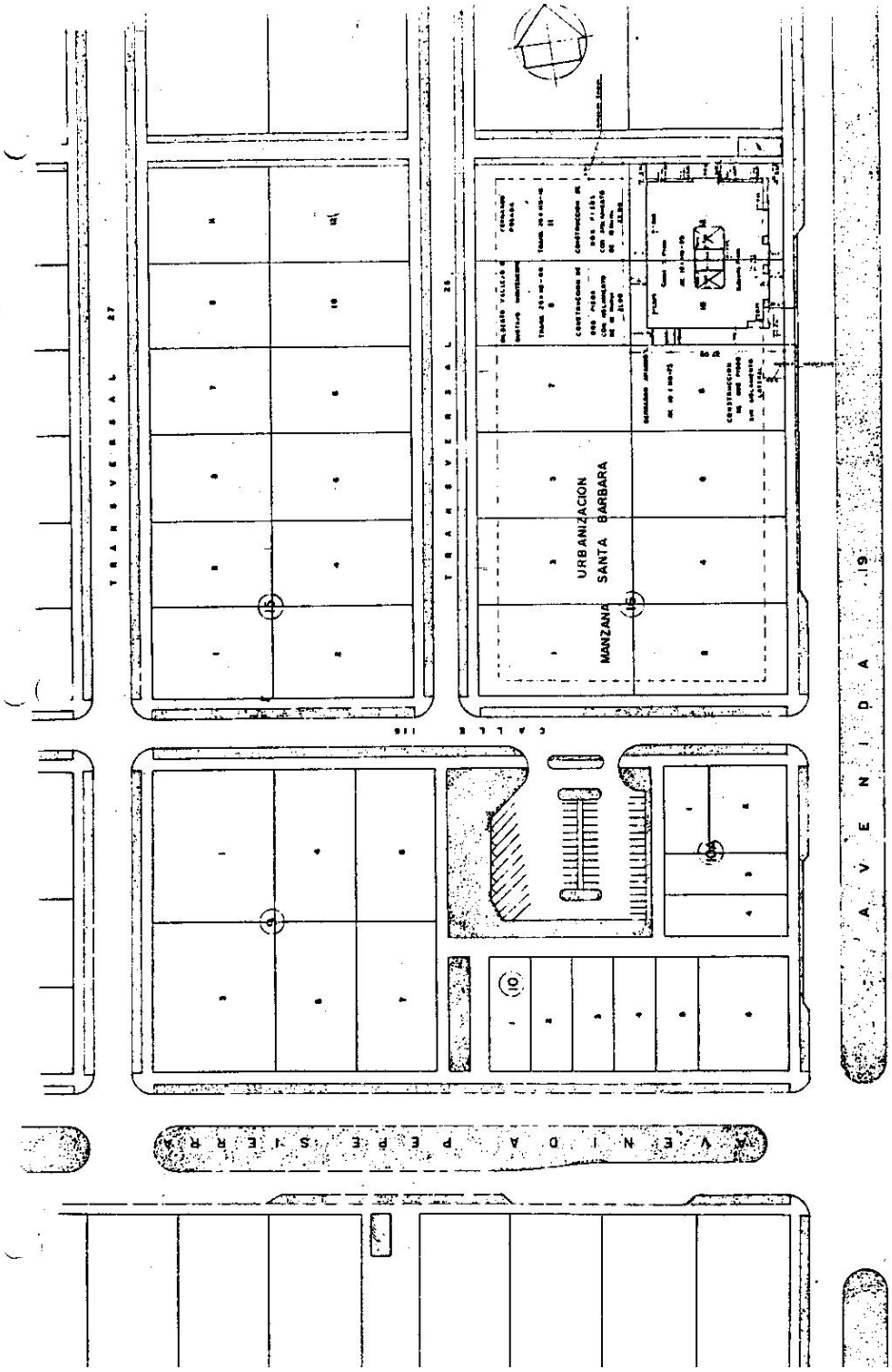
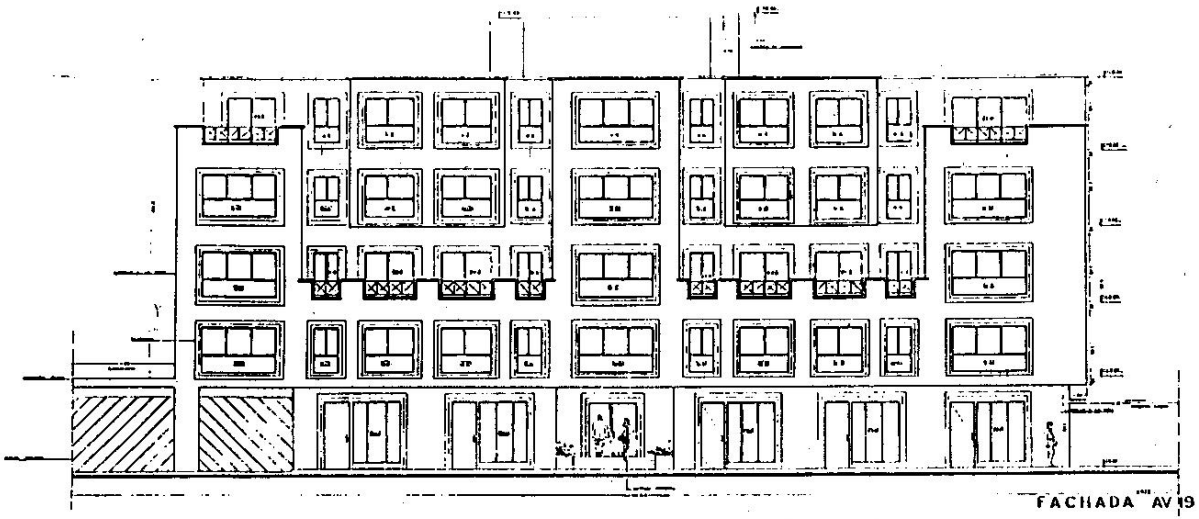
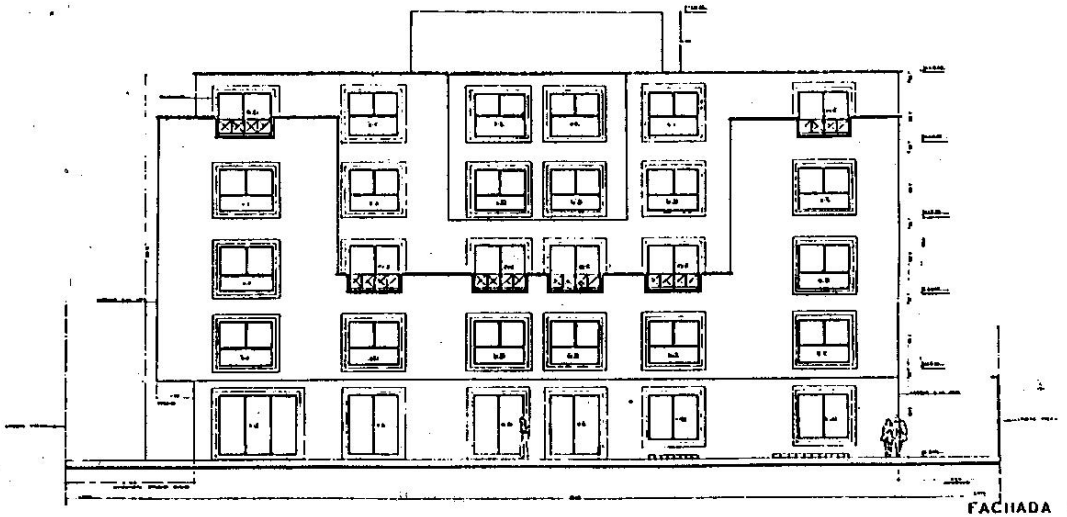


FIGURA 1 - LOCALIZACION



FACHADA AV 19



FACHADA LATERAL

FIGURA 2 FACHADAS AV. 19 Y LATERAL

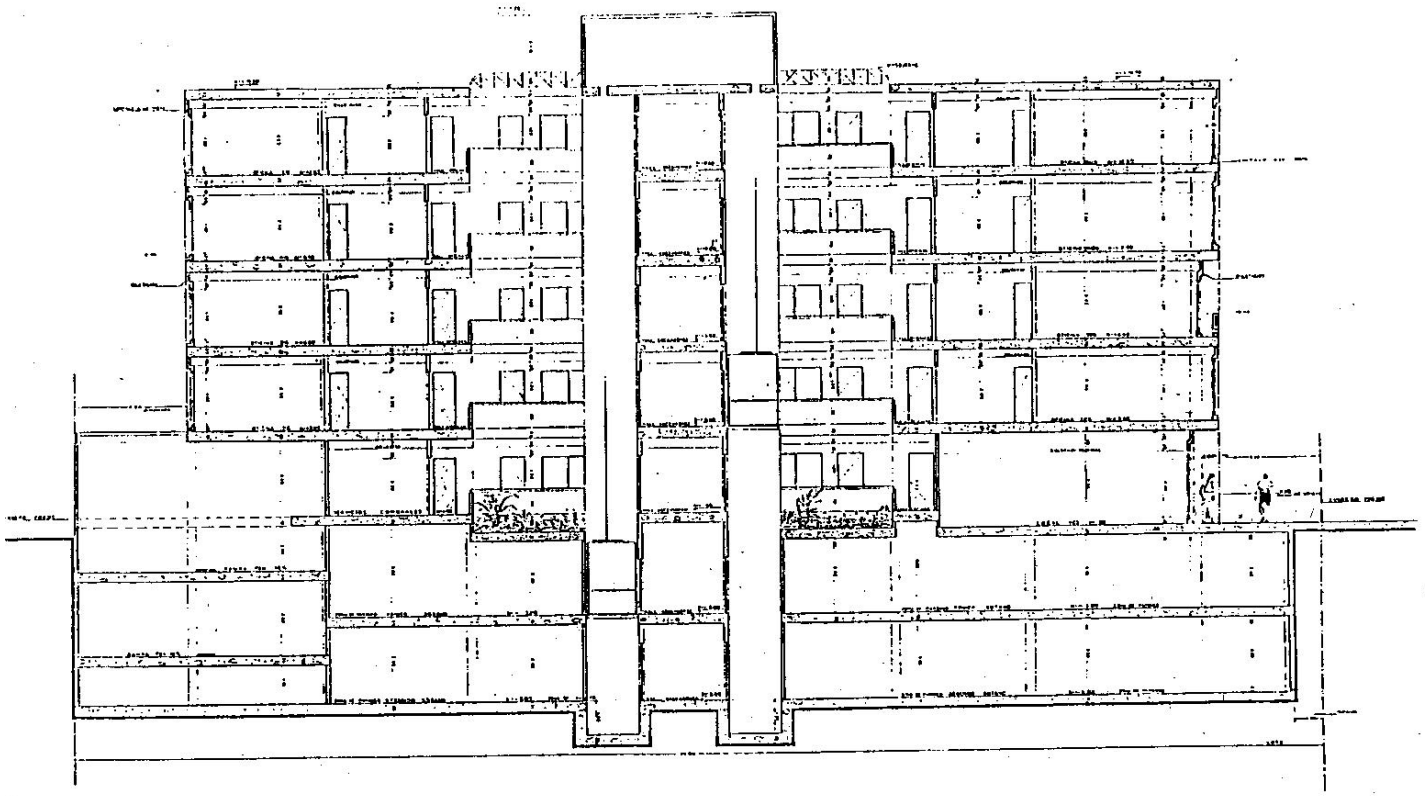


FIGURA 3- CORTE A - A

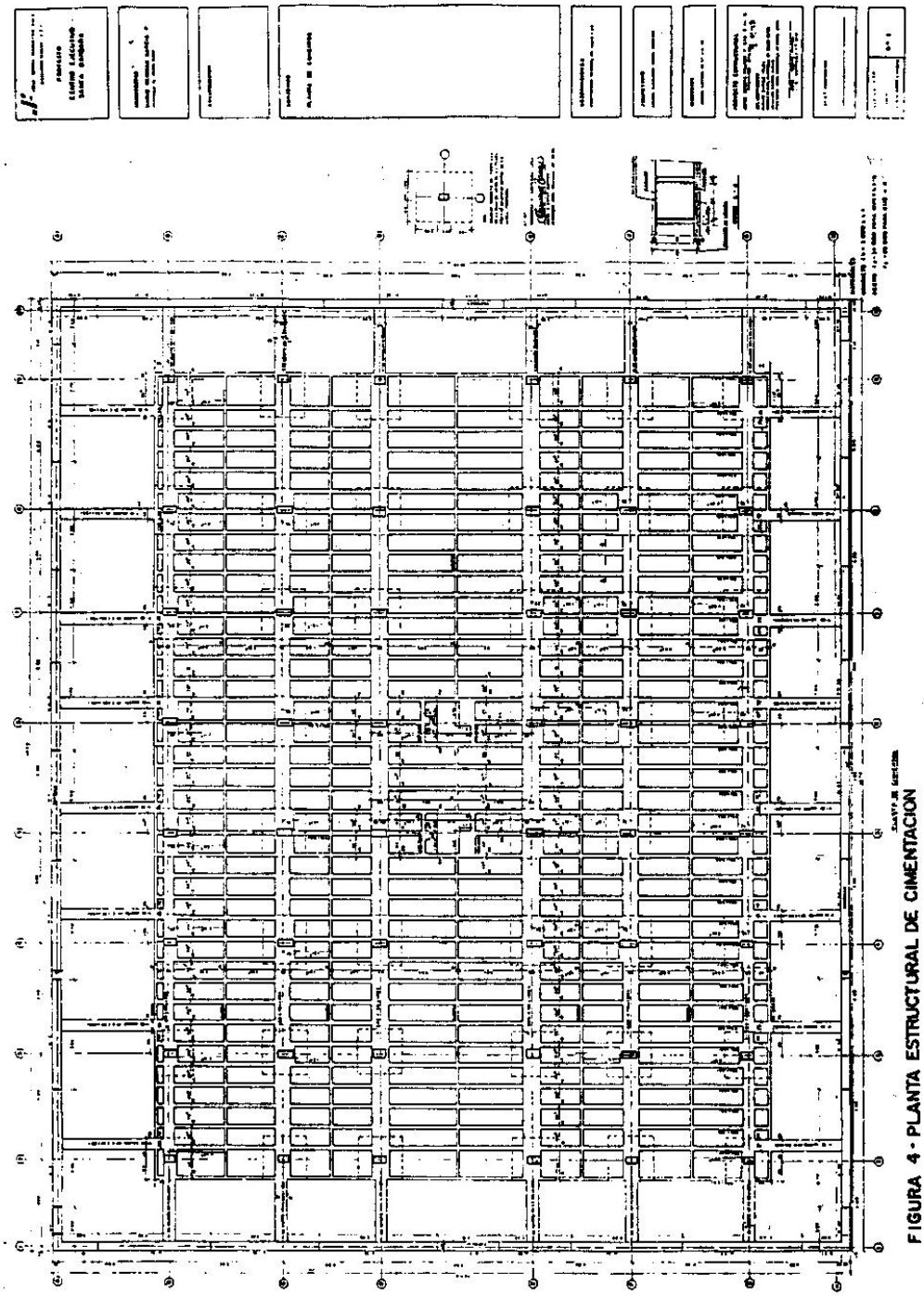
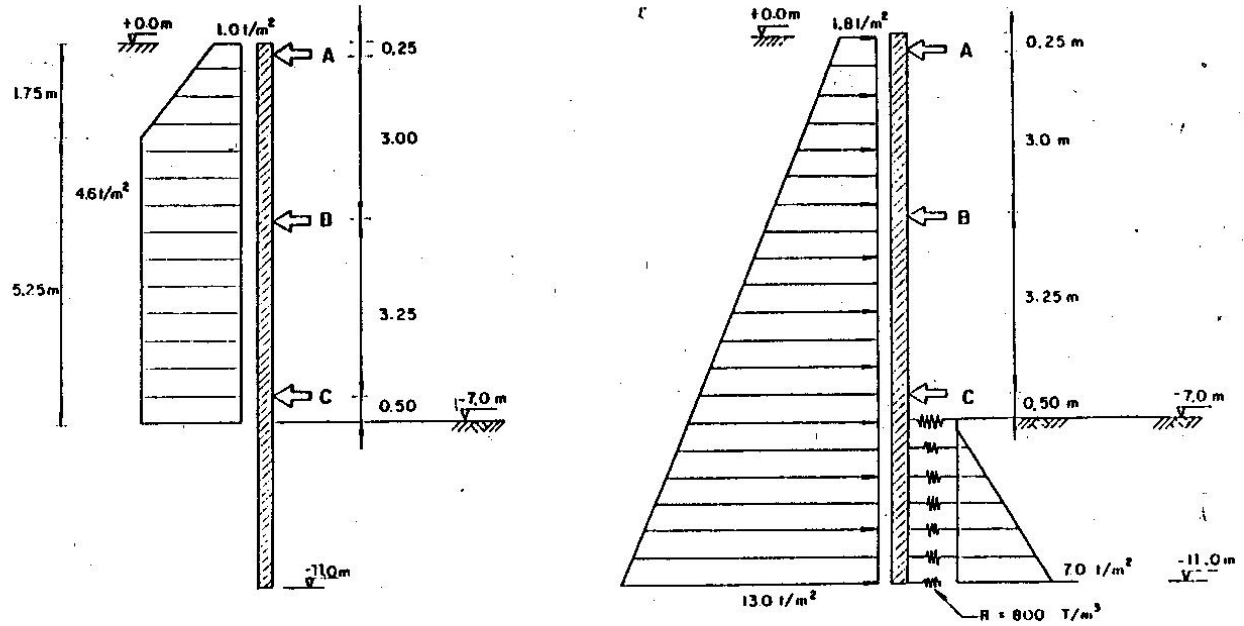


FIGURA 4 - PLANTA ESTRUCTURAL DE CIMENTACIÓN

INGENIERIA Y GEOTECNIA LTDA.



(a) Presión lateral a corto plazo

(b) Presión lateral a largo plazo

FIGURA 5 - DIAGRAMAS DE PRESION LATERAL

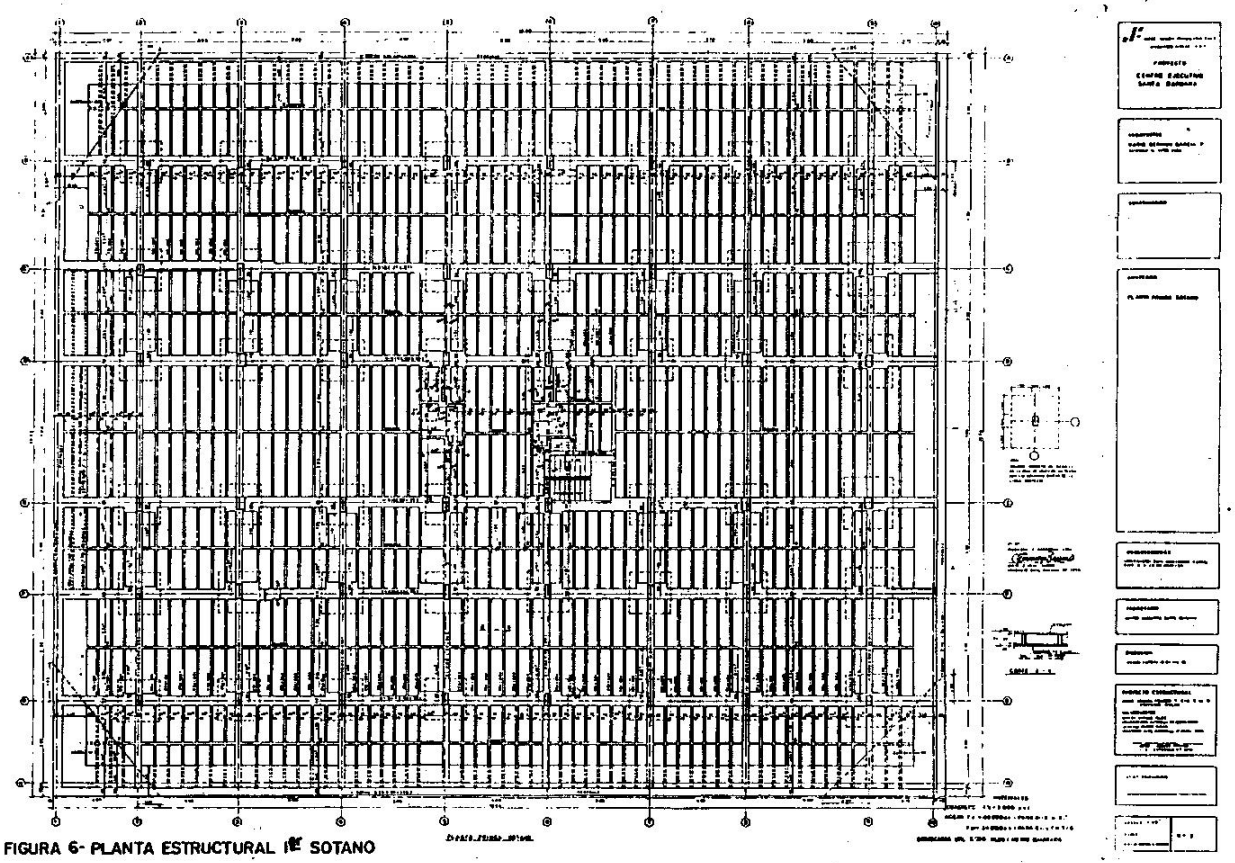


FIGURA 6- PLANTA ESTRUCTURAL 1ER SOTANO

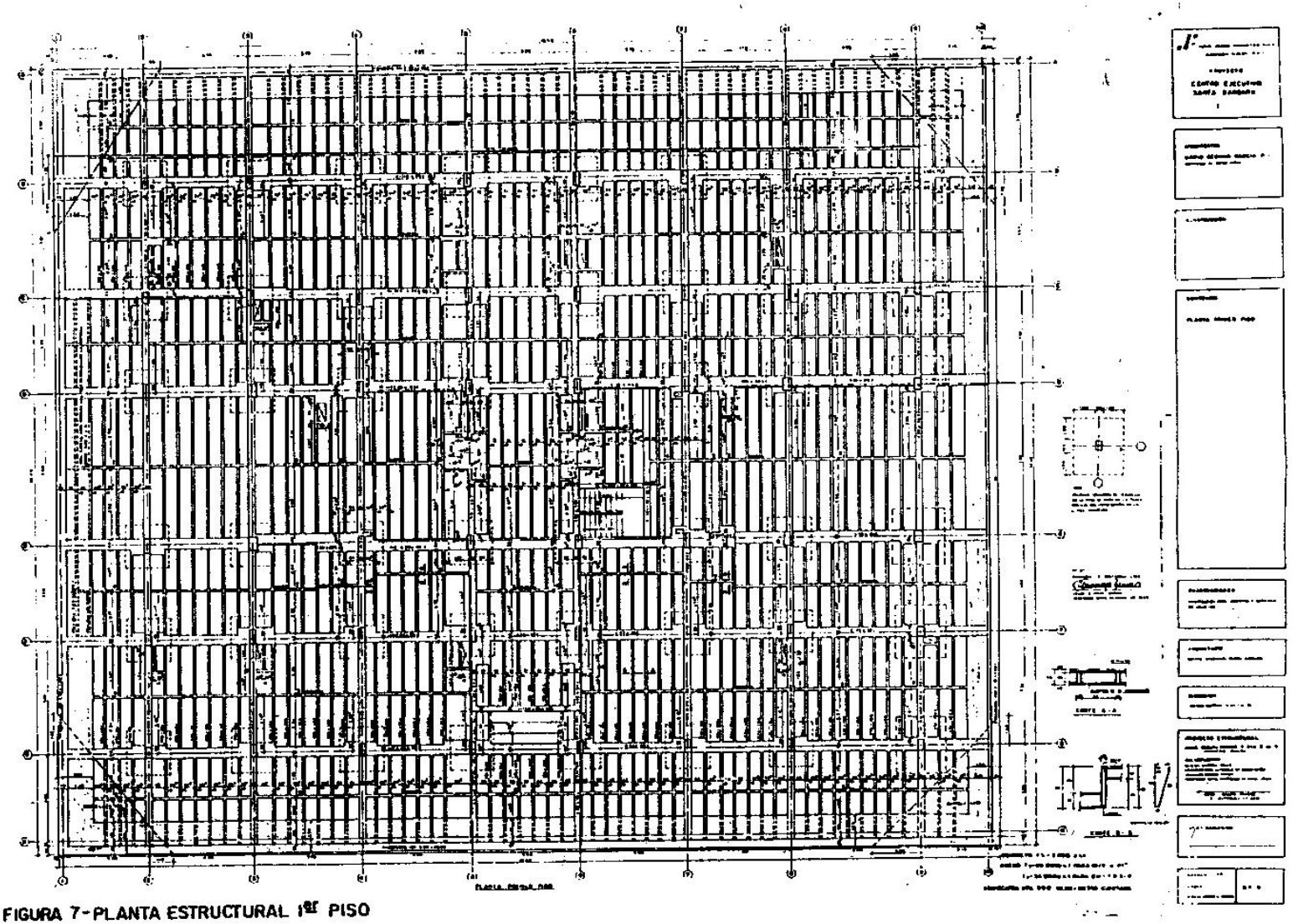


FIGURA 7-PLANTA ESTRUCTURAL 1ER PISO

ETAPA PRELIMINAR

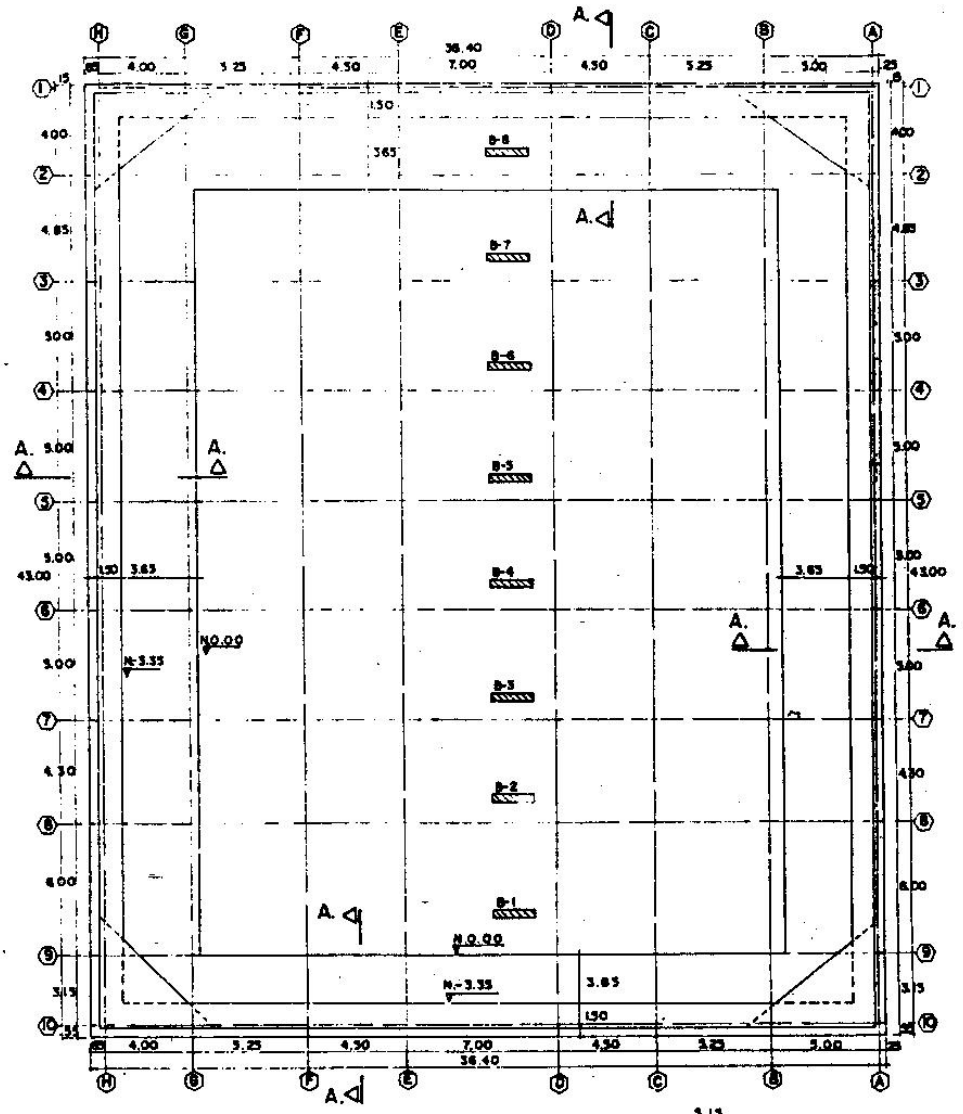
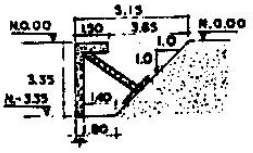
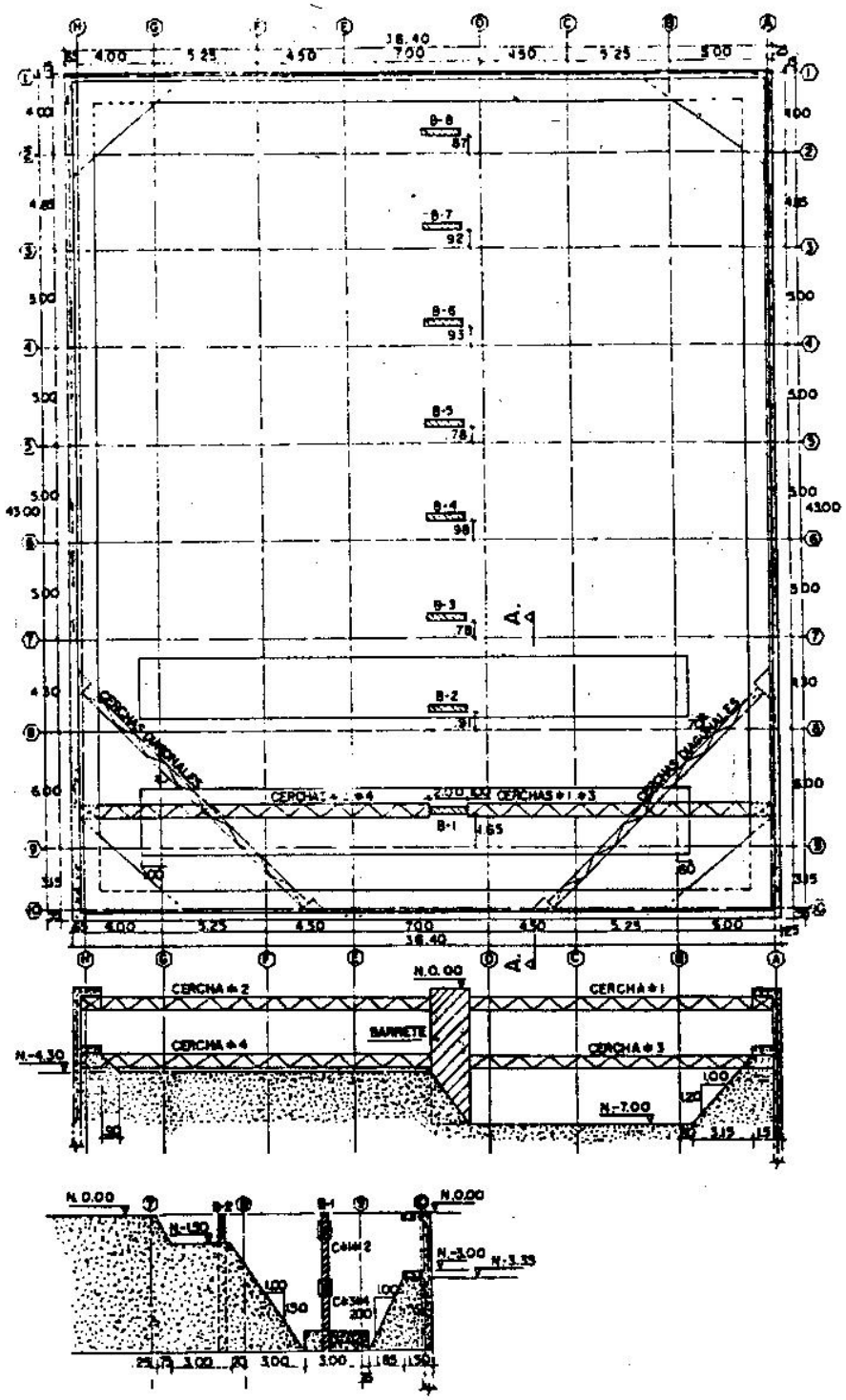


FIGURA 8- ETAPA PRELIMINAR



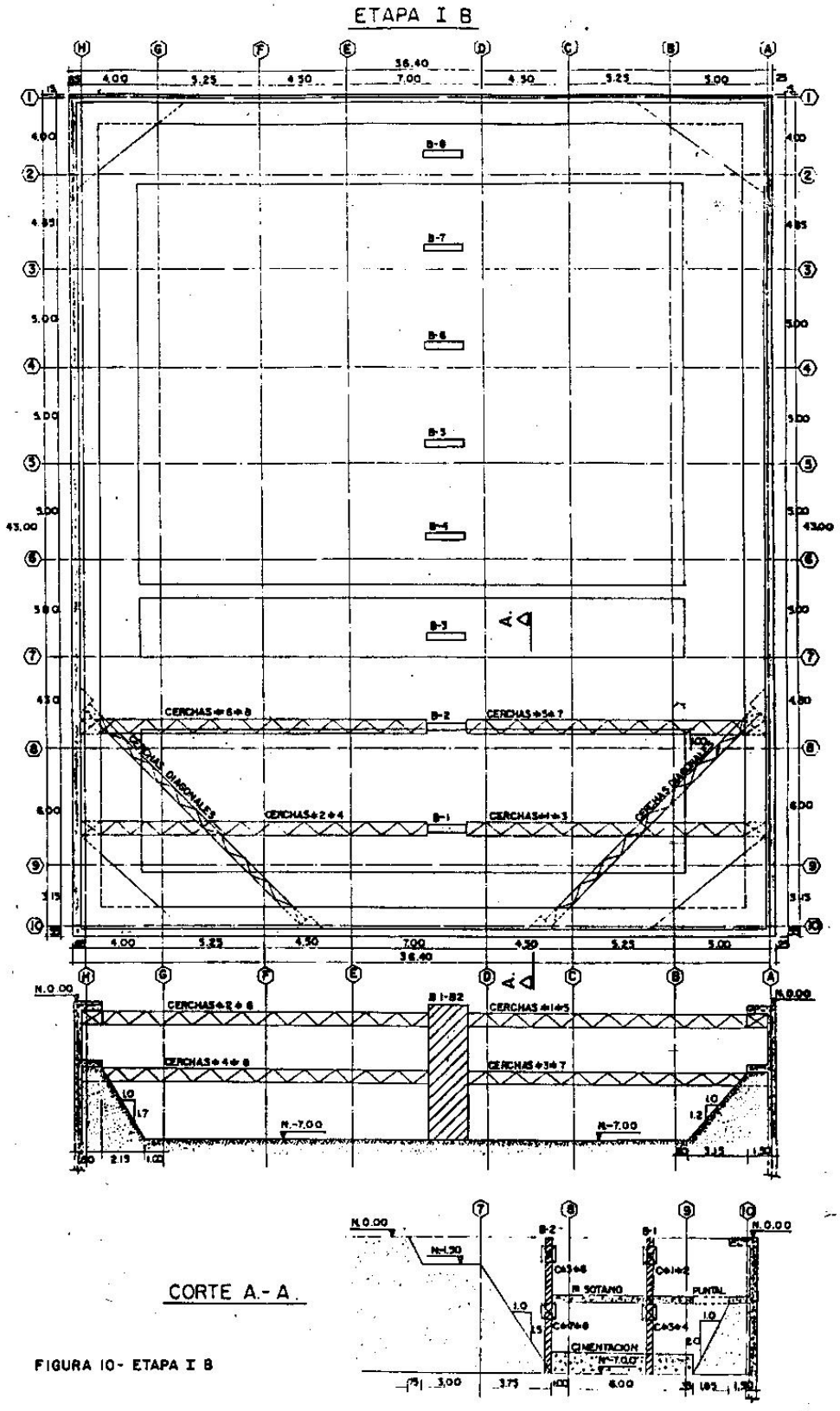
CORTE A.-A.

ETAPA I A



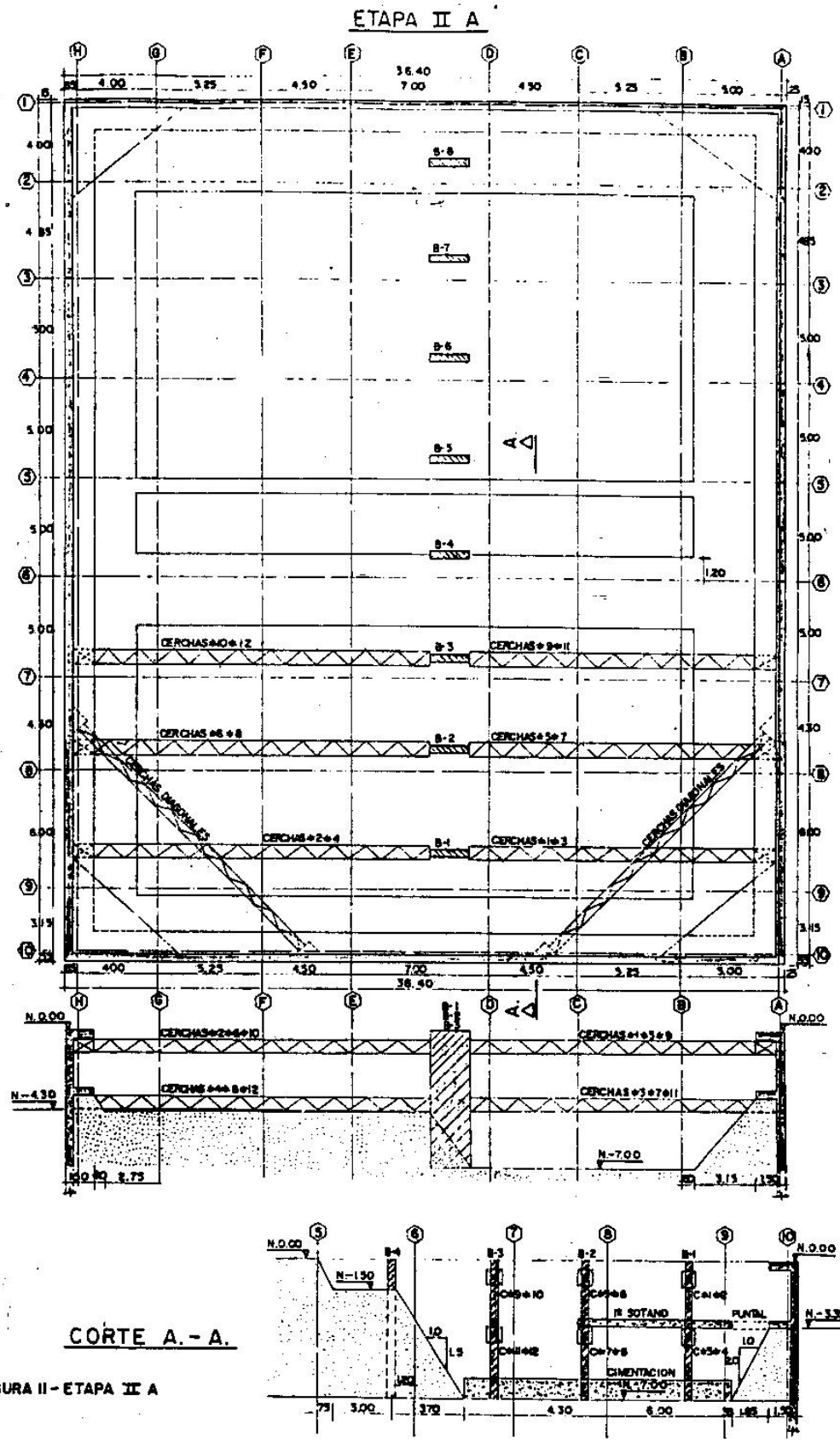
CORTE A.-A.

FIGURA 9 ETAPA I A



CORTE A.- A

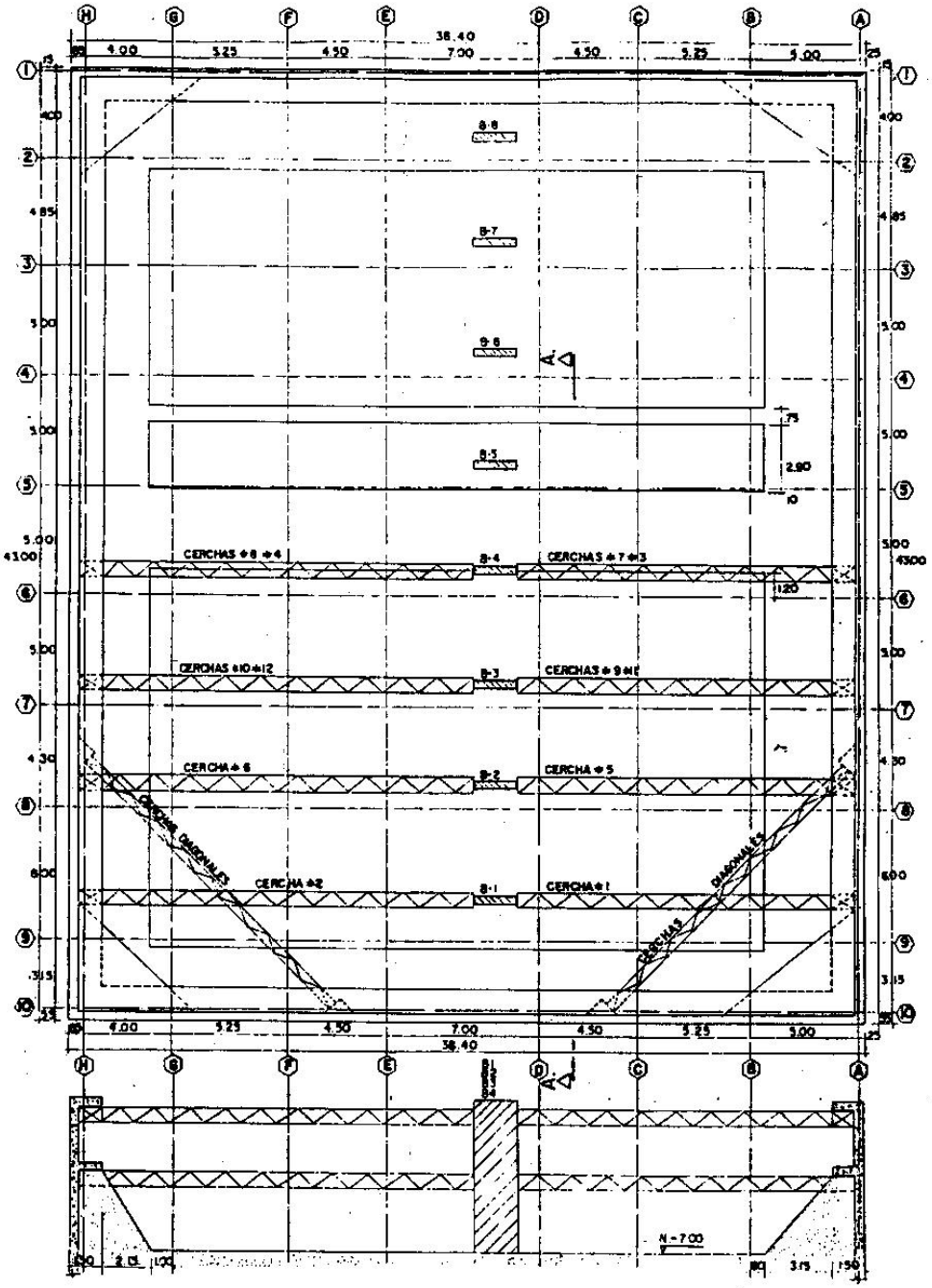
FIGURA 10- ETAPA I B

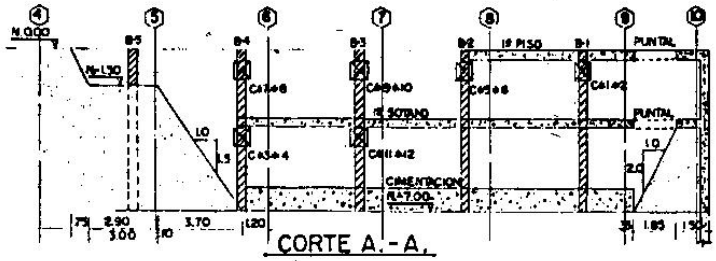


CORTE A.- A.

FIGURA II - ETAPA II A

ETAPA II B





CORTE A.-A.

URA 12 - ETAPA II B

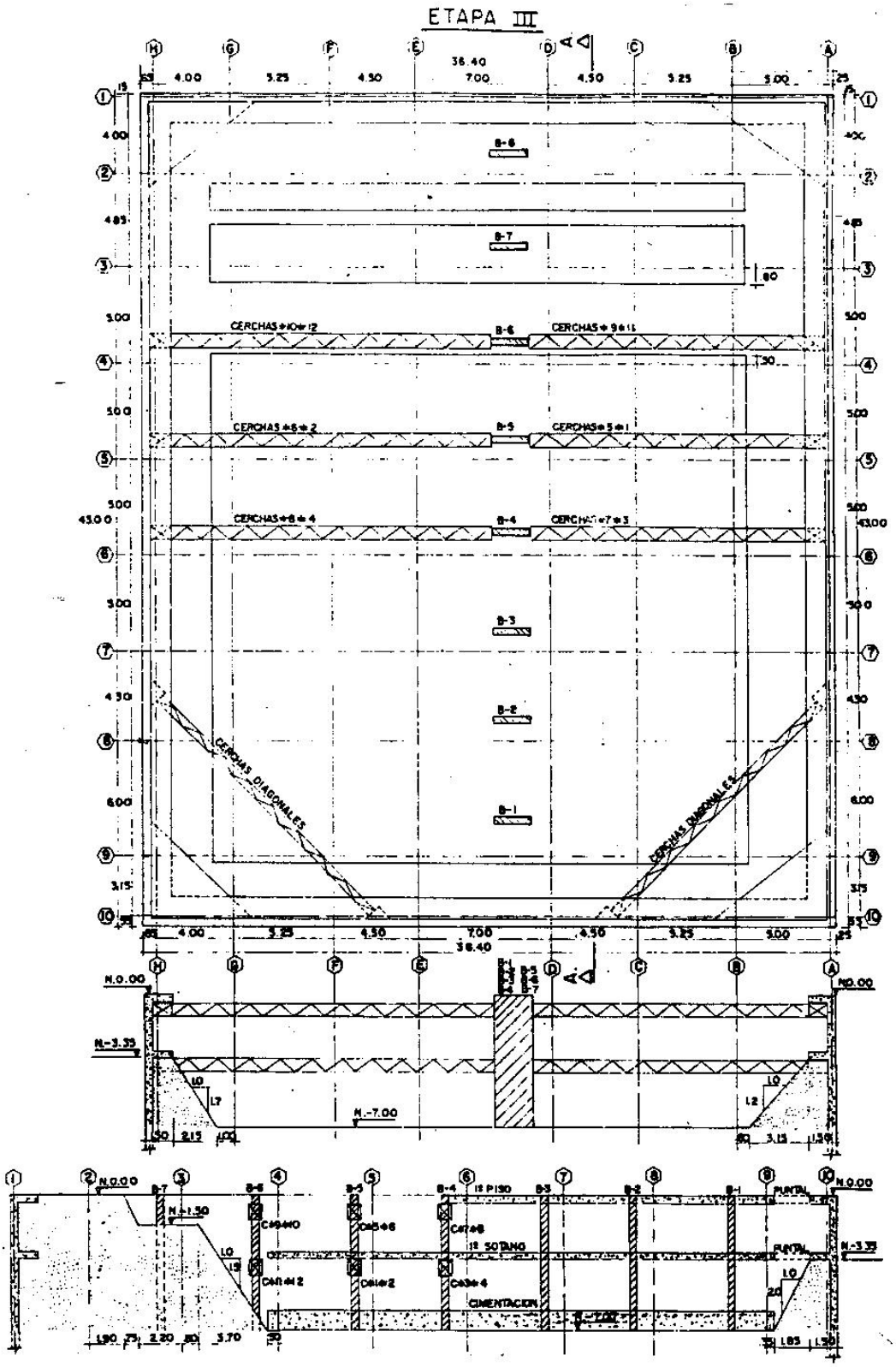


FIGURA 13 ETAPA III

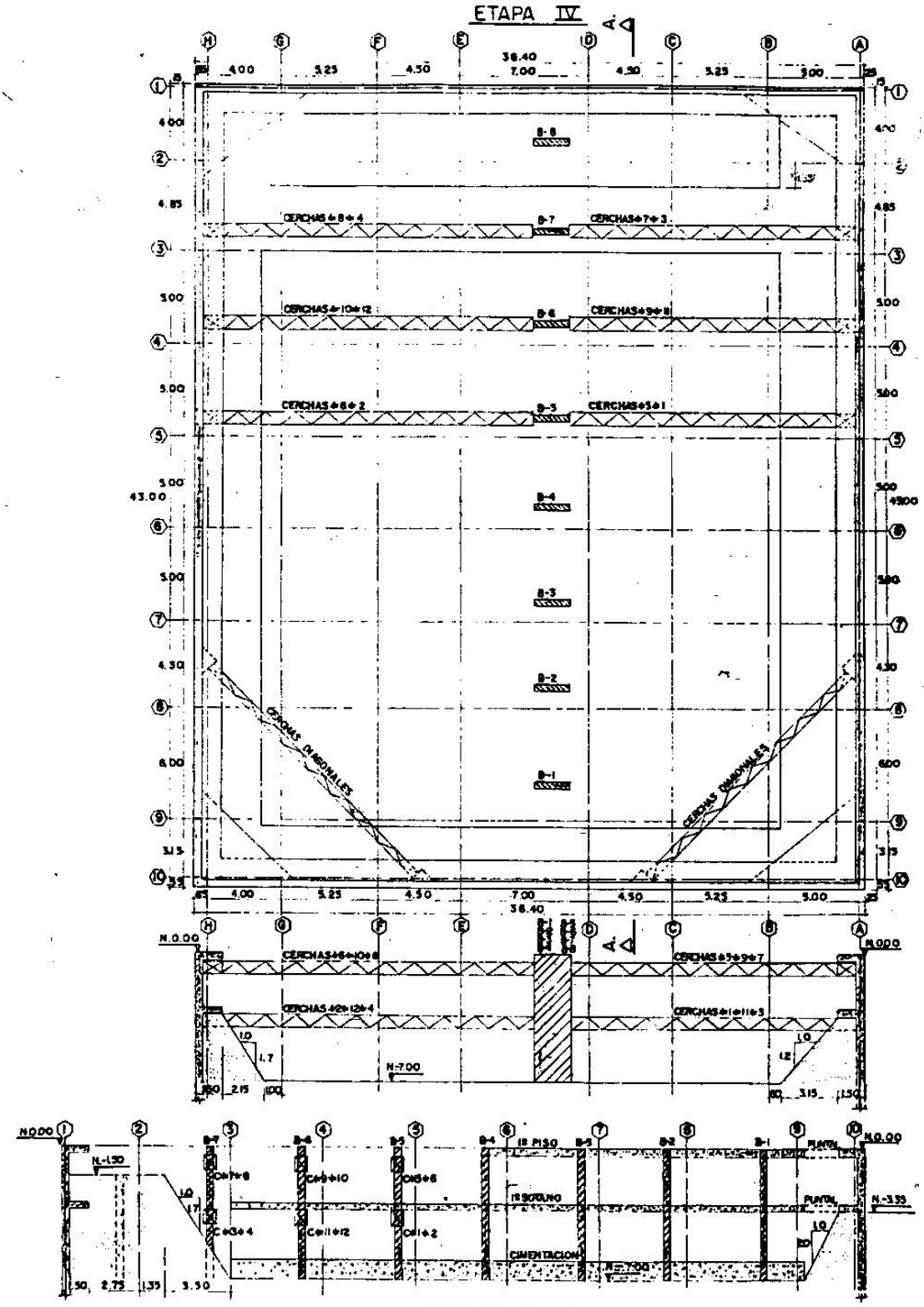


FIGURA 14 ETAPA IV

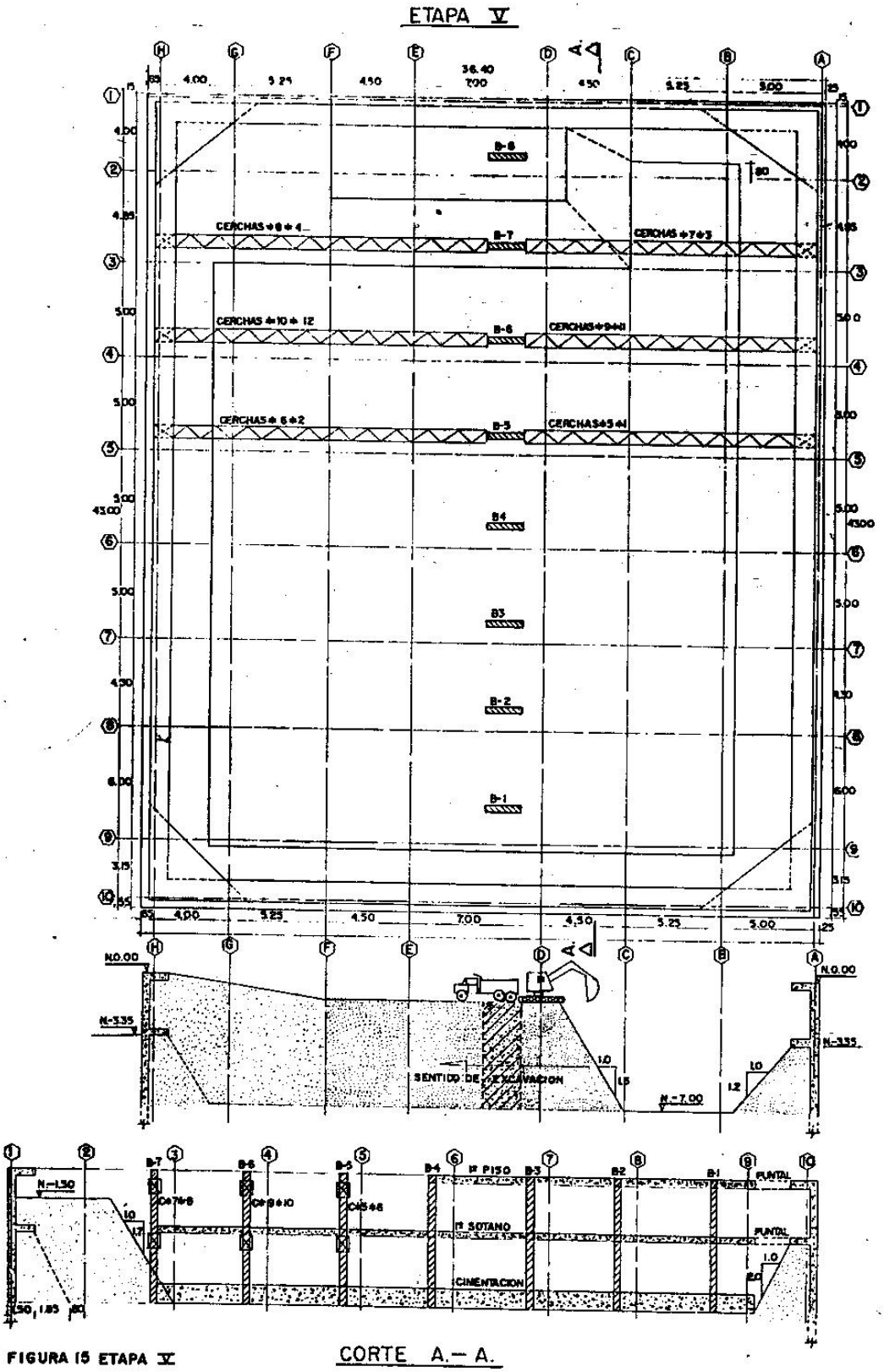
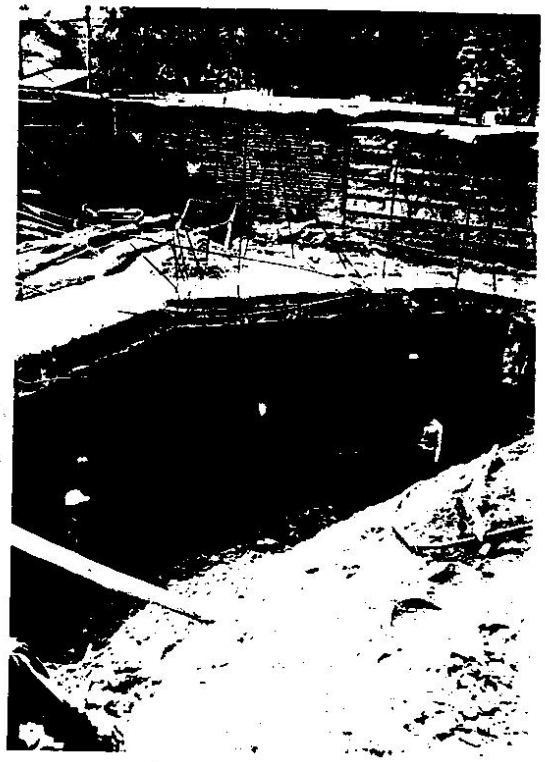
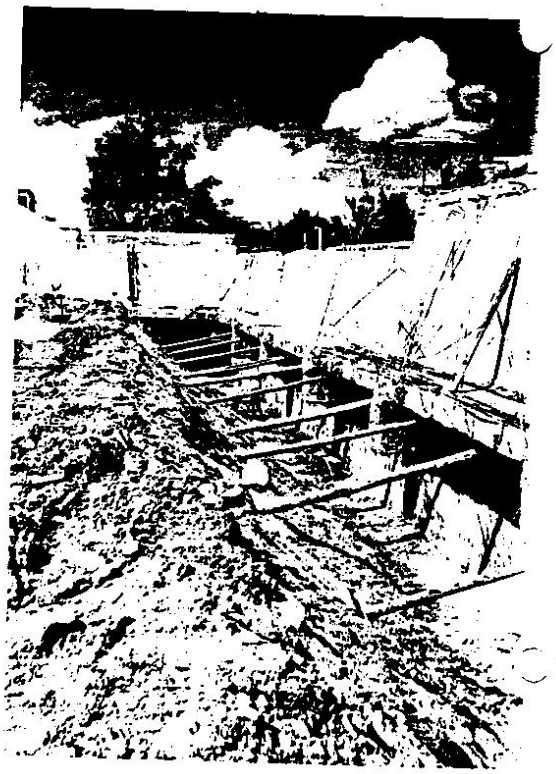
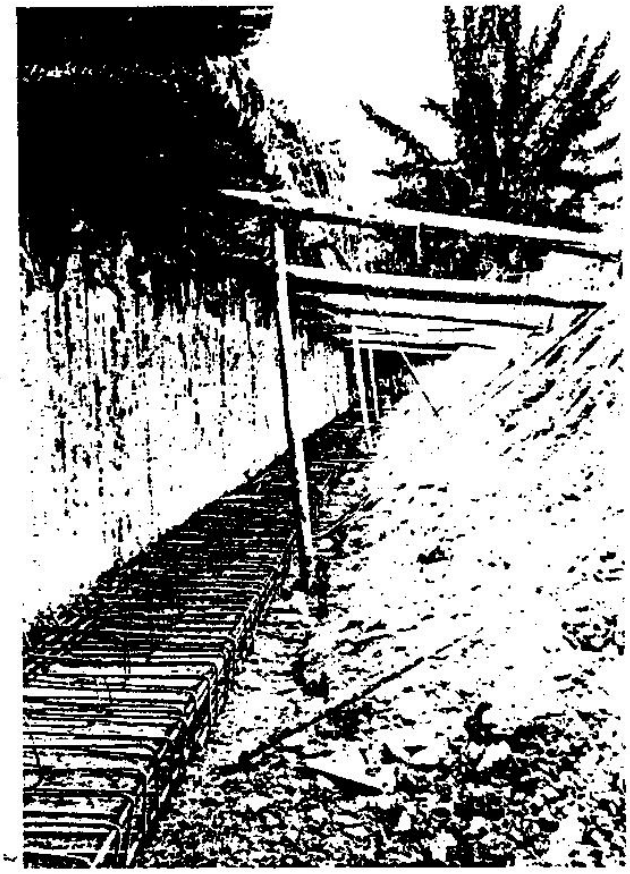
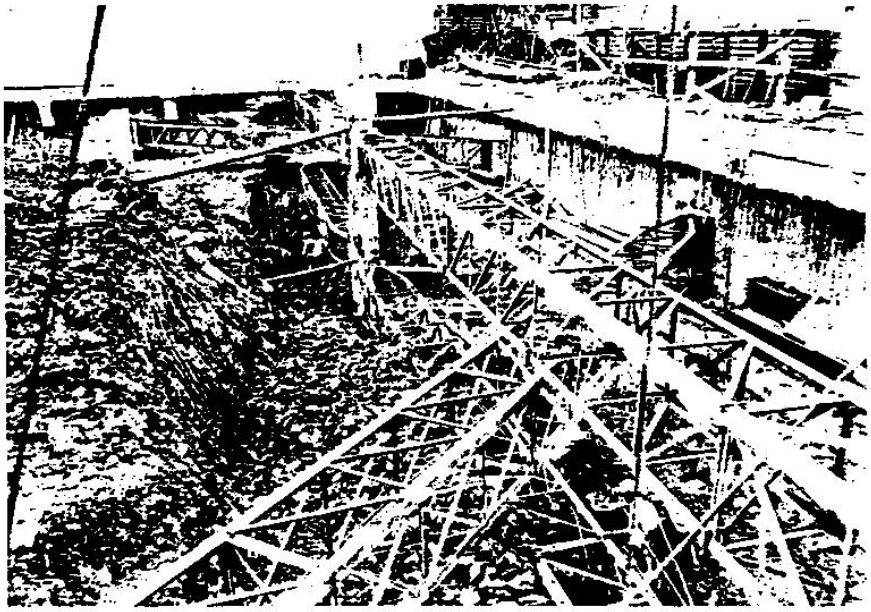
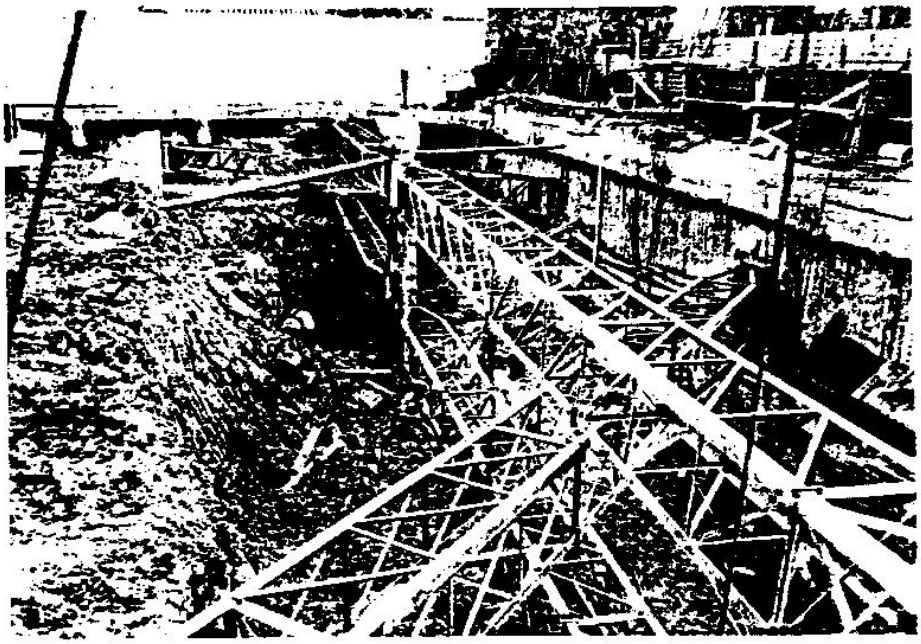
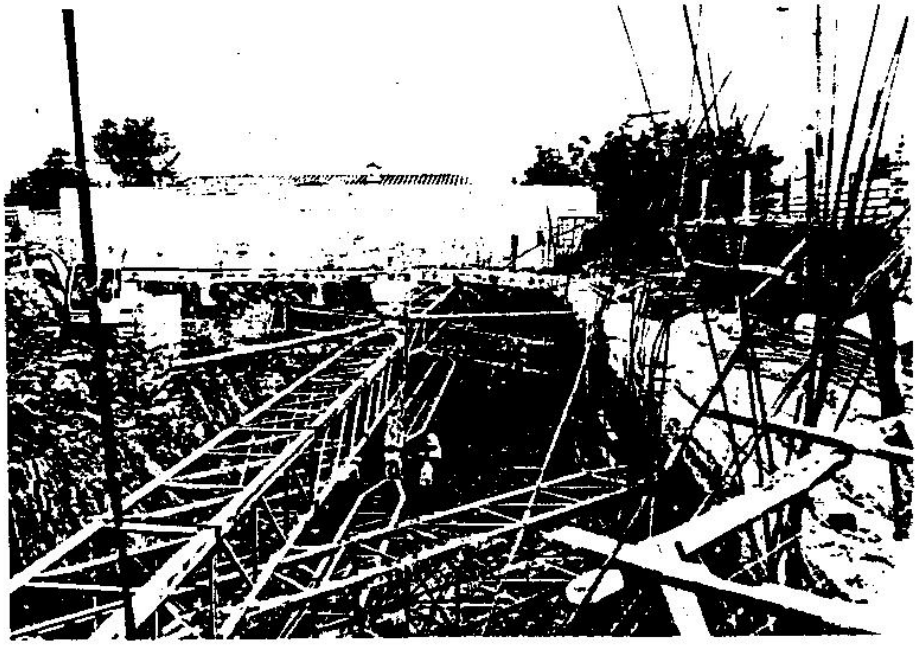
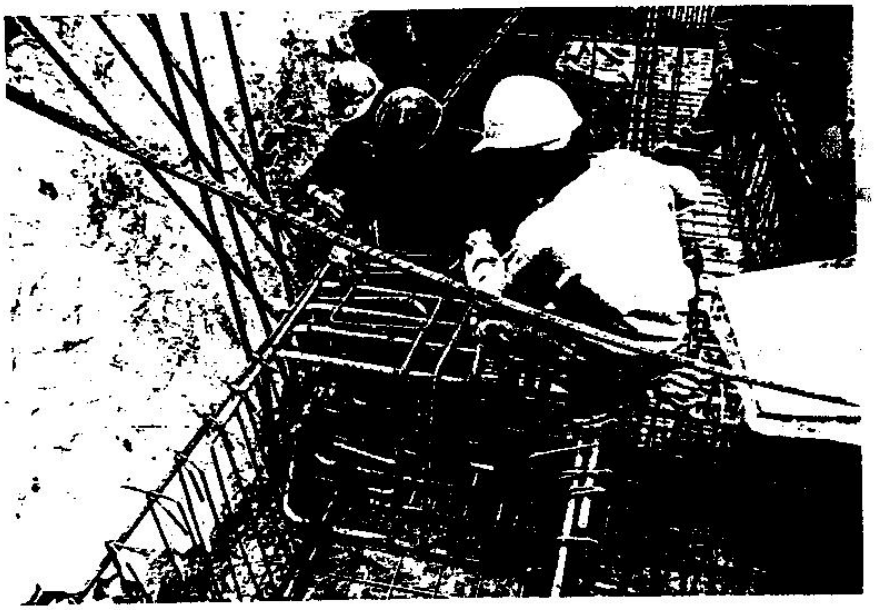
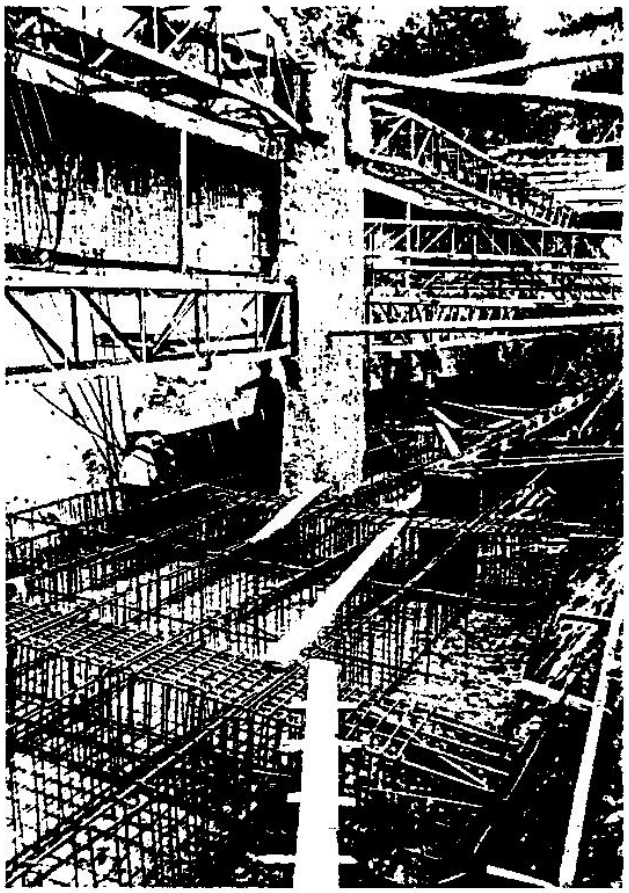
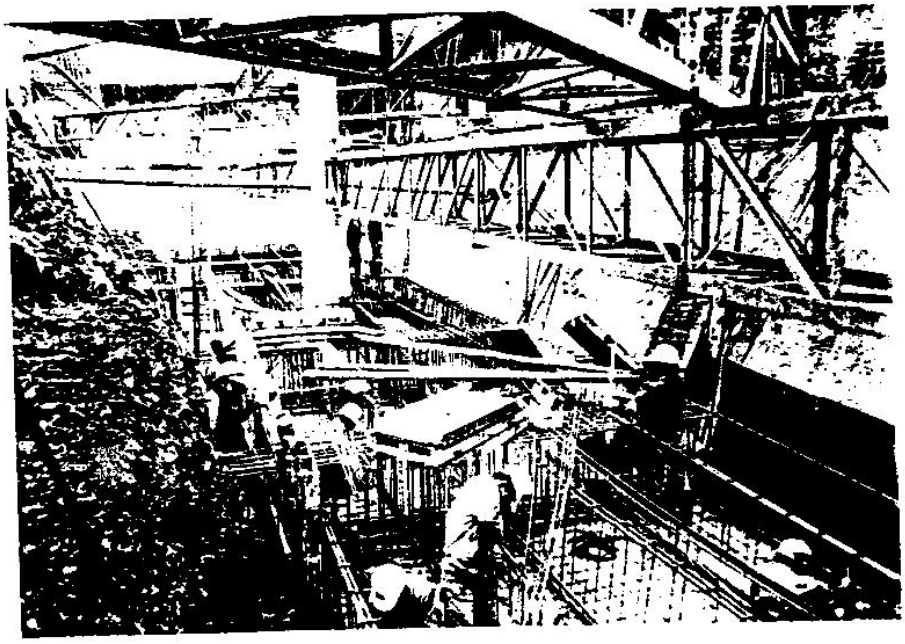


FIGURA 15 ETAPA V

CORTE A.— A.