



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

---

---

FACULTAD DE INGENIERIA

"PROYECTO INTEGRAL "SAN JUAN DE ULUA"

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A :

JOSE AGUSTIN MONTAÑO BARRON



M.I. REGINALDO HERNANDEZ ROMERO

MEXICO, D. F.

2004



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/131/03

Señor  
JOSÉ AGUSTÍN MONTAÑO BARRÓN  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. REGINALDO HERNANDEZ ROMERO, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"PROYECTO INTEGRAL "SAN JUAN DE ULÚA"**

- INTRODUCCIÓN
- I GENERALIDADES
- II PROBLEMÁTICA PRESENTE EN LA FORTALEZA DE SAN JUAN DE ULÚA
- III ESTUDIOS REALIZADOS EN LA FORTALEZA
- IV SOLUCIONES PROPUESTAS
- V CONCLUSIONES

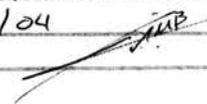
Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 2 Diciembre 2003.  
EL DIRECTOR

  
M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO  
GFB/AJP/crc.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: José Agustín  
Montaño Barrón  
FECHA: 13/II/04  
FIRMA: 

# **Proyecto Integral “San Juan de Ulúa”**

**José Agustín Montaña Barrón**

A mi Dios.  
A Plácida Barrón, mi Madre.  
A mi Tía Lucía, a mi Abuela María y a mi Abuela Teresa.  
Al Ing. Agustín Montaña Elisea, mi Padre.  
A mi Abuelo José, que en la gloria esté.  
A todos mis Maestros.  
A Karla y a Moni.  
A "Fito" y a "Reno".  
A mis hermanos Marisela y Vicente.  
A mi Universidad.  
A todos los que han acompañado mis pasos en esta maravillosa aventura  
que es la vida, en alguna jornada o durante toda ella.  
A quienes me han brindado ese maravilloso don que significa la amistad y  
el amor.  
A los que pusieron barreras y obstáculos en mi camino sin pensar que  
aprendería yo a superarlos.  
Y a todos aquellos que ahora olvida el pensamiento pero jamás mi corazón.

*¡Gracias! ¡Lo hemos logrado!*

# Índice.

|  |           |
|--|-----------|
| Índice.....  | I         |
| Introducción.....  | II        |
| <b>I. Generalidades.....</b>   | <b>1</b>  |
| I.1. HISTORIA DEL INMUEBLE.....  | 1         |
| I.2. ESTRUCTURA.....   | 3         |
| I.3. FACTOR DE ESCALA UTILIZADO EN LAS FOTOGRAFÍAS.....  | 5         |
| <b>II. Problemática presente en la Fortaleza de San Juan de Ulúa.....</b>  | <b>6</b>  |
| II.1. SEDIMENTACIÓN EN LA ZONA DE CANALES INTERIORES.....  | 8         |
| II.2. ESTABILIDAD DE LA PLATAFORMA MARINA QUE SUSTENTA A LA FORTALEZA.....   | 11        |
| II.3. OQUEDADES POR EROSIÓN EN LA PLATAFORMA MARINA.....   | 18        |
| II.4. DETERIORO ESTRUCTURAL.....   | 25        |
| <b>III. Estudios realizados en la Fortaleza.....</b>   | <b>29</b> |
| III.1. MEDIDORES DE JUNTAS.....  | 29        |
| III.2. SONDEOS.....  | 34        |
| III.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS CORALES UTILIZADOS COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN EN LA FORTALEZA DE SAN JUAN DE ULÚA.....                        | 35        |
| III.4. MONITOREO.....  | 36        |
| III.4.1. <i>Corrientes marinas de los canales internos de la Fortaleza</i> .....   | 37        |
| III.4.2. <i>Tipo de sedimento en la zona marina adyacente a la Fortaleza</i> .....   | 37        |
| III.4.3. <i>Características físico-químicas del cuerpo de agua aledaño a la Fortaleza</i> .....  | 38        |
| III.5. REFERENCIAS TOPOGRÁFICAS.....   | 41        |
| III.6. REFERENCIAS EN MUROS.....   | 42        |
| INCLINÓMETROS DE PVC.....  | 43        |
| III.8. ESTRATIGRAFÍA.....  | 51        |
| <b>IV. Solución a estabilidad y oquedades.....</b>   | <b>53</b> |
| IV.1. REPARACIÓN DE MUROS SUMERGIDOS EN LAS LUNETAS DE NUESTRA SEÑORA DEL PILAR Y DE SANTA CATARINA, REVELLÍN DE SAN JOSÉ Y CONTRAESCARPE..... | 53        |
| IV.2. DRAGADO DE CANALES INTERIORES.....   | 57        |
| IV.3. RELLENO DE CAVERNAS SUBMARINAS CON CONCRETO HIDRÁULICO.....  | 58        |
| IV.4. RECONSTRUCCIÓN DEL MUELLE DE LAS ARGOLLAS.....   | 59        |
| IV.5. COLOCACIÓN DEL TABLAESTACADO METÁLICO.....   | 62        |
| IV.6. DRAGADO ENTRE LA TABLAESTACA Y EL MURO SUMERGIDO DEL MUELLE DE LAS ARGOLLAS.....   | 68        |
| IV.7. COLOCACIÓN DEL ENROCAMIENTO ENTRE TABLAESTACA Y MUROS SUMERGIDOS.....  | 69        |
| <b>V. Conclusiones.....</b>  | <b>71</b> |
| <b>Bibliografía.....</b>   | <b>75</b> |

## Introducción.

La Ingeniería Civil Mexicana se ha caracterizado por tener influencia en ámbitos que parecerían alejados de su campo de acción, al menos para aquellos que son ajenos a la carrera o que se han acostumbrado al ingeniero de botas y casco metido entre planos de estructuras y caminos. Así por ejemplo, ya no debería causar extrañeza hallar a un profesional de la Ingeniería proyectando los túneles de minas, calculando la profundidad de barrenos y la cantidad de explosivo requerida para la explotación de canteras, planificando las operaciones de atraque, carga y descarga de barcos en un puerto u optimizando el flujo vehicular para un nuevo tramo carretero, entre otras actividades.

La conservación, restauración y rescate de monumentos históricos es una de las tareas que aparentemente están consagradas a otras disciplinas, sin embargo, es posible encontrar muchos ejemplos en que los conocimientos de un Ingeniero son requeridos para la correcta ejecución de trabajos de esta índole. Bastaría con mencionar la recimentación de la Catedral Metropolitana en la Ciudad de México, los estudios de Mecánica de Suelos realizados en el subsuelo del Centro Histórico en esta misma ciudad, el monitoreo estructural en el Convento de la Vega de Meztlán en el estado de Hidalgo, o simplemente la ayuda prestada por ingenieros para la recuperación de elementos arqueológicos cuando estos son hallados a la mitad del desarrollo de un proyecto.

Es precisamente en uno de los más representativos monumentos históricos de México donde la Ingeniería Civil encontró campo fértil para la aplicación de sus habilidades: La Fortaleza de San Juan de Ulúa, en el estado de Veracruz.

La historia de esta construcción, desde el punto de vista actual de planeación y funcionalidad, indicaría que la Fortaleza carece de utilidad, sobre todo porque a lo largo del tiempo fue modificada según las necesidades que el momento presentaba, pero sin considerar eventualidades a futuro. Sin embargo, y sin duda el motivo en que radica la importancia del Fuerte, es que ha sido testigo y escenario de sucesos importantes que forman parte la historia del país. Así pues, mas allá de las leyendas de "Chucho el Roto" o el castigo terrible de la gota de agua, la Fortaleza de San Juan de Ulúa es ahora símbolo de nuestra cultura, y motivo de orgullo, sobre todo para los habitantes del Puerto de Veracruz, que ven en San Juan de Ulúa algo más que un bonito sitio de atracción turística.

Una serie de acciones, que van desde las modificaciones a la Fortaleza hasta el crecimiento de la ciudad y el puerto, han ocasionado deterioro en la estructura y funcionalidad de la Fortaleza. Este trabajo consiste en una revisión general de los problemas que aquejan al Fuerte y algunas soluciones planteadas para evitar mayores daños. En el primer capítulo se habla de generalidades de la Fortaleza, como su historia y su estructura, y se muestra un factor de escala utilizado como referencia en algunas fotografías que ilustran el trabajo.

Un segundo capítulo se dedica a explicar a detalle los principales problemas que ha presentado la Fortaleza. Se habla sobre la sedimentación que se presentó en los canales interiores, que impidió el libre flujo de agua, además de causar deterioro estructural en cimentaciones. Por la vecindad de San Juan de Ulúa con el canal de navegación del Puerto de Veracruz, se ha presentado inestabilidad en los taludes de la plataforma marina que sustentan el inmueble, y existe migración de material que ha causado socavaciones en la plataforma. Estos problemas también son tratados en este capítulo.

Los problemas que atacan a San Juan de Ulúa, las consecuencias que los mismos acarrearán y los datos necesarios para proponer soluciones, requirieron que se llevaran a cabo estudios de diferente índole. En el tercer capítulo se habla sobre estos estudios y los resultados que arrojaron. Dentro de estos se encuentra la supervisión de la estructura mediante medidores de juntas, sondeos que permitieron conocer las características de la plataforma marina y generar su estratigrafía, la caracterización de los corales que forman la estructura de la Fortaleza, el monitoreo de los sedimentos y las características de los cuerpos de agua que rodean al Fuerte, referencias topográficas y en muros, además de la implementación de inclinómetros de P.V.C. para verificar la estabilidad de la estructura.

Para mitigar los impactos provocados por la problemática y vigilar la funcionalidad de la Fortaleza, se proponen y llevan a efecto soluciones que se analizan en el capítulo cuarto. Se habla acerca de la reparación de los muros sumergidos y cimentación en la zona de canales, el desazolve de estos, el relleno de cavernas en la plataforma marina y la reconstrucción de elementos afectados por la socavación, y la protección del Fuerte mediante la implementación de tablaestacas.

Si el lector pertenece a un área apartada a la Ingeniería Civil, seguramente se sorprenderá al encontrarse la injerencia de esta profesión en algo que parecería totalmente distinto al trabajo del Ingeniero, pero si quién consulta este trabajo es propio del ámbito, sin duda ampliará sus horizontes al descubrir la influencia profunda que puede tener la Ingeniería dentro de la Antropología, y reafirmará su espíritu de servicio a la sociedad al tener la oportunidad de preservar su cultura.

## I. Generalidades.

Desde que inició la dominación en América, el gobierno hispano se preocupó por establecer una serie de fortificaciones con objeto de evitar ataques marítimos y mantener un estricto control del comercio en sus colonias.

En el puerto de Veracruz no hubo instalaciones portuarias comerciales hasta el último cuarto del siglo XVIII, pues el comercio se realizaba sin la necesidad de muelles. Sin embargo, desde el siglo XVI se propone que la fortaleza de San Juan de Ulúa sea modificada con fines defensivos, al dotarla de dos baluartes y cambiar a la población que habitaba el islote al continente.

Se comenta con mayor detalle la historia de la Fortaleza de San Juan de Ulúa, y se hace evidente la serie de modificaciones que a lo largo de su historia ha sufrido. Igualmente se habla acerca de la estructura que conforma al monumento.

### I.1. Historia del inmueble (Ref 1).

La primera expedición española que llegó a las costas de Veracruz, en 1518, estaba al mando de Juan de Grijalva quien desembarcó en un islote al que bautizó con el nombre de San Juan de Ulúa; San Juan por ser 24 de junio, día de San Juan Bautista, y Ulúa porque creyó oír pronunciar a los naturales que ahí se encontraban las palabras de *ulúa* o *colúa*.

El 21 de abril de 1519 llega la segunda expedición que fondeó junto a San Juan de Ulúa dirigida por Hernán Cortés quien, tocando tierra firme frente a la isla fundó la Villa Rica de la Vera Cruz y nombró un ayudante provisional. Poco después estableció la villa en las proximidades de Quiahuiztlan y más tarde en La Antigua; posteriormente ésta fue trasladada al sitio actual, en donde había sido fundada inicialmente.

La Villa Rica de la Vera Cruz, punto de partida de la conquista de México, se convirtió en la puerta de entrada a la Nueva España. Sin embargo, por encontrarse en un litoral sumamente bajo y expuesto, las naves y en especial los galeones, anclaban al abrigo de varios muros para la defensa del puerto y un muelle en construcción. La isla de San Juan de Ulúa era el punto más protegido del Golfo; de ahí se trasladaba a viajeros y carga en pequeñas barcas a tierra firme; así, San Juan de Ulúa era un paso forzoso para llegar a la Nueva España.

De esta manera comenzaron a levantarse construcciones que sirvieron para proteger a la flota de los enemigos tanto humanos como naturales. Hacia 1552 existía en el islote una pequeña torre no mayor que la altura de un hombre. Para fines del siglo XVI, la Torre Vieja formó complemento de un muro de argollas y un baluarte en su extremo que protegía a la flota real naviera de los vientos impetuosos del norte. Construidas en mampostería de coral, otras construcciones de madera sirvieron como habitaciones para esclavos, una iglesia, una vicaría y el

hospital de San Martín que se había fundado diez años antes para curar a los enfermos de las escuadras y que estaba a cargo de los frailes hipólitos.

Al finalizar el siglo XVI el virrey Gaspar de Zúñiga ordenó que la ciudad se estableciera donde ahora se encuentra el descabezamiento de La Antigua, se efectúa en un periodo de diez años (1590-1600), y para la última década, se realiza el segundo proyecto oficial, por el ingeniero Bautista Antonelli, con la misma monumentalidad con que diseñó el morro de la Habana; este proyectaría para San Juan de Ulúa una fortaleza abaluartada que sirvió para proteger el fondeadero y la futura población de Veracruz en la zona de las ventas frente a Ulúa.

En 1681 la Junta de Guerra nombró al ingeniero Jaime Franck para que proyectara y construyera la fortaleza de San Juan de Ulúa complementando las primeras estructuras al recinto, plan que aceptó en 1689 el virrey de Monclova. Años después se complementaron algunos elementos de la fortaleza: el baluarte de la Soledad fue terminado en 1707, y en 1710 la torre del Caballero Alto, en el baluarte de San Crispín. De 1711 a 1761 se realizaron diversas obras que le dieron un carácter definitivo; para 1742 se construyen las baterías de Guadalupe y San Miguel. De 1763 a 1779 se edificó el rebellín, las lunetas, el foso, el camino de ronda (cubierto) y el Glasis; y para complementar las obras exteriores del siglo XIX se levantó la batería corrida de Glasis en el perímetro norte de la fortaleza.

La fortaleza de San Juan de Ulúa y sus anexos se consideraron de gran importancia militar durante la época colonial, gracias a ello, fue posible defender el puerto de Veracruz de las incursiones de piratas y filibusteros; al mismo tiempo que cumplía con su función militar, también era aprovechada como prisión.

Durante la guerra de Independencia sirvió como baluarte a las fuerzas españolas y fue su último reducto, ya que después de arduos combates, el general Miguel Barragán logró que sus defensores capitularan en 1825.

Durante las primeras décadas del México independiente, y debido a los continuos cambios de poder, la fortaleza estuvo llena de presos políticos, entre ellos algunos compatriotas notables, como Melchor Ocampo, los frailes Servando Teresa de Mier y Melchor de Talamantes. Más tarde en el gobierno de Porfirio Díaz, su celebridad como prisión aumentó, ya que en ella se confinó a miles de ciudadanos; de esa época data la reclusión de "Chucho el Roto" y la demolición de algunas partes de la construcción original para levantar talleres dentro de la fortaleza.

El 2 de julio de 1915 el primer jefe del Ejército Constitucionalista, Venustiano Carranza, decretó que San Juan de Ulúa dejara de ser presidio. Parte del edificio se destinó a residencia eventual del Poder Ejecutivo de la Unión y otra a reducto militar de una pequeña partida para vigilancia. Actualmente es un monumento histórico declarado así desde 1962 por decreto del presidente Adolfo López Mateos y entregado al INAH para su resguardo.

## I.2. Estructura (Ref. 1).

La altura general de la fortaleza no pasa de ocho metros y su planta es un paralelogramo irregular.

Consta de seis elementos principales; de los cuales, algunos todavía se conservan en buen estado: la fortaleza abaluartada, el Rebellín al noroeste de ésta, las lunetas de Nuestra Señora del Pilar y Catarina, el panteón y el polvorín. Las baterías de San Miguel y Guadalupe, así como el camino cubierto, Glasis y su batería corrida actualmente están desaparecidas.

La fortificación está compuesta por cuatro cortinas que forman un cuadrilátero, en cuyas esquinas se encuentran cuatro baluartes llamados San Pedro, al sureste; San Crispín, al suroeste; La Soledad, al noreste y el de Santiago, al noroeste.

Detrás de la cortina que mira al puerto de Veracruz se halla la Batería y Almacén de San Fernando, separado de la cortina por un Patio Cortadura.

El acceso al Recinto Abaluartado, desde el siglo XVIII, se encuentra al noreste en la espléndida puerta donde el barroco y el coral muestran el esplendor de la época.

En el centro hay un patio o plaza de forma rectangular, dentro del recinto la Gran Plaza de Armas es remarcada por el edificio de la Casa del Gobernador, los Cuarteles, el Pabellón de Ingenieros y la Arcada de San Fernando, en cuyos lados se encuentran el Palacio del Gobernador, que mira al noroeste; los pabellones que servían de habitación a la oficialidad, al norte, y que se componían de dos piezas bajas y dos altas. Al noroeste están unas galeras que se usaban de prisión para los reos condenados. En el ángulo suroeste del patio está colocada una escalera monumental para subir a las baterías altas, debajo de la cual se ubicaba la habitación destinada al Mayor de la Plaza.

La Casa del Gobernador está constituida por dos plantas: una baja compuesta de cuatro locales techados con una bóveda de cañón en donde se aloja la escalera; y una alta, con varias habitaciones, en donde vivía el gobernador de la fortaleza.

El baluarte de San Crispín está ocupado por aljibes en la planta baja, y en la alta, una galería de 20 metros de longitud, que en el siglo XVIII fue la Sala de Armas o Dragones. El baluarte de la Soledad tiene varias piezas techadas con bóveda que sirvieron de habitación de la tropa.

Al norte de la Fortaleza, fuera del cuerpo principal y unida por un puente de mampostería de coral y ladrillo, se encuentra el Rebellín de San José, cuya planta son dos triángulos separados por un pasillo que comunica con locales abovedados

por medio de una escalera, y de una rampa, con las baterías altas. Debajo del talud se alojan unos calabozos. El Rebellín de San José aún conserva su disposición y detalles primitivos, como son sus bóvedas de cañón. Al oeste y este del Rebellín de San José, separados por fosos, se sitúan dos plazas de armas, grandes espacios de forma poligonal en cuyos vértices, que miran al norte, se ubicaron los garitones para los vigías, estas plazas se unían mediante puentes levadizos con el Rebellín de San José y con camino cubierto.

Sobre el baluarte de San Crispín se halla un caballero, estructura de apoyo defensivo a un baluarte y sobre él una torre vigía o Atalaya.

En la figura 1.2.1. se muestra un plano en planta de la Fortaleza, y se señalan los elementos que la componen, descritos anteriormente.

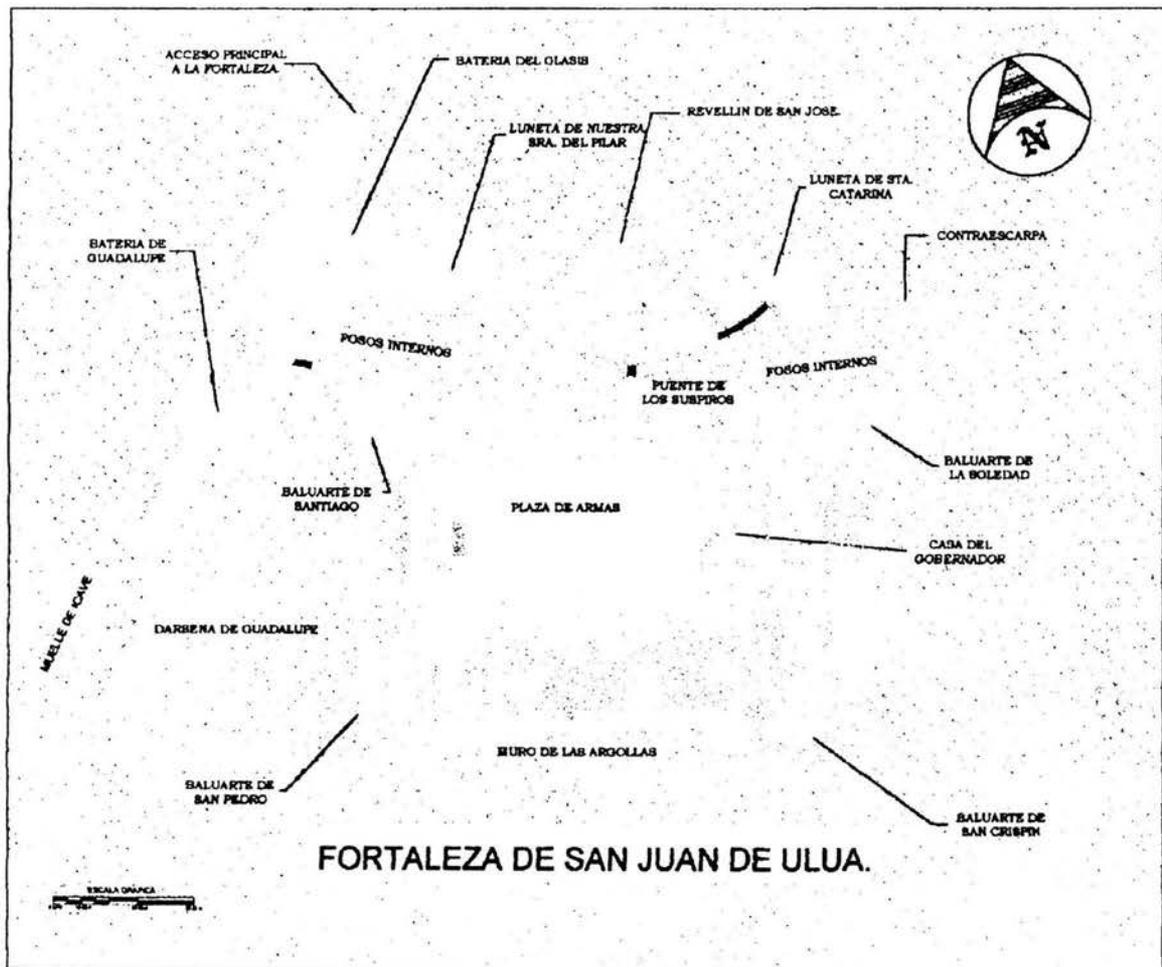


Figura 1.2.1. Fortaleza de San Juan de Ulúa. Vista en planta.

### I.3. Factor de escala utilizado en las fotografías.

Para tener una mejor referencia en cuanto al tamaño de ciertos elementos, se utiliza el muñeco mostrado en la figura 1.3.1. como factor de escala. En las fotografías en las que aparece, que son generalmente aquellas en que es importante mostrar alguna característica particular en la estructura de la Fortaleza, es muy fácil identificarlo.

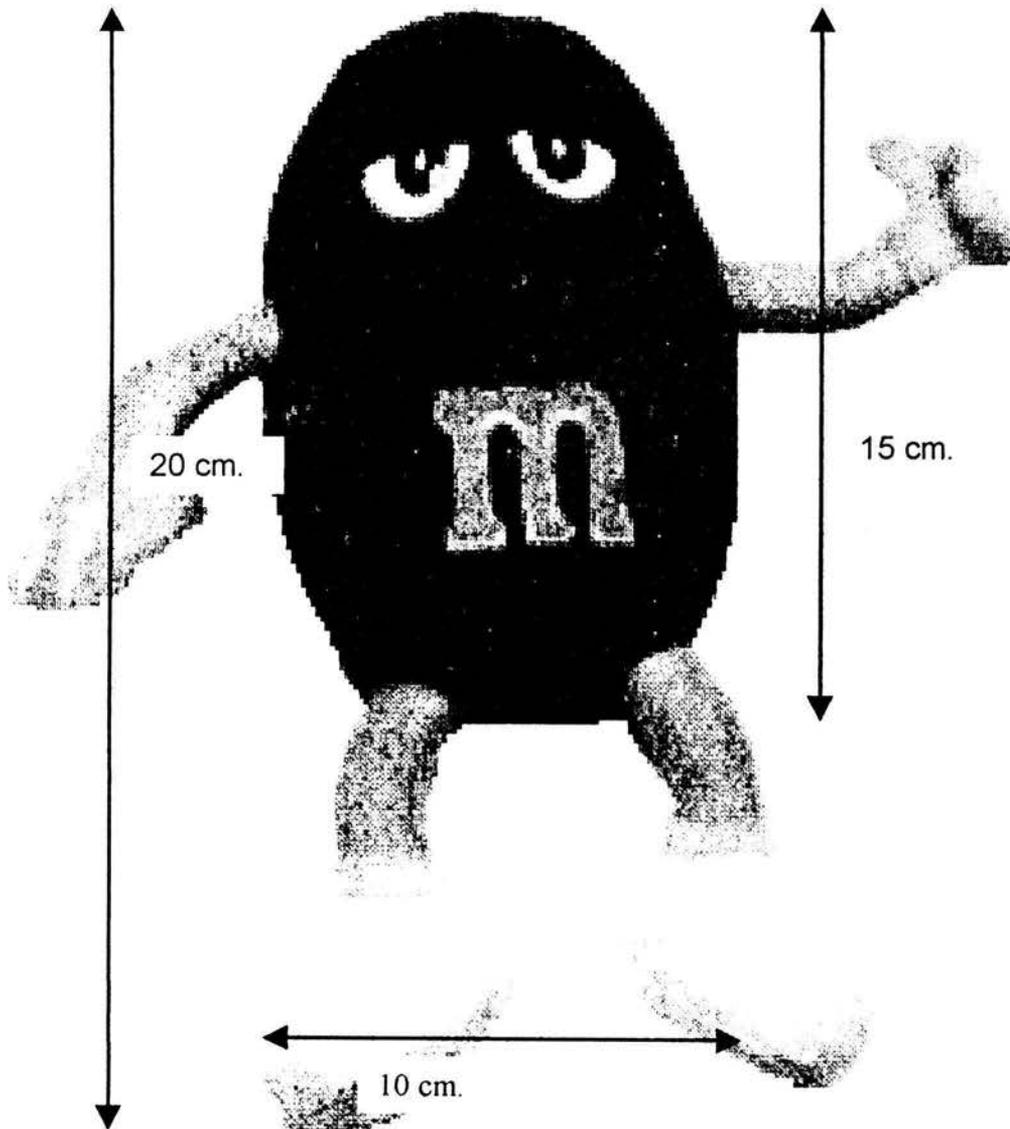


Figura 1.3.1. Factor de escala utilizado en las fotografías.

## II. Problemática presente en la Fortaleza de San Juan de Ulúa.

En la década de los 80, empezaron a hacerse patentes en la Fortaleza una serie de problemas diversos que atentan contra la funcionalidad del monumento histórico. Mediante una serie de estudios realizados a partir de 1993 por licitación del Instituto Nacional de Antropología e Historia, dependencia a cargo del Fuerte, y como parte del Proyecto Integral San Juan de Ulúa, se determinaron las causas de estos problemas, así como las repercusiones contra el inmueble. De esta manera se identificaron una serie de eventos, sus causas y consecuencias, y se buscó al mismo tiempo medidas de mitigación contra los efectos negativos que, en este momento, son más que palpables.

Los problemas que se identificaron son, en general:

- I) Azolve de los canales interiores, provocado por la pérdida de sección hidráulica en ellos, gracias a la precipitación de sedimentos por la baja velocidad de flujo.
- II) Daños en muros sumergidos y cimentación de los baluartes de Santiago y La Soledad y el Revellín de San José, además de la pérdida de sección en el Puente de los Suspiros, causados por la corrosión del azolve acumulado en los canales interiores.
- III) Grave erosión en la plataforma marina bajo el Muro de las Argollas, que originó cavernas de hasta cuatro metros de profundidad y metro y medio de diámetro.
- IV) Inestabilidad del talud Suroeste de la plataforma marina, que soporta al Baluarte de San Pedro, causado por los trabajos de dragado al canal de navegación del Puerto de Veracruz.
- V) Grietas y fracturas en el Muro de las Argollas, así como hundimientos en este muelle, provocados por la socavación de la plataforma marina donde está cimentado.
- VI) Desplomes en varias zonas del monumento, principalmente en el Baluarte de San Pedro, provocado por el talud inestable de la plataforma marina donde se soporta.
- VII) Daños diversos por intemperismo.

En la figura 2.0.1. se muestra la vista sur de la Fortaleza, y se indica la problemática que le afecta en las zonas correspondientes, y en el desarrollo de este trabajo se analiza cada problemática de manera particular.

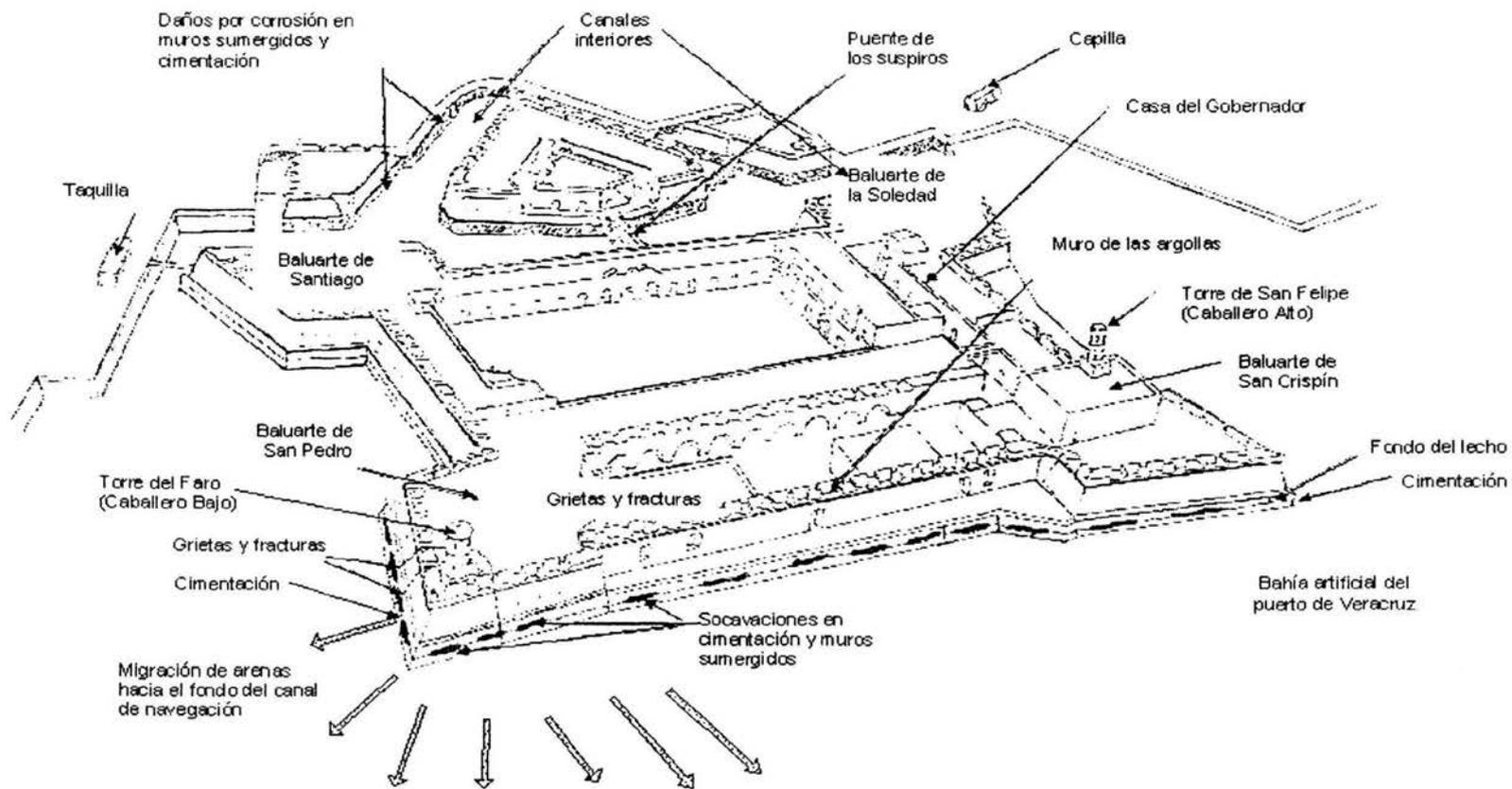


Figura 2.0.1. Vista sur de la Fortaleza de San Juan de Ulúa y problemática que presenta

## II.1. Sedimentación en la zona de canales interiores.

Existen en los canales interiores de la Fortaleza, procesos de azolve que restringen la circulación y disminuyen la velocidad de las masas de agua. A esto hay que agregar las descargas de aguas negras, grises e industriales que se vierten en los canales, generando contaminación del agua estancada y aumentando la descomposición de materia orgánica acumulada.

El azolve es causado por zonas de poca energía hidráulica en los canales y un marcado estancamiento. En estas zonas la profundidad se encuentra entre 0.20 y 1.50 m. y la pendiente es de 1°. Otras zonas, aunque con mayor poder de circulación, se encuentran limitadas por escasa profundidad, menos de 1 m. en nivel de bajamar media. Otros factores incluyen la forma irregular de los canales en la zona del Baluarte de la Soledad, las salidas estrechas hacia la Dársena de San Vicente, el fondo de ésta dársena cubierto por pastos marinos y las obstrucciones cerca de los puentes de acceso y de los suspiros.

Los procesos de sedimentación están controlados por las condiciones atmosféricas. Las aguas en calma propician que los sedimentos en suspensión se depositen en el fondo por gravedad, mientras que aguas agitadas producen el levantamiento del material del fondo, transportándolo a pequeñas o grandes distancias hasta aguas más tranquilas que se depositan.

Entre la acumulación de sedimentos está la de metales pesados como el hierro, zinc, plomo, cobre, níquel y cromo, y bacterias corrosivas como la *Gallionella sp*, que metaboliza hierro, y la *Pseudomonas sp*, que oxida hidrógeno.

Según la volumetría, el material aportado a los canales internos en un lapso de dos años fue de 1788.62 m<sup>3</sup>. de volumen depositado distribuido en los canales y con un aporte de sedimento de 0.18 m<sup>3</sup> azolve/m<sup>2</sup>, siendo la parte sureste de los canales la que registró la mayor depositación de sedimentos. Se considera un área de 2515.0 m<sup>2</sup>, un volumen depositado de 537.13 m<sup>3</sup> con 0.21 m<sup>3</sup> azolve/m<sup>2</sup>. (Ref. 2).

Como consecuencia de la sedimentación y de las características químicas del azolve, se registraron daños por corrosión en los muros de los canales interiores. La localización de estos daños se muestra en la figura 2.1.1. La corrosión afecta directamente a la cimentación de los baluartes de la Soledad y de Santiago y del Revellín de la Media Luna. En la figura 2.1.2. se esquematiza el daño causado en esta parte de la fortaleza.

Por causa de la pérdida de cimentación en los baluartes de la Soledad y Santiago y en el Revellín de la Media Luna, las banquetas que sirven para la circulación de los visitantes al monumento sufrieron asentamientos y fracturas. La localización de las banquetas afectadas se muestra en la figura 2.1.3. En la figura 2.1.4 se presenta una fotografía de la cimentación del Baluarte de Santiago, donde

es claro el deterioro sufrido por la corrosión del azolve y la socavación por la variación de mareas.

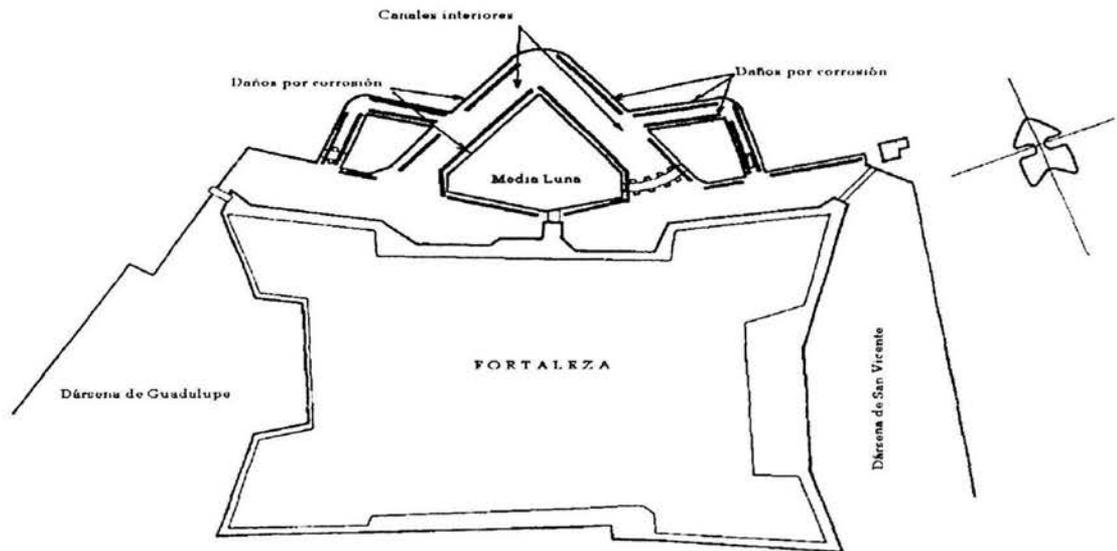


Figura 2.1.1. Localización de los daños por corrosión en los muros de los canales interiores de la Fortalezuela.

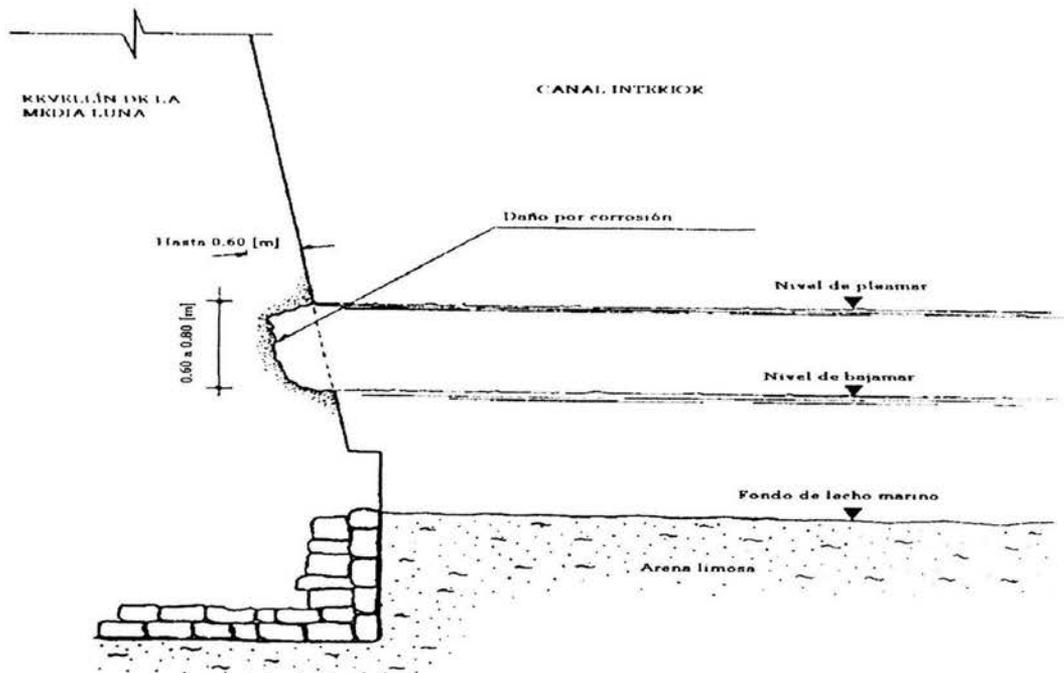
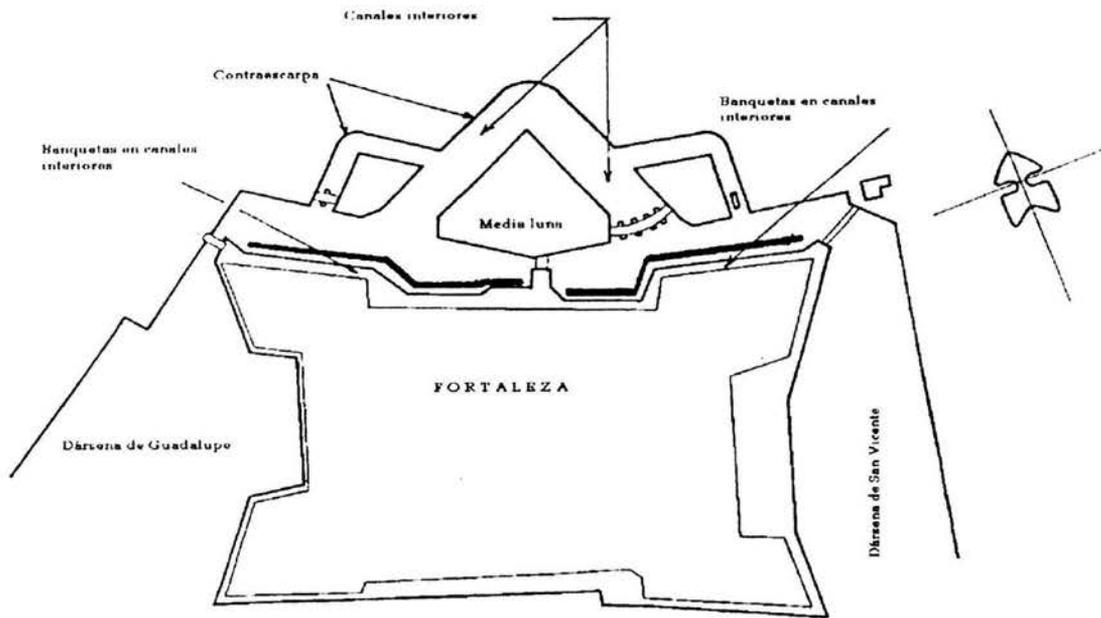
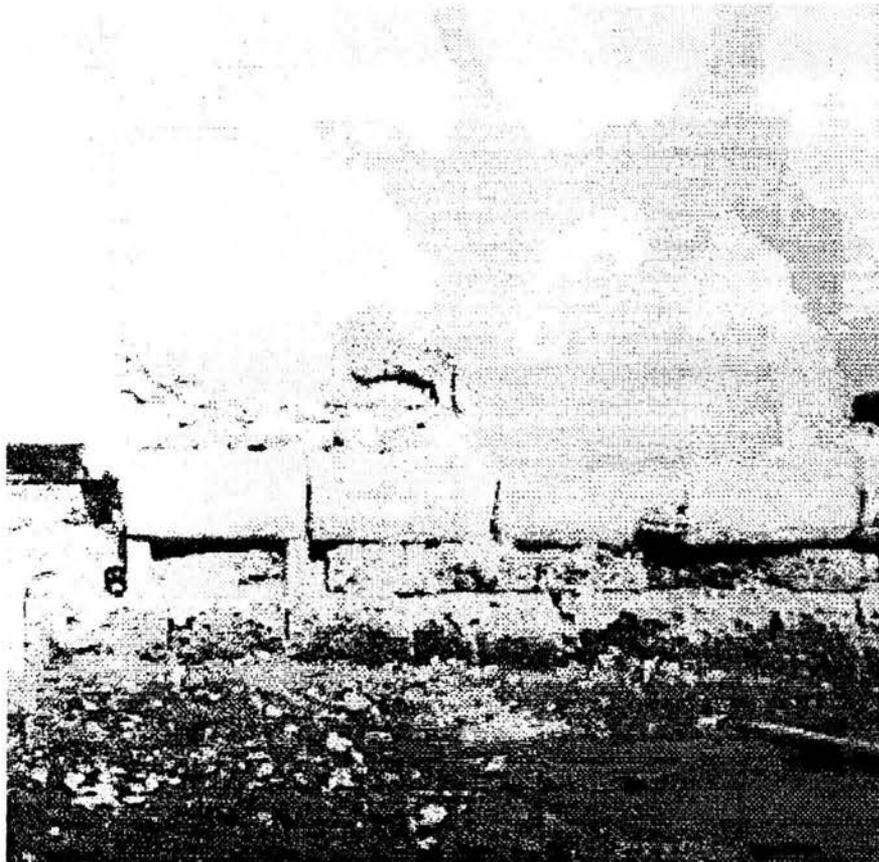


Figura 2.1.2. Daños característicos en los muros de los canales interiores de la Fortalezuela



**Figura 2.1.3. Localización de las banquetas que requieren reparación en la zona de canales interiores de la Fortaleza.**

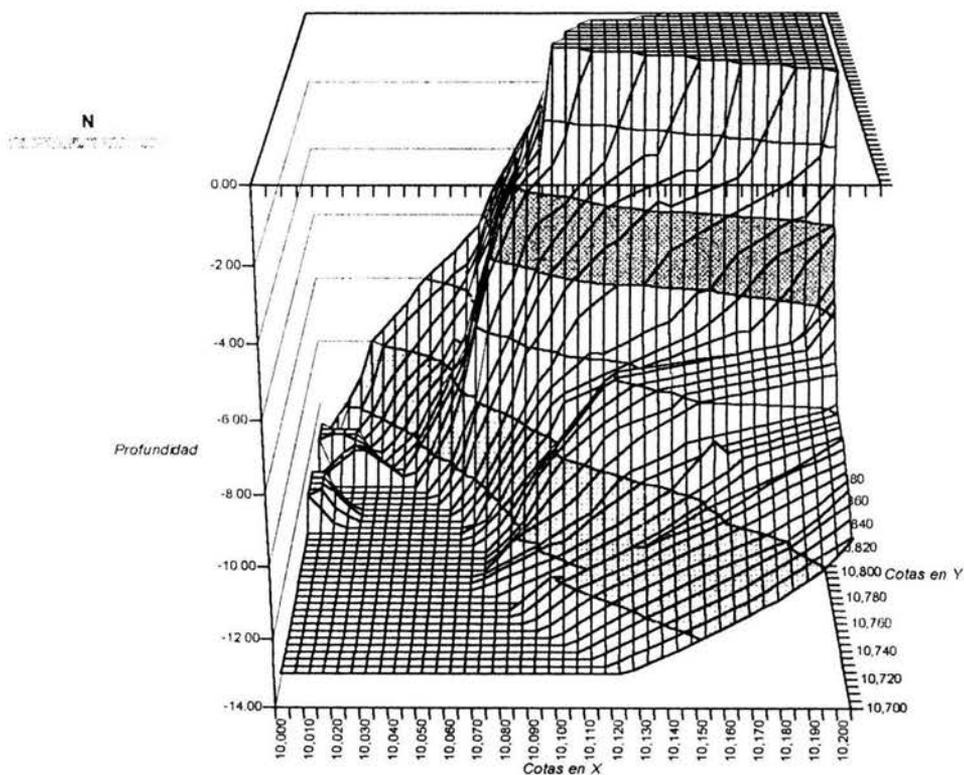


**Figura 2.1.4. Cimentación dañada en el Baluarte de Santiago.**

## II.2. Estabilidad de la plataforma marina que sustenta a la Fortaleza.

El Baluarte de San Pedro presenta agrietamientos causados por la inestabilidad del talud en que se apoya, gracias al dragado del canal de navegación del puerto. En las figuras 2.2.1., 2.2.2. y 2.2.3. pueden apreciarse diferentes vistas de este talud, y es clara la inestabilidad que presenta, sobre todo en los primeros metros de profundidad.

Dicha inestabilidad se hace patente en el análisis de estabilidad de taludes presentado en la tabla 2.2.1., en el que se utilizó el método de Fellenius para suelos granulares. Se consideró una sobrecarga de 130 ton/m., peso volumétrico de 1.9 ton/m<sup>3</sup>. y ángulo de fricción interna de 28°. Un esquema del talud con los estratos que lo conforman se muestra en la figura 2.2.4., y los planos de falla analizados se representan en la figura 2.2.5.



**Figura 2.2.1. Talud Suroeste de la plataforma marina en que se apoya el Baluarte de San Pedro. Vista Sur.**

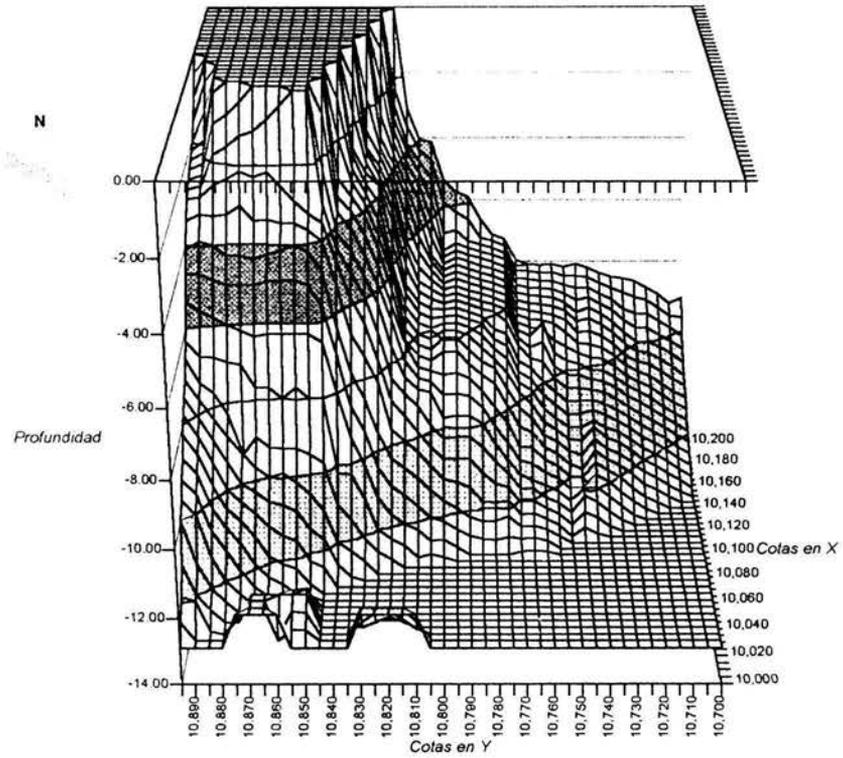


Figura 2.2.2. Talud Suroeste de la plataforma marina en que se apoya el Baluarte de San Pedro. Vista Oeste.

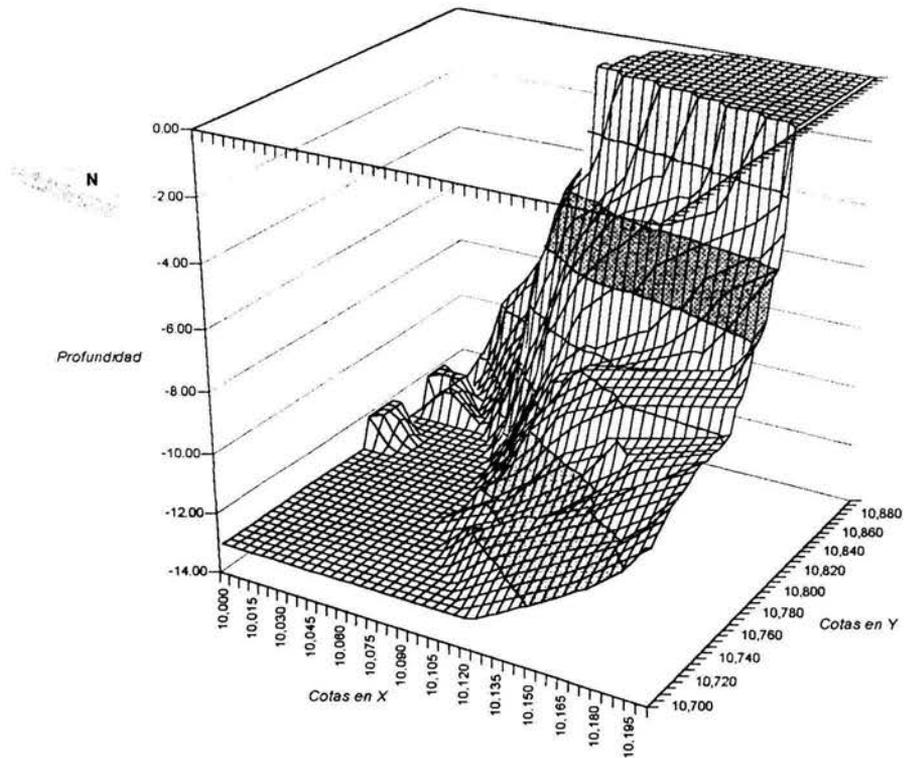


Figura 2.2.3. Talud Suroeste de la plataforma marina en que se apoya el Baluarte de San Pedro. Vista Sureste

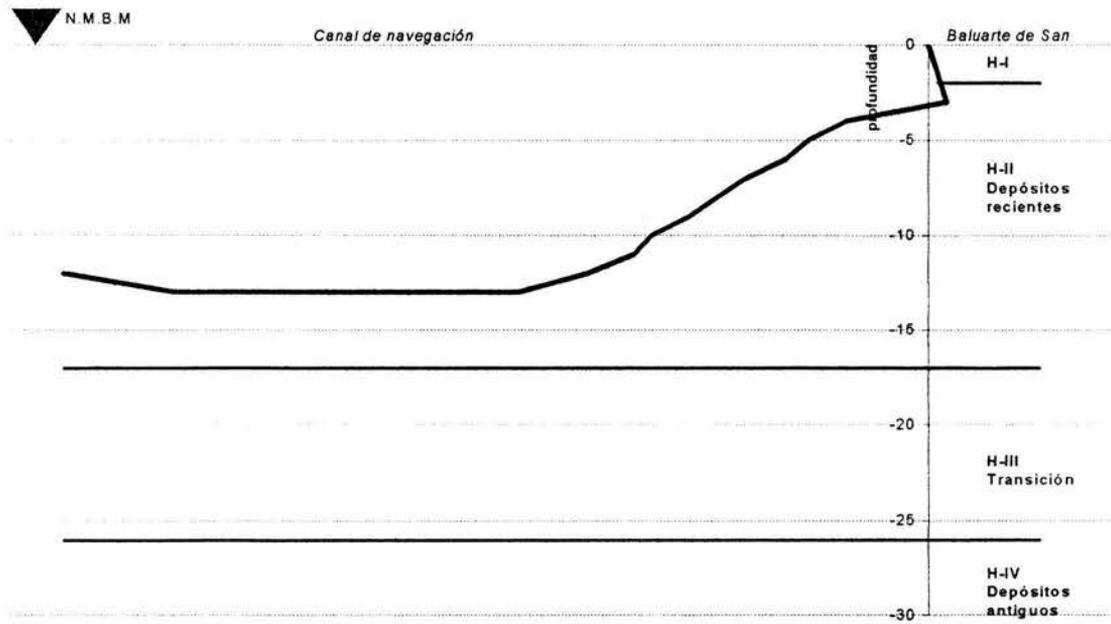


Figura 2.2.4. Corte del talud Suroeste de la plataforma marina, con horizontes estratigráficos.

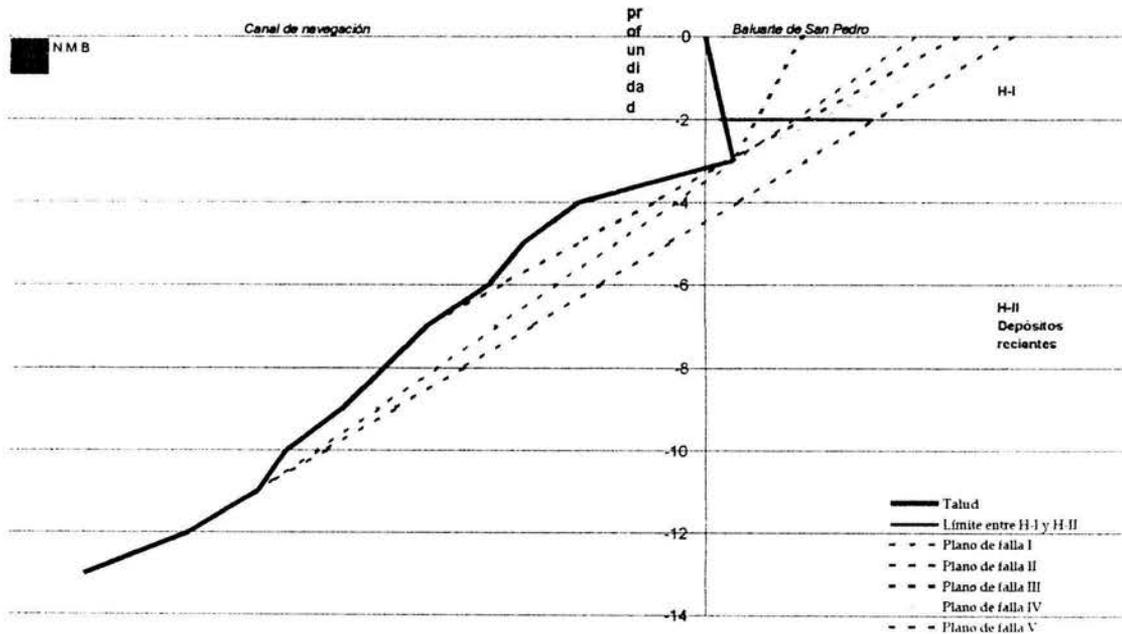


Figura 2.2.5. Corte del Talud Suroeste de la plataforma marina que sostiene al Baluarte de San Pedro. Se muestran los planos de falla propuestos para el análisis por el método de Fellenius.

**Tabla 2.2.1. Análisis de estabilidad de taludes por el método de Fellenius para suelos granulares, aplicado a la plataforma marina sobre la que se cimentó la Fortaleza de San Juan de Ulúa.**

| Plano de falla I |           |            |             | Plano de falla II |           |            |             |
|------------------|-----------|------------|-------------|-------------------|-----------|------------|-------------|
| x                | y         | W [ton/m]  | W+q [ton/m] | x                 | y         | W [ton/m]  | W+q [ton/m] |
| 15.00            | 0         | 43.27      | 173.27      | 22.00             | 0         | 175.99     | 305.99      |
| 2.18             | -3        | 6.74       | 136.74      | 7.25              | -3        | 2.30       | 132.30      |
| -2.09            | -4        | 12.87      | 142.87      | 2.33              | -4        | 0.24       | 130.24      |
| -6.36            | -5        | 10.93      | 140.93      | -2.58             | -5        | 9.58       | 139.58      |
| -10.64           | -6        | 9.46       | 139.46      | -7.50             | -6        | 18.92      | 148.92      |
| -14.91           | -7        | 8.46       | 138.46      | -12.42            | -7        | 28.26      | 158.26      |
| -19.18           | -8        | 6.05       | 136.05      | -17.33            | -8        | 37.60      | 167.60      |
| -23.45           | -9        | 4.58       | 134.58      | -22.25            | -9        | 46.95      | 176.95      |
| -27.73           | -10       | 2.16       | 132.16      | -27.17            | -10       | 56.29      | 186.29      |
| -32.00           | -11       |            |             | -32.08            | -11       | 65.63      | 195.63      |
| b                | M         | N=         | 1240.97     | -37.00            | -12       |            |             |
| -3.51            | 0.23      | T=         | 290.44      | b                 | m         | N=         | 1706.80     |
| 0                | L         | $\sigma$ = | 25.71       | -4.47             | 0.20      | T=         | 347.15      |
| 13.17            | 48.27     | $\tau_A$ = | 6.02        | 0                 | L         | $\sigma$ = | 28.35       |
| $\phi$           | W+q total | $\tau_R$ = | 13.67       | 11.50             | 60.21     | $\tau_A$ = | 5.77        |
| 28               | 1274.50   | F.S.=      | 2.27        | $\phi$            | W+q total | $\tau_R$ = | 15.07       |
| Talud estable    |           |            |             | 28                | 1741.75   | F.S.=      | 2.61        |
|                  |           |            |             | Talud estable     |           |            |             |

**Tabla 2.2.1. Análisis de estabilidad de taludes por el método de Fellenius para suelos granulares, aplicado a la plataforma marina sobre la que se cimentó la Fortaleza de San Juan de Ulúa. (Continuación)**

| Plano de falla III     |           |              |             | Plano de falla IV    |           |              |             |
|------------------------|-----------|--------------|-------------|----------------------|-----------|--------------|-------------|
| x                      | y         | W [ton/m]    | W+q [ton/m] | x                    | y         | W [ton/m]    | W+q [ton/m] |
| 7.00                   | 0         | -116.86      | 13.14       | 20.00                | 0         | 444.70       | 574.70      |
| 2.00                   | -3        |              |             | 2.25                 | -3        | 3.75         | 133.75      |
| B                      | M         | N=           | 11.26       | -3.67                | -4        | 21.91        | 151.91      |
| -4.20                  | 0.60      | T=           | 6.76        | -9.58                | -5        | 50.90        | 180.90      |
| $\theta$               | L         | $\sigma$ =   | 1.93        | -15.50               | -6        |              |             |
| 30.96                  | 5.83      | $\tau_A$ =   | 1.16        | B                    | M         | N=           | 1026.70     |
| $\phi$                 | W+q total | $\tau_R$ =   | 1.03        | -3.38                | 0.17      | T=           | 173.53      |
| 28                     | 13.14     | <b>F.S.=</b> | <b>0.89</b> | $\theta$             | L         | $\sigma$ =   | 28.52       |
| <b>Talud inestable</b> |           |              |             | 9.59                 | 36.00     | $\tau_A$ =   | 4.82        |
|                        |           |              |             | $\phi$               | W+q total | $\tau_R$ =   | 15.16       |
|                        |           |              |             | 28                   | 1041.27   | <b>F.S.=</b> | <b>3.15</b> |
|                        |           |              |             | <b>Talud estable</b> |           |              |             |

| Plano de falla V     |           |              |             |
|----------------------|-----------|--------------|-------------|
| x                    | y         | W [ton/m]    | W+q [ton/m] |
| 18.00                | 0         | 389.25       | 519.25      |
| 1.71                 | -3        | 1.90         | 131.90      |
| -3.71                | -4        | 12.21        | 142.21      |
| -9.14                | -5        | 22.53        | 152.53      |
| -14.57               | -6        | 32.84        | 162.84      |
| -20.00               | -7        |              |             |
| B                    | m         | N=           | 1090.38     |
| -3.32                | 0.18      | T=           | 200.86      |
| $\theta$             | L         | $\sigma$ =   | 28.22       |
| 10.44                | 38.64     | $\tau_A$ =   | 5.20        |
| $\phi$               | W+q total | $\tau_R$ =   | 15.00       |
| 28                   | 1108.73   | <b>F.S.=</b> | <b>2.89</b> |
| <b>Talud estable</b> |           |              |             |

A simple vista en el Baluarte de San Pedro, mostrado en la figura 2.2.6., se aprecian ya daños estructurales causados por el problema de la inestabilidad del talud de la plataforma marina en que se apoya. Una de las fracturas provocadas por esta problemática se muestra en la figura 2.2.7. El baluarte es el resultado de una serie de construcciones sucesivas, que hicieron que al final este resultara un monolito de 5700 toneladas. Gracias a una barrenación que se hizo en el baluarte pudo determinarse lo anterior. En la figura 2.2.8. se muestra la fractura de la figura 2.2.7., por dentro del baluarte, y se aprecia la barrenación con que se determinaron las características del mismo.



**Figura 2.2.6. Vista Noroeste del Baluarte de San Pedro.**

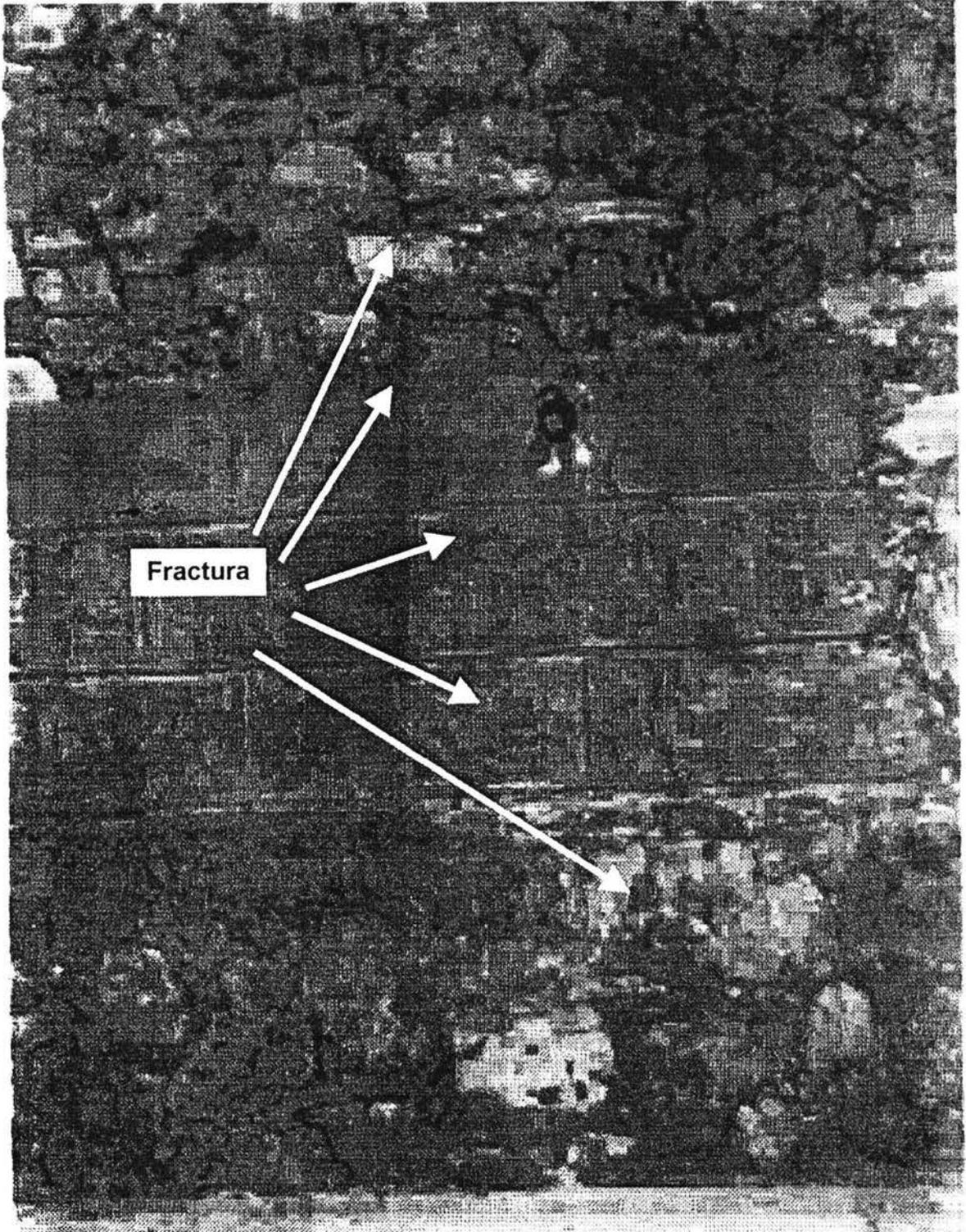
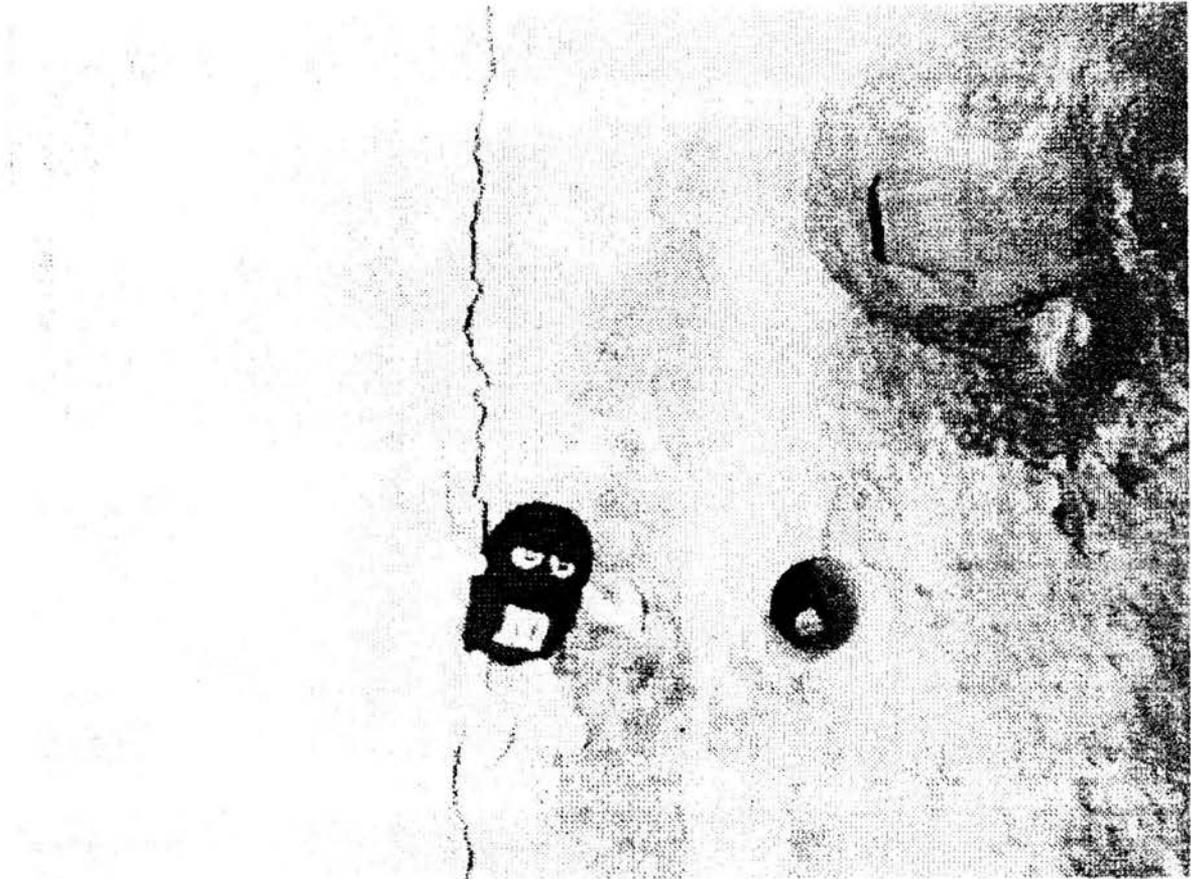


Figura 2.2.7. Fractura en el Baluarte de San Pedro causada por la inestabilidad del talud.

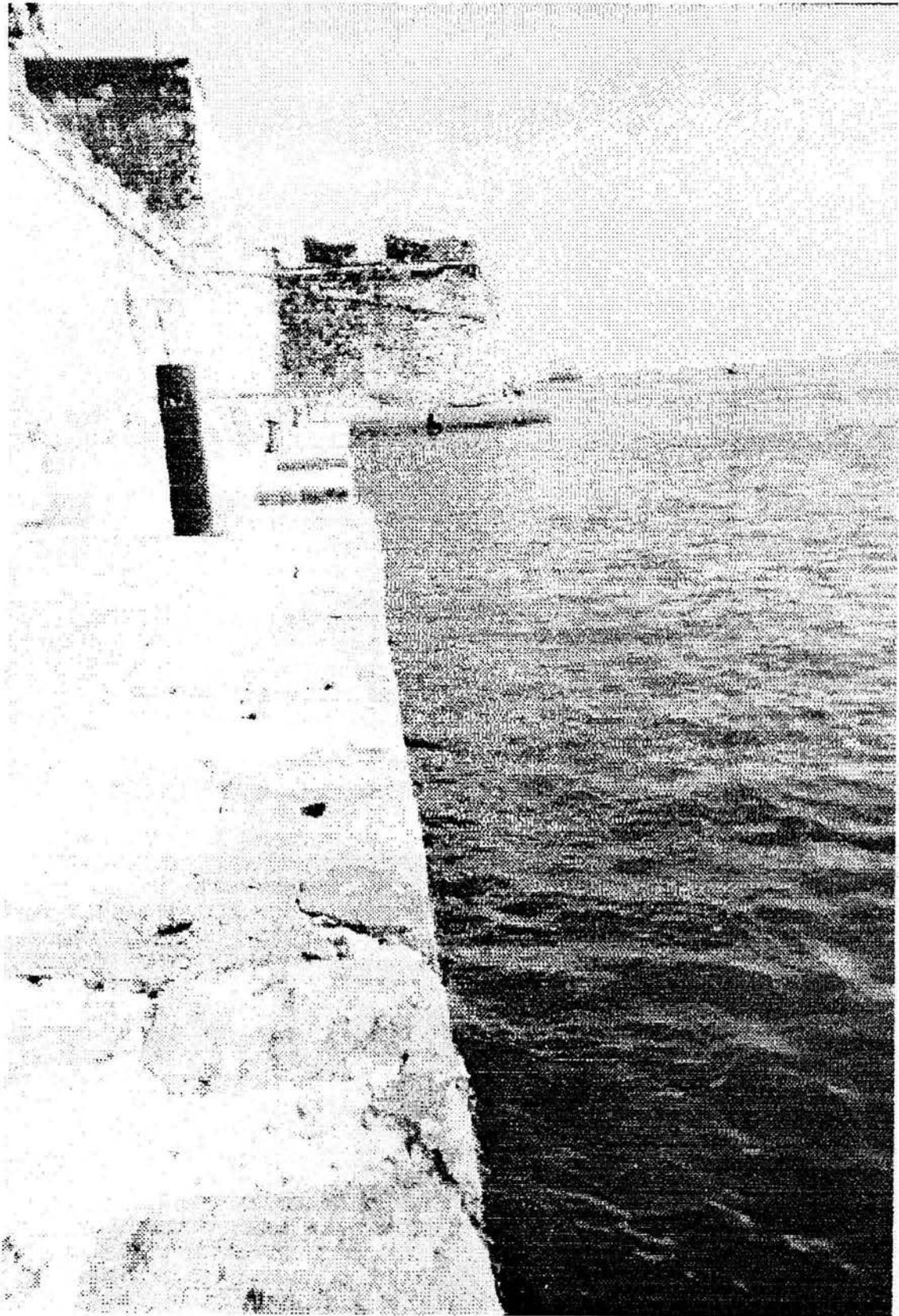


**Figura 2.2.8. Fractura en el interior del Baluarte de San Pedro, causada por la inestabilidad del talud en que está cimentado. En la fotografía se muestra una barrenación horizontal que permitió determinar que el Baluarte es un monolito de 5700 toneladas.**

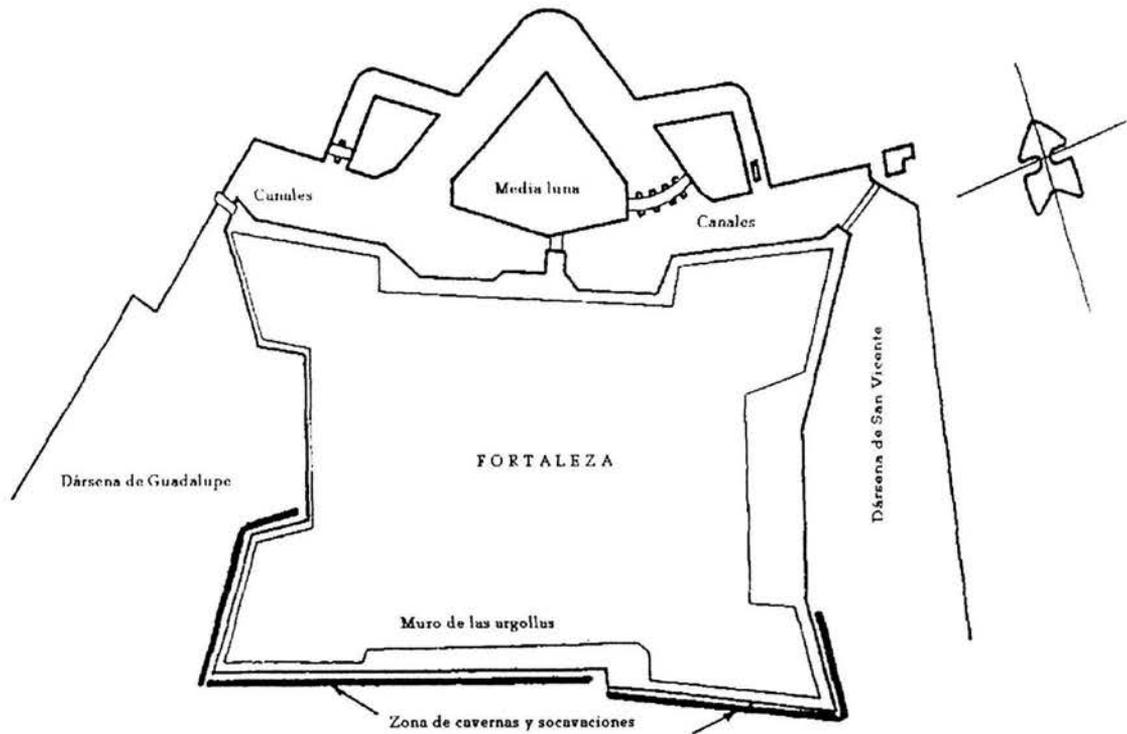
### **II.3. Oquedades por erosión en la plataforma marina.**

Dentro de la problemática que se encuentra en la Fortaleza de San Juan de Ulúa está la aparición de oquedades en la plataforma marina bajo el Muro de las Argollas, mostrado en la figura 2.3.1. La zona afectada se muestra en la figura 2.3.2.

Estas oquedades son provocadas por la variación de mareas, que causan erosión en la plataforma marina. Aunado a esto está la cercanía del canal de navegación del Puerto de Veracruz, y el paso de los barcos genera ondas de estela que hacen que la erosión en la plataforma marina se acreciente. Las cavernas llegan a tener un diámetro de entrada de hasta 1 m., y hasta 4 m. de profundidad. Un esquema de estas cavernas se muestra en la figura 2.3.3.



**Figura 2.3.1. Vista Este del Muro de las Argollas**



**Figura 2.3.2. Localización de las zonas de cavernas y socavaciones en la Fortaleza de San Juan de Ulúa.**

Los estragos causados por las socavaciones se aprecian a simple vista. En la figura 2.3.4. se muestran los daños causados en el muelle del Muro de las Argollas. Los daños más importantes en esta zona son: desprendimiento de materiales del muelle (figura 2.3.5), fracturas en el muro (figura 2.3.6.) y desplazamientos de los bloques que conforman el muelle (figuras 2.3.7. y 2.3.8.)

En estas últimas figuras, donde se muestran los desplazamientos de bloques, es claro el calafateado que anteriormente se realizó para solucionar el problema, pero fue inservible porque no se atacó a fondo la situación que lo provocó.

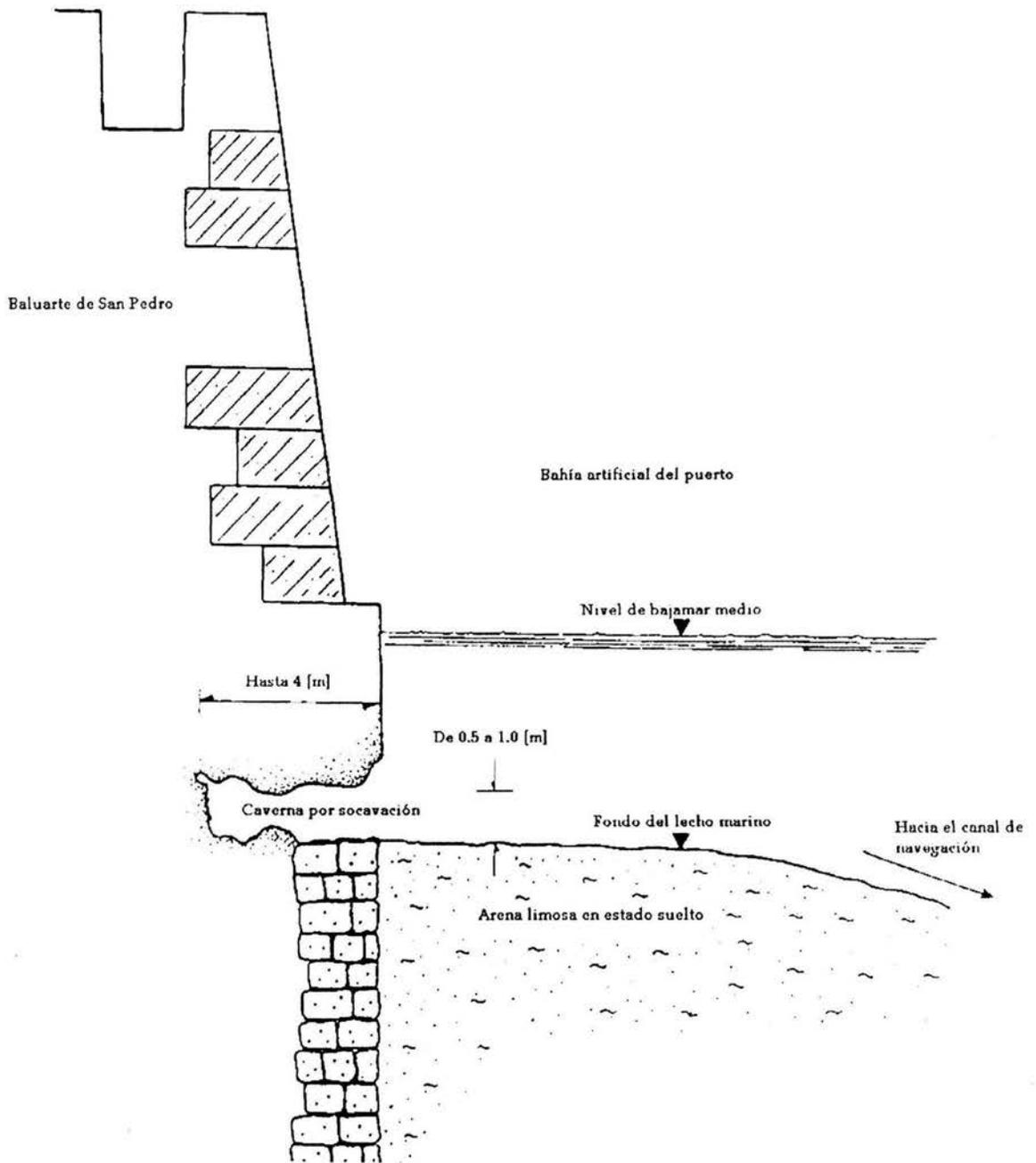


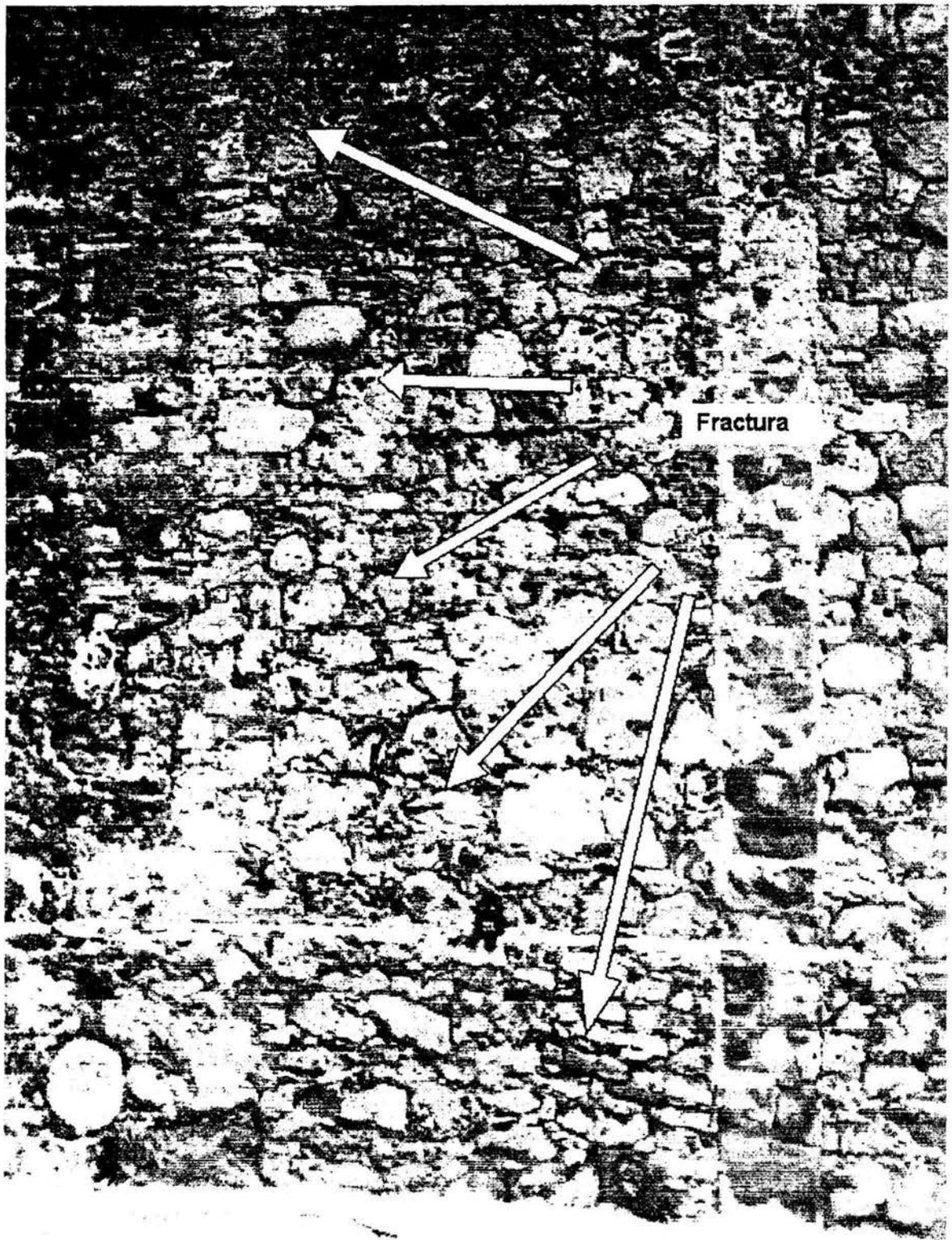
Figura 2.3.3. Esquema de los daños característicos causados en la plataforma marina por la socavación de la misma.



**Figura 2.3.4. Muro de las Argollas y muelle. Se aprecian claramente algunos de los problemas ocasionados por las socavaciones y cavernas en la plataforma marina.**



**Figura 2.3.5. Daños ocasionados en el muelle por las oquedades localizadas en la plataforma marina en que se cimenta el Muro de las Argollas.**



**Figura 2.3.6. Fractura en el Muro de las Argollas, causada por las cavernas en la plataforma marina en que está cimentado.**

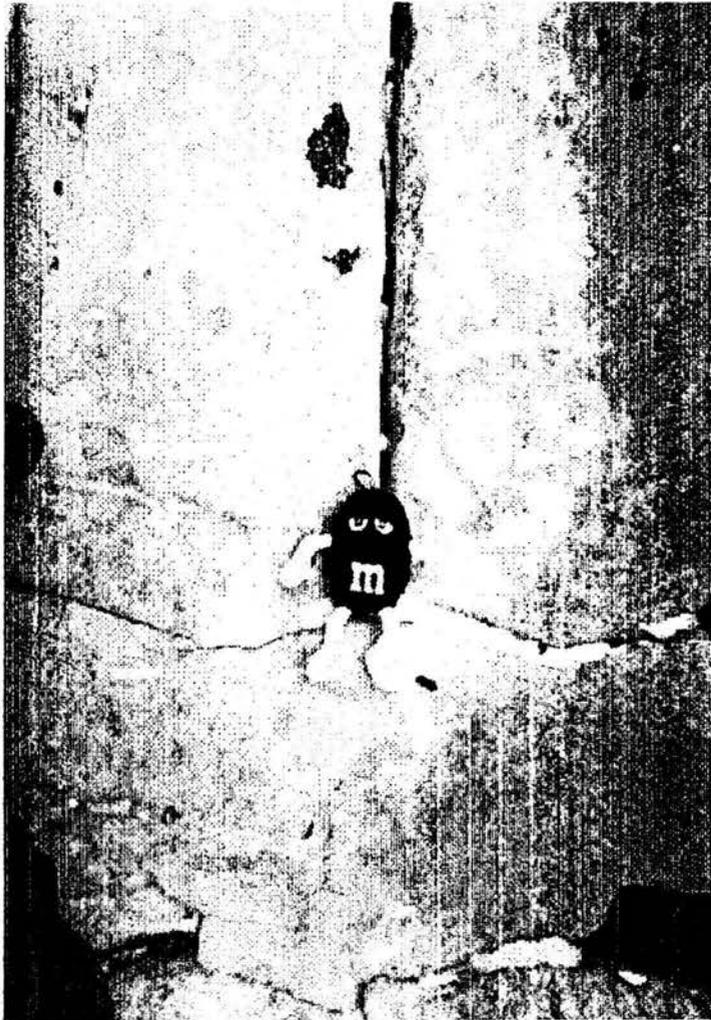


Figura 2.3.7. Desplazamiento de un bloque en el muelle del Muro de las Argollas. Se aprecian huellas de un antiguo calafateado.

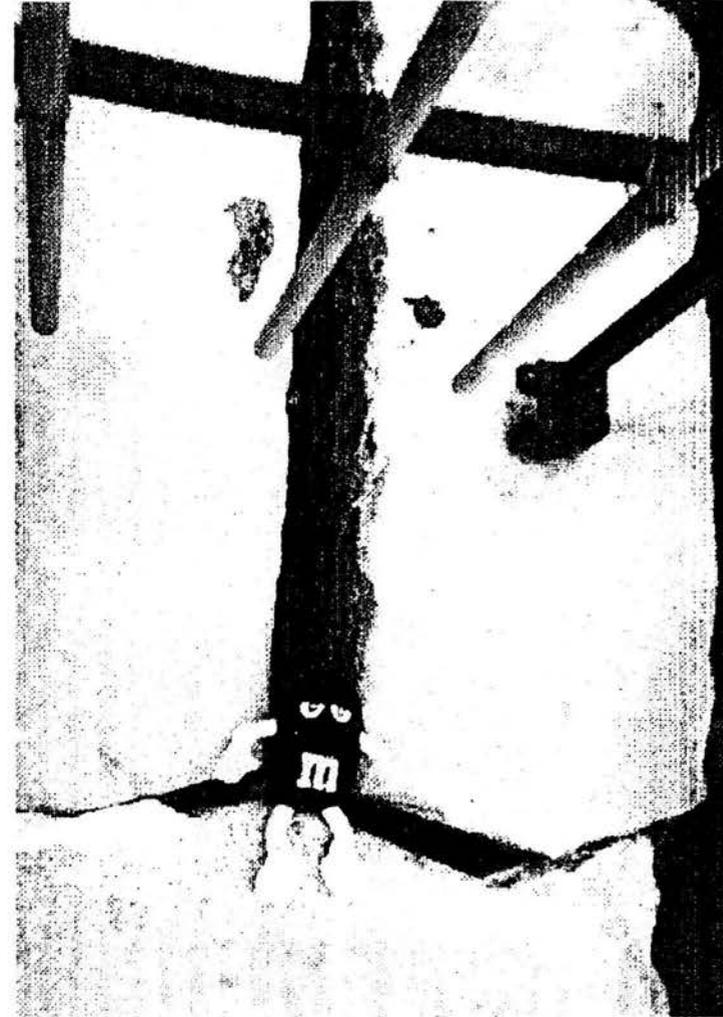


Figura 2.3.8. Grave desplazamiento de uno de los bloques que conforman la banqueta del muelle del Muro de las Argollas.

#### II.4. Deterioro estructural.

La estructura presenta daños en su estructura de manera general. Esta es causada por el intemperismo, debido al ambiente marino cargado en sulfatos. Algunos de los problemas estructurales son secuelas de la problemática antes descrita. Sin embargo, hay algunos aspectos importantes que pueden ser particularizados.

Como consecuencia de asentamientos diferenciales en la plataforma marina, se registran una serie de fracturamientos en varias zonas de la Fortaleza. Los asentamientos son causados, entre otros factores, por la estratigrafía, consistente en arenas limosas de baja compacidad, y al hecho que la fortaleza fue construida según se fue necesitando, lo que ocasionó que no se tuviera una adecuada planeación y hubiera diferencias radicales de peso en la estructura. Se ha comentado ya de los fracturamientos en el Muro de la Argollas y en el Baluarte de San Pedro. En la figura 2.4.1. se muestran otros fracturamientos en el Muro de las Argollas, y en la figura 2.4.2. una serie de fracturas de piso a techo en el interior del Baluarte de San Pedro.

El intemperismo es una causa importante de daño estructural en toda la fortaleza. El alto contenido de sulfatos en el ambiente ocasiona corrosión en paredes y otros elementos. Un ejemplo claro es la Casa del gobernador, que en la parte superior muestra ya grave deterioro.

Durante el gobierno de Don Venustiano Carranza, se generó el auge en el uso del acero. Este material se utilizó en algunas zonas de la fortaleza, pero nunca se previó que los sulfatos del ambiente lo atacarían. En la figura 2.4.3 se muestra el deterioro en la parte superior de la Casa del gobernador, y es clara la erosión que ha sufrido la fortaleza por este agente.

La acumulación de azolve en los canales interiores de la Fortaleza, además de socavar la cimentación de los Baluartes de Santiago y La Soledad, ocasionaron la pérdida de sección en las columnas que sostienen el Puente de los Suspiros. Esta pérdida llegó a ser de más del 50%. En la figura 2.4.4. se muestra una fotografía del Puente de los Suspiros, actualmente reparado.

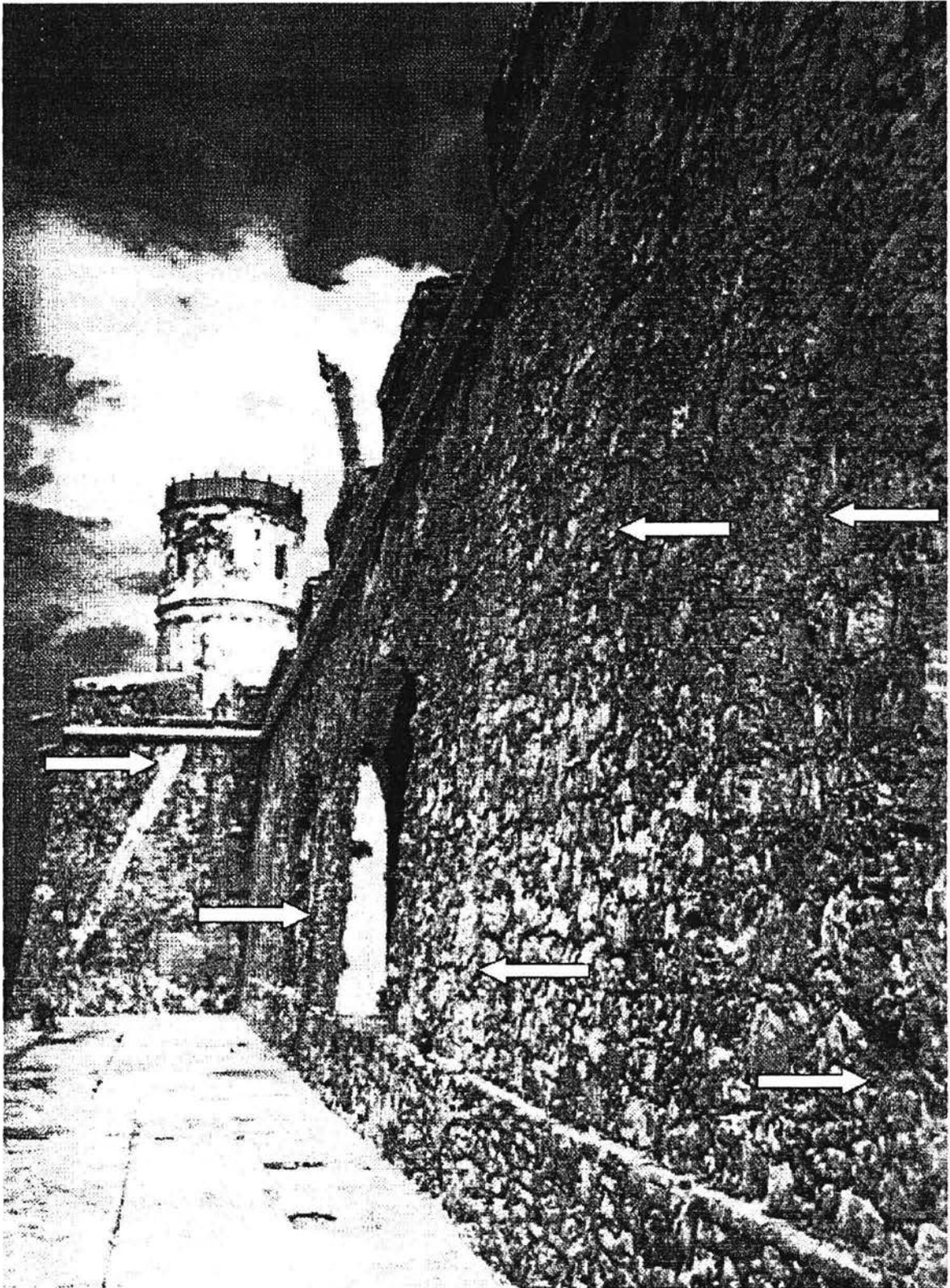
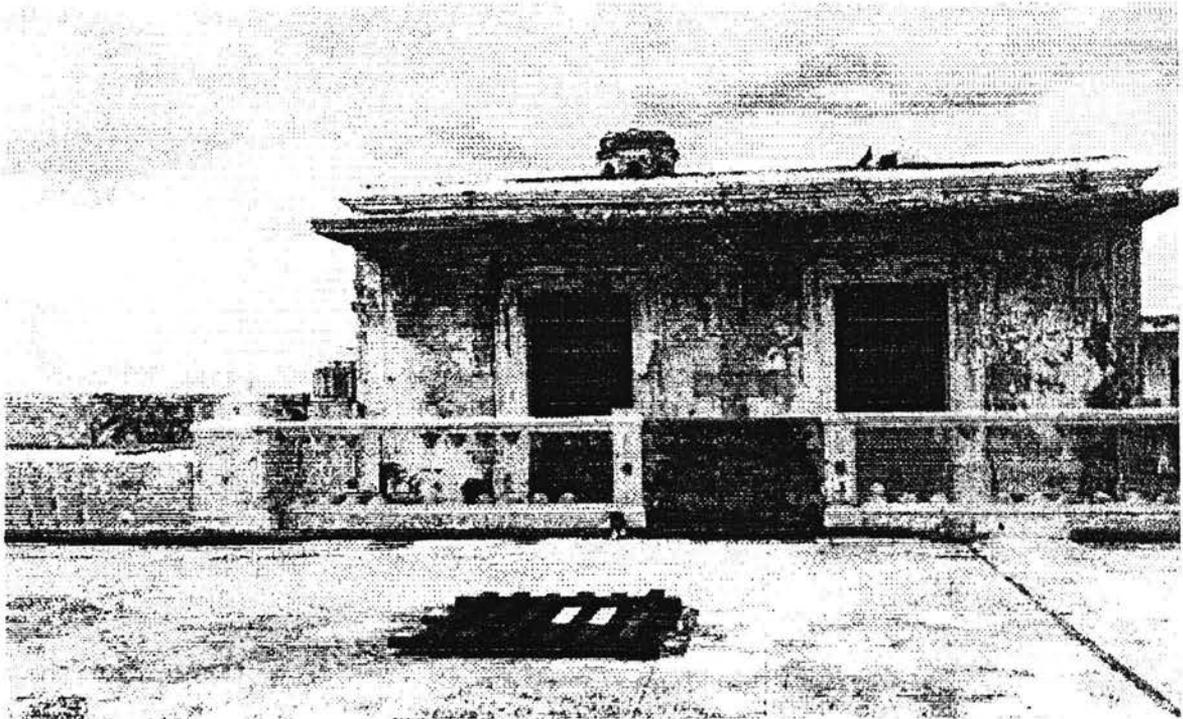


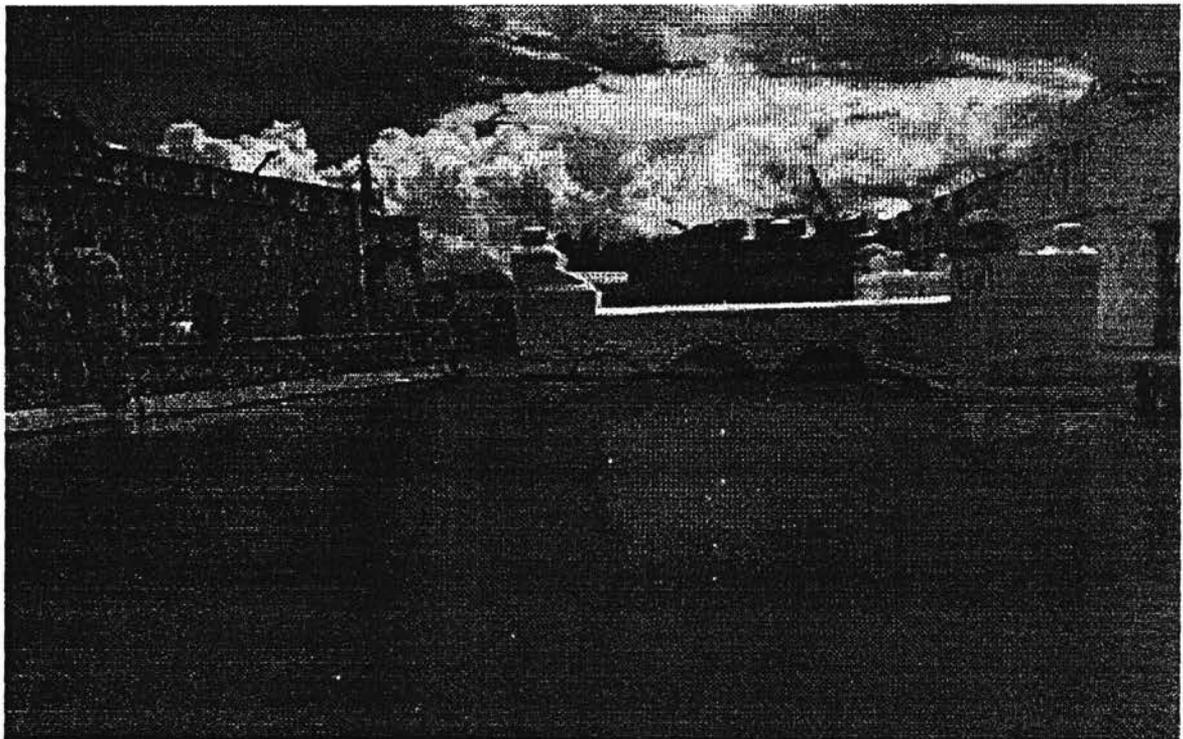
Figura 2.4.1. Diversas fracturas presentes en el Muro de las Argollas. Al fondo, el Baluarte de San Pedro, donde se aprecia una fractura más.



Figura 2.4.2. Fracturamientos de piso a techo en el interior del Baluarte de San Pedro.



**Figura 2.4.3. Ejemplo de daños causados por intemperismo. En la imagen, barandales en la Casa del Gobernador.**



**Figura 2.4.4. Puente de los Suspiros, actualmente reparado.**

### **III. Estudios realizados en la Fortaleza.**

Para determinar la magnitud de los daños ocasionados por los factores antes explicados sobre la Fortaleza de San Juan de Ulúa, y proponer y llevar a cabo soluciones convenientes a esta problemática, se llevaron a cabo varios estudios por parte del Instituto Nacional de Antropología e Historia, y se licitaron otros a compañías como Ingeniería Experimental, S.A. de C.V., y GEOTEC, S.A.

Los estudios iniciaron en 1993, y los últimos que se realizaron fueron en 1998, aunque hay en proyecto la realización de nuevas batimetrías, sobre todo en la zona del talud suroeste de la plataforma marina, zona donde se cimentó el Baluarte de San Pedro.

Dentro de los estudios realizados se encuentran, entre otros, supervisión de actividad en fracturas mediante la implementación de testigos ó medidores de juntas, barrenación para sondeos de diversos tipos, determinación de la estratigrafía y caracterización de la piedra múcarica con que se construyó la Fortaleza.

#### **III.1. Medidores de juntas.**

Para verificar si existe una tendencia activa de abertura de grietas existentes en la fortaleza, debido a los posibles movimientos diferenciales que se presenten en los muros y columnas, se colocaron medidores de juntas en dos direcciones, principalmente en las grietas localizadas en el Baluarte de San Pedro, ubicado en la esquina Suroeste del inmueble, y en algunas grietas de la fachada Norte, zona de acceso principal al inmueble. (Ref. 7)

La empresa Ingeniería Experimental, S.A. de C.V., instaló un total de 27 testigos, 9 en la Fachada norte de la fortaleza y el resto en diferentes zonas del Baluarte de San Pedro.

En la tabla 3.1.1. se muestra la magnitud de abertura de las grietas, dirección y período de medición. Como se observa en esta tabla, la magnitud de abertura de las grietas que se midieron en abril y mayo de 1995 no presentan una tendencia activa de abertura de estas, registrándose valores menores a 1 mm.

Se muestra la localización de los testigos instalados en el Fuerte en la figura 3.1.1., y en las figuras 3.1.2. a 3.1.4., algunas de las grietas de la Fortaleza, con el medidor de juntas instalado en ella para su supervisión.

Tabla 3.1.1. Abertura de las grietas, en [mm], obtenidas con los medidores de juntas instalados en el Baluarte de San Pedro y en la Fachada Norte de la Fortaleza de San Juan de Ulúa.

| Número de testigo | Dirección |      |         |          | Periodo de medición   |
|-------------------|-----------|------|---------|----------|-----------------------|
|                   | Norte     | Sur  | Oriente | Poniente |                       |
| T-1               | 0.01      |      |         |          | 29/Abr/95 - 18/May/95 |
| T-2               | 0.08      |      | 0.04    |          | 10/Abr/95 - 18/May/95 |
| T-3               | 0.35      |      |         | 0.20     | 10/Abr/95 - 18/May/95 |
| T-4               |           | 0.37 |         | 0.02     | 10/Abr/95 - 18/May/95 |
| T-5               |           |      |         |          | 10/Abr/95 - 18/May/95 |
| T-6               | 0.03      |      |         | 0.20     | 10/Abr/95 - 18/May/95 |
| T-7               |           | 0.01 | 0.07    |          | 10/Abr/95 - 18/May/95 |
| T-8               | 0.11      |      | 0.22    |          | 10/Abr/95 - 18/May/95 |
| T-9               |           | 0.05 |         | 0.04     | 12/Abr/95 - 18/May/95 |
| T-10              | 0.15      |      | 0.05    |          | 12/Abr/95 - 18/May/95 |
| T-11              | 0.02      |      |         |          | 12/Abr/95 - 18/May/95 |
| T-12              |           | 0.04 |         | 0.23     | 12/Abr/95 - 18/May/95 |
| T-13              | 0.02      |      | 0.09    |          | 12/Abr/95 - 18/May/95 |
| T-14              |           | 0.01 | 0.02    |          | 12/Abr/95 - 18/May/95 |
| T-15              |           | 0.18 |         | 0.13     | 12/Abr/95 - 18/May/95 |
| T-16              |           | 0.15 | 0.48    |          | 12/Abr/95 - 18/May/95 |
| T-17              | 0.02      |      |         | 0.12     | 12/Abr/95 - 18/May/95 |
| T-18              |           |      | 0.12    |          | 12/Abr/95 - 18/May/95 |
| T-19              |           |      | 0.01    |          | 12/Abr/95 - 18/May/95 |
| T-20              | 0.09      |      |         | 0.58     | 12/Abr/95 - 18/May/95 |
| T-21              | 0.04      |      |         | 0.59     | 12/Abr/95 - 18/May/95 |
| T-22              |           |      | 0.06    |          | 12/Abr/95 - 18/May/95 |
| T-23              | 0.01      |      |         |          | 12/Abr/95 - 18/May/95 |
| T-24              |           | 0.01 | 0.09    |          | 12/Abr/95 - 18/May/95 |
| T-25              | 0.03      |      |         | 0.08     | 12/Abr/95 - 18/May/95 |
| T-26              |           | 0.01 | 0.09    |          | 12/Abr/95 - 18/May/95 |
| T-27              | 0.02      |      | 0.07    |          | 12/Abr/95 - 18/May/95 |

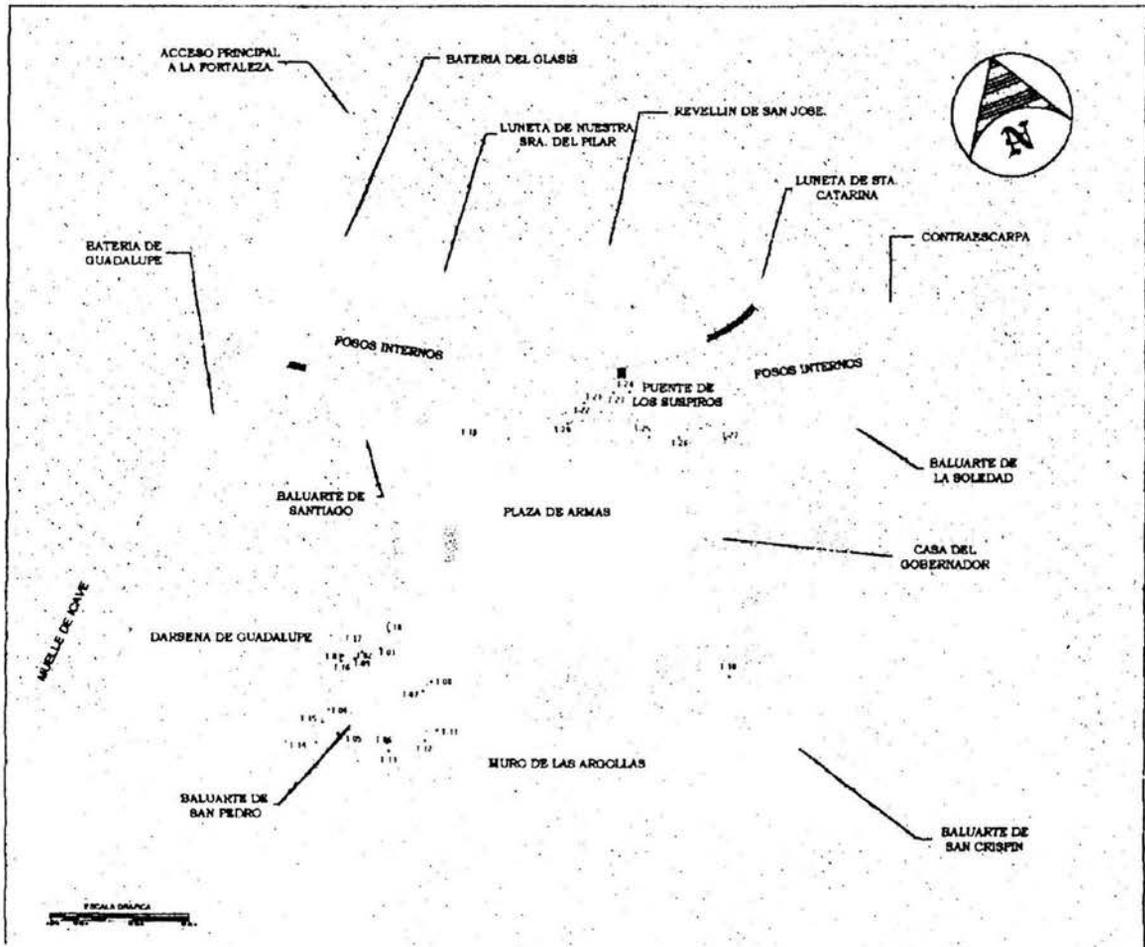


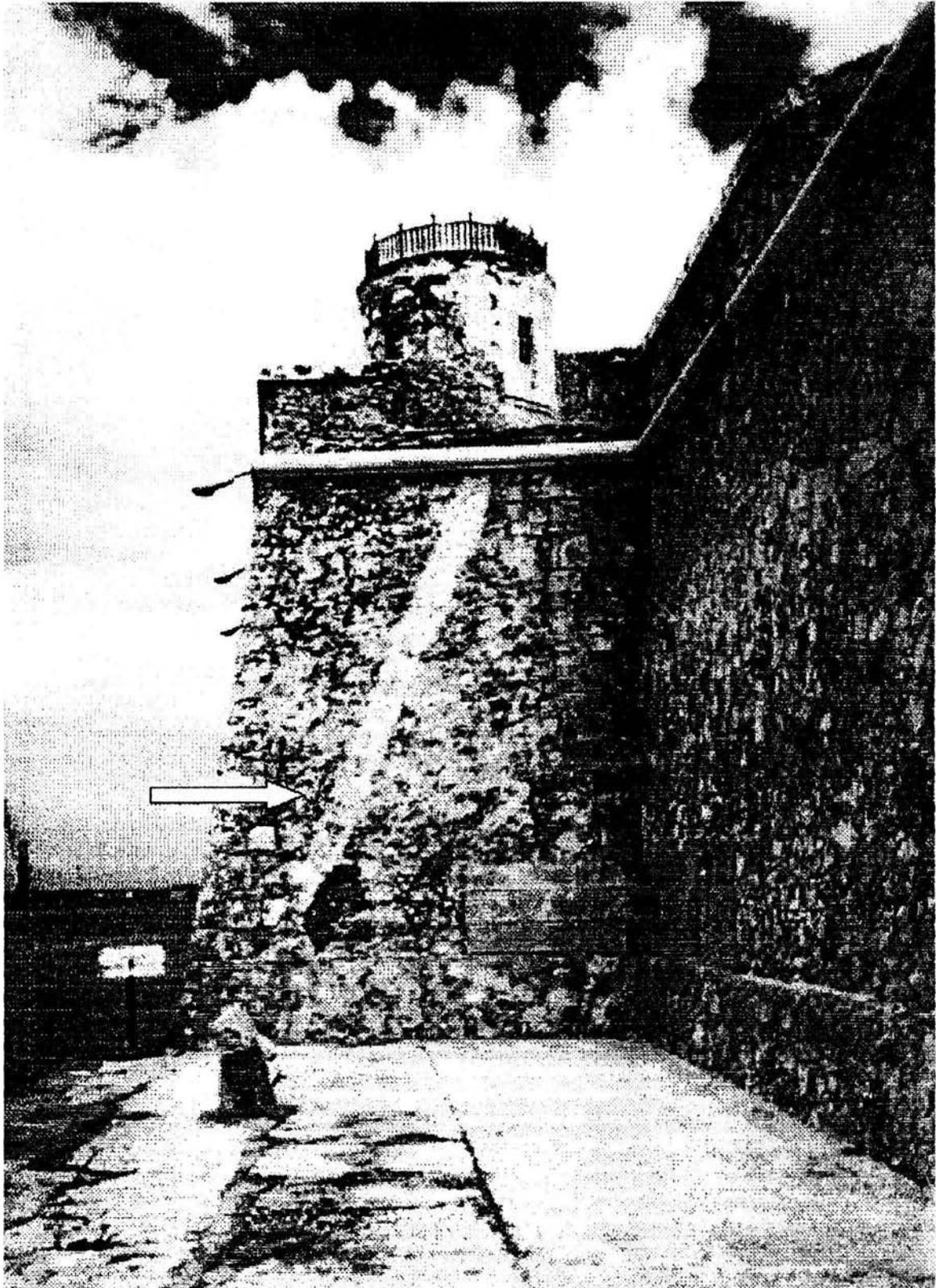
Figura 3.1.1. Localización de los testigos instalados en la Fortaleza de San Juan de Ulúa.



Figura 3.1.2. Testigo 08, ubicado en el túnel de acceso a la parte superior del Baluarte de San Pedro.



Figura 3.1.3. Testigo 11, ubicado en el Muro de las Argollas, en la zona en que colinda con el Baluarte de San Pedro.



**Figura 3.1.4. Testigo 12, ubicado en el Baluarte de San Pedro. Se aprecia en la imagen el testigo 11, sobre el Muro de las Argollas**



### III.3. Caracterización de los corales utilizados como material de construcción en la Fortaleza de San Juan de Ulúa (Ref. 3).

De las 29 especies registradas para el Sistema Arrecifal Veracruzano, 10 forman esqueletos masivos susceptibles para la construcción. Sin embargo, las especies conocidas como *Setephanocoenia intercepta*, *Madracis decactis* y *Dichocoenia stokesi* no se observan en la fortaleza, las dos primeras por presentar esqueletos muy pequeños, y la tercera por ser muy rara de encontrar en el sistema arrecifal actualmente. Las siete restantes si se encuentran en la fortaleza como piedra múcar. Su clasificación científica se muestra en la tabla 3.3.1. La figura 3.3.1. muestra figuras de los corales caracterizados que se utilizaron en la construcción de la fortaleza..

**Tabla 3.3.1. Clasificación científica de los corales utilizados como piedra múcar en la Fortaleza de San Juan de Ulúa.**

|              |  |  |   |   |
|--------------|--|--|---|---|
| Filo         | CNIDARIA(Hatscheck, 1888.)                 |  |   |   |
| Clase        | ANTHOZOA (Ehrenberg, 1834.)                |  |   |   |
| Subclase     | ZOANTHARIA (De Blainville, 1830.)          |  |   |   |
| Orden        | SCLERACTINIA (Bourne, 1900.)               |  |   |   |
| Suborden     | FUNGIINA (Verril, 1865.)                   | FAVIINA (Vaughan y Wells, 1943.)           |   |   |
| Superfamilia | Agariciaceae (Gray, 1847.)                 | Poriticeae (Gray, 1842.)                   | Faviiceae (Gregory, 1900.)                        |   |
| Familia      | Siderastreidae (Vaughan y Wells, 1943.)    | Poritidae (Gray, 1842.)                    | Faviidae (Gregory, 1900.)                         |   |
| Nombre       | <i>Siderastrea radians</i> (Pallas, 1766.) | <i>Porites astreoides</i> (Lamerck, 1816.) | Subfamilia Faviinae (Gregory, 1900.)              | Subfamilia Montastreinae (Vaughan y Wells, 1943.)     |
|              |  |  | <i>Diploria clivosa</i> (Ellis y Solander, 1786.) | <i>Montastrea annularis</i> (Ellis y Solander, 1786.) |
|              |  |  | <i>Diploria strigosa</i> (Dana, 1848.)            | <i>Montastrea cavernosa</i> (Linneo, 1767.)           |
|              |  |  | <i>Colpophyllia natans</i> (Houttuyn, 1772.)      |   |



**Figura 3.3.1. Corales más comunes utilizados en la construcción de la Fortaleza.**

De las especies mencionadas, la *Colpophyllia natans*, la *Montastrea annularis* y la *Montastrea cavernosa*, fueron las especies más utilizadas como piedra múcara en la construcción de la fortaleza.

Las características que se obtuvieron para estos corales son:

- Contenido de finos que pasa por la malla 200: de 8 a 34%
- Relación de vacíos: 1.17
- Peso volumétrico natural: de 1.997 a 2.142 ton/m<sup>3</sup>
- Resistencia a la compresión, sin confinar: 148.5 a 230.6 kg/m<sup>2</sup>

#### **III.4. Monitoreo.**

Debido a la necesidad de conocer el comportamiento en el tiempo de diversos parámetros que afectan la funcionalidad de la Fortaleza, se llevaron al cabo diferentes monitoreos, cuyos resultados permitieron planificar soluciones a los problemas que afectan la Fortaleza.

#### *III.4.1. Corrientes marinas de los canales internos de la Fortaleza (Ref 4).*

La finalidad fue conocer la dinámica de las masas de agua que rodean la Fortaleza, con el propósito de determinar los sitios de mayor erosión causada por las corrientes, el oleaje, la sedimentación, la depositación de lodos y arenas, además de la concentración de sustancias químicas corrosivas.

Para medir la rapidez de las corrientes se utilizó el método de seguimiento de flotadores o derivas durante las mareas vivas en abril de 1993. Los resultados indicaron que el rango de rapidez varía considerablemente, según la distancia a la que se encuentren las bocas de entrada o salida a las dársenas, siendo en las salidas donde se registraron las mayores velocidades, con el máximo de 0.2 m/s observado en la boca Sureste cerca del puente que comunica con el Arsenal Nacional Tres de la Armada de México. El caso contrario se observó en los canales, entre el Norte del Rebellín de San José ó de la Media Luna, así como en la fachada Norte de la Luneta de Santa Catalina, donde se tiene poca circulación las aguas.

Se confirmó que la poca circulación en ciertas regiones de los canales coincide con las sustancias químicas disueltas en el agua, y que son producto de las descargas de drenajes que desembocan en el área, agravando el problema de erosión, y las diferencias de velocidades coinciden con la granulometría de los sedimentos, indicando la relación de las corrientes con el azolve de los canales.

#### *III.4.2. Tipo de sedimento en la zona marina adyacente a la Fortaleza (Ref 5).*

Se ubicaron las zonas y características del lodo, arena, roca, escombros y costales de cemento encontrados.

- Lodos. Se observaron en los canales interiores, que rodean al Revellín de San José o Reducto de la Media Luna, en las lunetas de Nuestra Señora del Pilar y Santa Catalina y en el canal principal que separa la Media Luna y el edificio principal. Se encontraron tamaños finos en profundidades de 20 a 150 cm en zonas de circulación restringida. Estos sedimentos, probablemente, sean de tipo terrígeno. Los tamaños finos se asocian a las zonas de baja energía (marejadas y corrientes), a la poca profundidad, al proceso sedimentario de depositación, a los obstáculos en canales interiores estrechos, con reducidas entradas entre ellos y a las estructuras de concreto derrumbadas. Los lodos son trampas de sustancias orgánicas e inorgánicas y zonas de descomposición anaeróbica de materia orgánica en los canales, que provienen de organismos que caen al fondo, principalmente de los drenajes adyacentes.
- Arenas. Se observaron tamaños medios de partícula hacia ambos extremos de los canales interiores cerca de su comunicación con las dársenas de San Vicente y Guadalupe, hacia las partes centrales de las mismas y frente al Muro de las Argollas, extendiéndose hacia el canal principal de la bahía del puerto. Las arenas más finas se encontraron dentro de los canales, en la parte central

de las dársenas y frente al Muro de las Argollas, a partir de los 5 m. de profundidad, donde el efecto del oleaje es poco perceptible. Estas arenas, tal vez, sea de origen terrígeno y biógeno. Las arenas más gruesas se encontraron en la pequeña playa, de la puerta de entrada en la cortina oeste, por la dársena de Guadalupe, donde la marejada golpea con fuerza, transportando y depositando sedimentos, principalmente biógeno. Otra zona se localizó en ambos lados del puente, entre el edificio principal y el Arsenal Nacional Tres, con sedimentos de origen antropogénico, principalmente arena sílica, producto del sandblasteo en el Arsenal.

- Roca. La mayor cantidad de roca es de origen antropogénico y el resto biógeno. Esto implica que mucha roca fue transportada por el hombre hacia el sitio, como escombros de relleno o producto del desprendimiento del edificio y una pequeña proporción de coral original del arrecife, sobre el cual está edificada la fortaleza. Se encontraron cantos rodados concentrados en el extremo oeste de canales internos y en la parte norte de la dársena de Guadalupe. Esta roca fue transportada al edificio, utilizada para relleno y construcción con concreto ciclópeo en obras anteriores de restauración. Las rocas se han desprendido por la acción del mar en los cimientos donde fue utilizada, quedando tiradas cerca de su colocación original, sufriendo poco transporte por la baja energía. Los muros del estacionamiento, del edificio principal y el área pequeña del Muro de las Argollas presentan gran cantidad de cantos rodados que se desprendieron del cimiento.
- Escombros. Un cinturón rodea la Fortaleza, pegado a sus muros. Esto indica que la energía no ha sido suficientemente fuerte para esparcirlo, excepto la parte Este de la dársena de Guadalupe, donde la marejada golpea con fuerza en época de nortes, y ha sido removido del edificio por mareas y corrientes. El escombros principalmente, es de fragmentos de coral, pedazos de tabiques y segmentos de concreto. En la zona de canales internos, el escombros ha sido parcial o totalmente cubierto por lodo, y ocasionalmente se encuentra mezclado con hierros y basura.
- Costales de concreto. Como parte de las reparaciones provisionales en la década de los 80's se colocaron costales de tela plástica rellenos de concreto hidráulico, alrededor de los cimientos del baluarte de San Pedro. El mar ha deteriorado esos costales, pero por su peso no han sido desplazados aunque han cambiado de posición.

#### *III.4.3. Características físico-químicas del cuerpo de agua aledaño a la Fortaleza. (Ref. 6 y 8)*

Se analizaron 14 parámetros en 27 muestras, incluyendo a los efluentes de aguas residuales que descargan en los canales, las colectas se realizaron de junio de 1994 a junio de 1995. Los resultados indicaron contaminación por materia orgánica, principalmente a nivel superficial de los canales que rodean el Revellín de San José (Media Luna), las lunetas de Nuestra Señora del Pilar y Santa

Catarina, disminuyendo considerablemente en el canal de navegación del puerto y las dársenas de Guadalupe y de San Vicente. El agua residual vertida por el Arsenal Nacional Tres de la Armada de México, resultó ser del tipo industrial.

Durante los muestreos se observó la macrofauna del área, como las lisas, ostiones, jaibas y cangrejos. Los análisis cualitativos mostraron la presencia de bacterias anaerobias y sulfato reductoras (*Gallionella sp* y *Pseudomonas sp*). Del análisis cuantitativo se encontró la existencia del *Thiobacillus sp*.

En la tabla 3.4.3.1. se indican los valores promedio de los parámetros físicos, químicos y biológicos colectados en los canales y dársenas.

**Tabla 3.4.3.1. Valores promedio de los parámetros ambientales en canales y dársena de la Fortaleza de San Juan de Ulúa.**

| Parámetro                          | Periodo de medición | Punto de muestreo |        |        |        |        |        |        |        |
|------------------------------------|---------------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                    |                     | 1                 | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      |
| Temperatura en superficie [°C]     | 1994 - 1995         | 24.77             | 25.80  | 25.80  | 25.90  | 25.70  | 25.70  | 25.70  | 25.80  |
|                                    | 1996                | 28.50             | 28.00  | 28.00  | 28.00  | 28.00  | 28.00  | 28.00  | 28.00  |
| PH                                 | 1994 - 1995         | 7.8               | 7.7    | 7.7    | 7.7    | 7.8    | 7.9    | 7.9    | 7.9    |
|                                    | 1996                | 7.9               | 7.8    | 7.9    | 7.8    | 7.9    | 8.1    | 8.0    | 8.0    |
| Salinidad en partes por mil        | 1996                | 30.0              | 31.0   | 32.0   | 33.0   | 32.0   | 32.5   | 33.0   | 33.5   |
| Conductividad [Ω]                  | 1994 - 1995         | 0.0560            | 0.0556 | 0.0552 | 0.0549 | 0.0557 | 0.0564 | 0.0563 | 0.0635 |
|                                    | 1996                | 0.0596            | 0.0596 | 0.0581 | 0.0596 | 0.0596 | 0.0610 | 0.0610 | 0.0610 |
| Transparencia [cm]                 | 1994 - 1995         | 50.38             | 31.27  | 110.75 | 20.94  | 123.6  | 162.55 | 217.7  | 363.36 |
|                                    | 1996                | 88                | 145    | 140    | 108    | 173    | 200    | 188    | 800    |
| Sólidos totales [mg/l]             | 1994 - 1995         | 34.22             | 1.33   | 29.37  | 34.54  | 33.15  | 34.00  | 38.66  | 37.37  |
| Sólidos volátiles [mg/l]           | 1994 - 1995         | 6.55              | 12.35  | 8.75   | 8.66   | 14.70  | 15.61  | 8.91   | 8.33   |
| Amonio [ug atm/l]                  | 1994 - 1995         | 4.00              | 6.64   | 12.72  | 1.60   | 2.41   | 0.94   | 0.85   | 0.45   |
| Nitritos [ug atm/l]                | 1994 - 1995         | 1.33              | 1.33   | 0.97   | 0.53   | 0.55   | 0.43   | 0.38   | 0.17   |
| Demanda de oxígeno disuelto [mg/l] | 1994 - 1995         | 4.0               | 3.5    | 3.3    | 4.2    | 4.0    | 5.7    | 5.6    | 6.2    |
|                                    | 1996                | 2.9               | 3.1    | 3.3    | 2.8    | 3.6    | 5.9    | 6.6    | 7.1    |

**Tabla 3.4.3.1. Valores promedio de los parámetros ambientales en canales y dársena de la Fortaleza de San Juan de Ulúa. (Continuación)**

|                                      |             |       |       |       |      |      |       |      |      |
|--------------------------------------|-------------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|------|
| Demanda bioquímica de oxígeno [mg/l] | 1994 - 1995 | 13.70 | 3.90  | 1.50  | 3.10 | 1.50 | 23.90 | 2.37 | 3.00 |
| Coliformes totales [103 NMP/100 ml]  | 1994 - 1995 | >1140 | >1140 | >1140 | <314 | <314 | >10   | >10  | >10  |
|                                      | 1996        | 11    | 46    | 110   | 24   | 2.4  | 0.93  | 11   | 1.5  |
| Cobre [ug/l]                         | 1994 - 1995 | <200  | <200  | <200  | <200 | <200 | <200  | <296 | <200 |
| Fierro [ug/l]                        | 1994 - 1995 | <375  | <375  | <375  | <375 | <375 | <375  | <375 | <375 |
| Cadmio [ug/l]                        | 1994 - 1995 | <100  | <100  | <100  | <100 | <100 | <100  | <100 | <100 |
| Zinc [ug/l]                          | 1994 - 1995 | <150  | <150  | <150  | <150 | <150 | <296  | <150 | <150 |
| Manganeso [ug/l]                     | 1994 - 1995 | <185  | <185  | <185  | <185 | <183 | <183  | <183 | <183 |
| Cromo [ug/l]                         | 1994 - 1995 | <200  | <200  | <200  | <200 | <200 | <200  | <200 | <200 |
| Níquel [ug/l]                        | 1994 - 1995 | <225  | <225  | <225  | <225 | <225 | <225  | <225 | <225 |
| Plomo [ug/l]                         | 1994 - 1995 | <250  | <250  | <250  | <250 | <250 | <250  | <250 | <250 |
| Cobalto [ug/l]                       | 1994 - 1995 | <1    | <1    | <1    | <1   | <1   | <1    | <1   | <1   |

En la tabla 3.4.3.2. se aprecian los valores promedio de las descargas vertidas en los canales de la Fortaleza.

**Tabla 3.4.3.2. Valores promedio de algunos parámetros ambientales de las descargas vertidas por el Arsenal Nacional Tres sobre los canales de la Fortaleza de San Juan de Ulúa.**

| Parámetro               | Muestreo en la descarga |      |      | Composición del agua residual doméstica no tratada (Álvarez y Silva, 1993) |       |        |
|-------------------------|-------------------------|------|------|--|-------|--------|
|                         | 1                       | 2    | 3    | Débil  | Medio | Fuerte |
| Detergentes [mg/l]      | 1.21                    | 1.67 | 2.46 | ---  | ---   | ---    |
| Oxígeno disuelto [mg/l] | 0.70                    | 2.67 | 0.00 | ---  | ---   | ---    |

**Tabla 3.4.3.2. Valores promedio de algunos parámetros ambientales de las descargas vertidas por el Arsenal Nacional Tres sobre los canales de la Fortaleza de San Juan de Ulúa. (Continuación)**

|                                      |         |          |         |            |             |            |
|--------------------------------------|---------|----------|---------|------------|-------------|------------|
| Demanda bioquímica de oxígeno [mg/l] | 503.6   | 1596.2   | 419.1   | 110        | 220         | 400        |
| Demanda química de oxígeno [mg/l]    | 7732.20 | 15746.00 | 5826.60 | 250        | 500         | 1000       |
| Sólidos suspendidos totales [mg/l]   | 128.03  | 241.50   | 1299.30 | 100        | 220         | 350        |
| Sólidos disueltos [mg/l]             | 666.6   | 1655.0   | 4366.0  | 250        | 500         | 850        |
| Coliformes totales [103 NMP/100 ml]  | 1430    | 195      | 8330    | 1.0 - 10.0 | 10.0 - 70.0 | 100 - 1000 |

### III.5. Referencias topográficas (Ref. 7).

Con el propósito de conocer la verticalidad que presentan muros y columnas de la Fortaleza, en los cuales a simple vista se registran movimientos horizontales, se realizaron trabajos de medición de desplomes.

Los desplomes se realizaron definiendo puntos sobre el paramento de los muros y columnas; dichos puntos están ubicados en la parte superior e inferior de estos elementos estructurales, formando secciones verticales con una separación, en el sentido horizontal, de 15 m. en los muros Suroeste, y de 22 m. en el muro Norte, mientras que en las columnas sólo se definió una sección vertical al centro del paramento de cada columna. Los desplomes que se registraron en la plazuela central de la Fortaleza y las columnas que se encuentran en la parte Norte del Puente de los Suspiros, que da acceso al reducto de la media luna, se muestran en la tabla 3.5.1.

**Tabla 3.5.1. Desplomes registrados en la Plazuela Central y en las columnas del Norte del Puente de los Suspiros.**

| Elemento         | Desplome permisible [cm] | Desplome medido [cm] | Dirección. |
|------------------|--------------------------|----------------------|------------|
| Muro Norte       | 6.3                      | 3.0                  | Sur        |
| Muro Sur         | 6.3                      | 2.0                  | Norte      |
| Muro Poniente    | 6.3                      | 4.0                  | Oriente    |
| Columna Poniente | 2.8                      | 13.0                 | Poniente   |
| Columna Oriente  | 2.8                      | 2.3                  | Oriente    |

Por otra parte, para contar con un horizonte más claro de la magnitud de los desplomes que se han registrado, se definió el desplome permisible para cada uno de los elementos estructurales en donde se han llevado a cabo estas mediciones. Dicho desplome está en función de su altura.

Asimismo, de acuerdo con los resultados obtenidos en los trabajos de medición de desplomes, se puede comentar que la desviación de la verticalidad en los muros se encuentra por debajo del desplome permisible, observándose que los únicos desplomes críticos se presentan en las columnas del Puente de los suspiros, principalmente en la columna situada en el lado Oeste, la cuál rebasó el desplome permisible.

Por último, la Torre de San José, ubicada en la esquina Suroeste del monumento, reporta un desplome de 10.9 cm. al Norte y de 6 cm. al Oeste.

### **III.6. Referencias en muros (Ref. 7).**

Con el propósito de determinar si actualmente se están presentando movimientos verticales en la Fortaleza, se colocaron referencias para nivelación en muros y columnas, con cotas establecidas a partir del banco de control BN-0, ubicado en la base del cañón que se encuentra al Noreste del castillo con elevación de 1.817 m.s.n.m.

Los resultados que se obtuvieron en campo fueron procesados y graficados en gabinete, definiéndose 10 secciones en sentido longitudinal y transversal. Estos caracterizan el comportamiento que se ha presentado hasta el momento en el monumento. De esta forma se elaboraron las gráficas de perfiles de deformación que se muestran, y en las cuales se puede evaluar de forma objetiva la tendencia que muestra la fortaleza en cuanto a desplazamientos verticales.

Tal como se puede observar en las gráficas deformación – tiempo, de las que se muestran un par de ejemplos en las figuras 3.6.1. y 3.6.2., los movimientos verticales que se presentaron en todo el monumento están comprendidos en un rango de  $\pm 3.0$  mm., y quedan comprendidos dentro de la tolerancia del equipo de medición, pudiéndose identificar este efecto como una condición de estabilidad del Castillo.

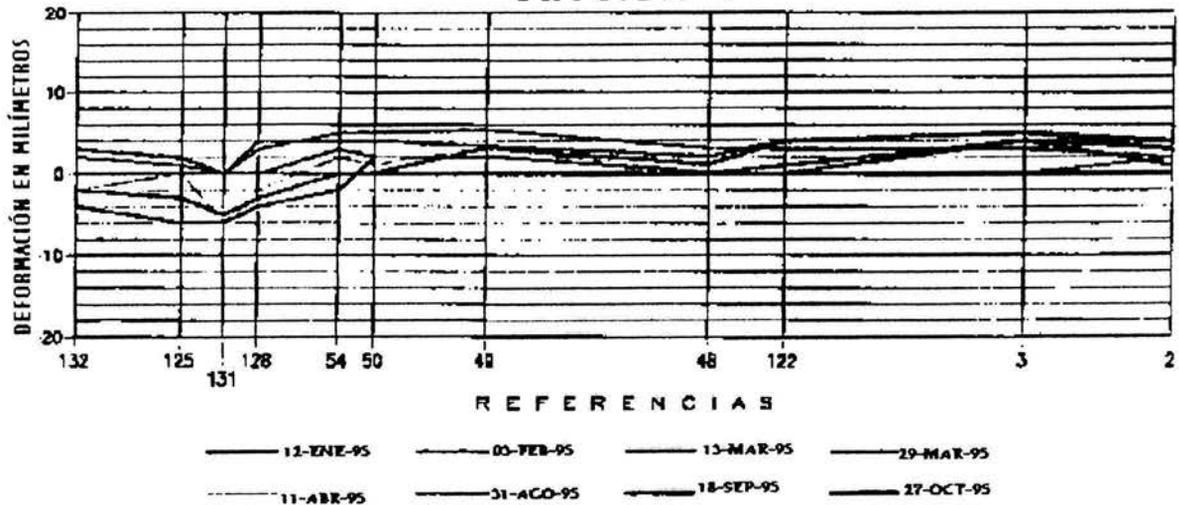


Figura 3.6.1. Gráfica deformación – tiempo, correspondiente a la sección localizada a la entrada de la zona de canales interiores, entre el Baluarte de Santiago y la Luneta de Santa Catarina.

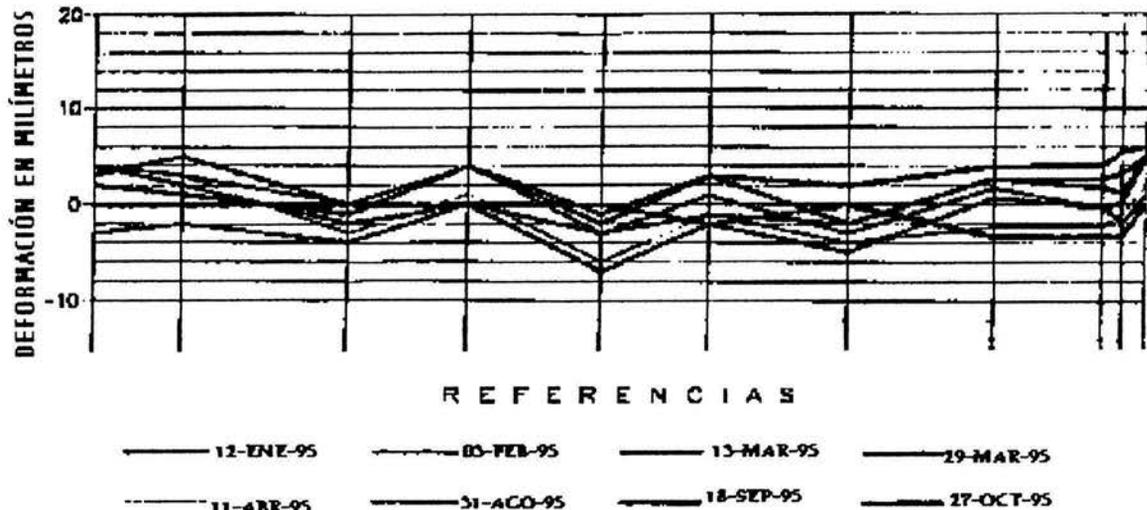


Figura 3.6.2. Gráfica deformación – tiempo, correspondiente a la sección localizada en el interior del Baluarte de Santiago.

### III.7. Inclínómetros de PVC.

Ya se ha mencionado que existen agrietamientos causados por la inestabilidad en la plataforma marina y socavaciones en la misma. Para verificar la existencia de movimientos diferenciales en dos direcciones en la Fortaleza, principalmente en la zona del Baluarte de San Pedro, se dispuso de una serie de inclinómetros de P.V.C., que han venido arrojando lecturas desde 1996.

En la figura 3.7.1. se muestra la localización de los inclinómetros dispuestos en la fortaleza. El inclinómetro I – 02 queda un poco más hacia el Este y no aparece en la figura. Las gráficas correspondientes a los datos proporcionados por los inclinómetros se muestran en las figuras 3.7.2. a 3.7.13. (Ref. 7)

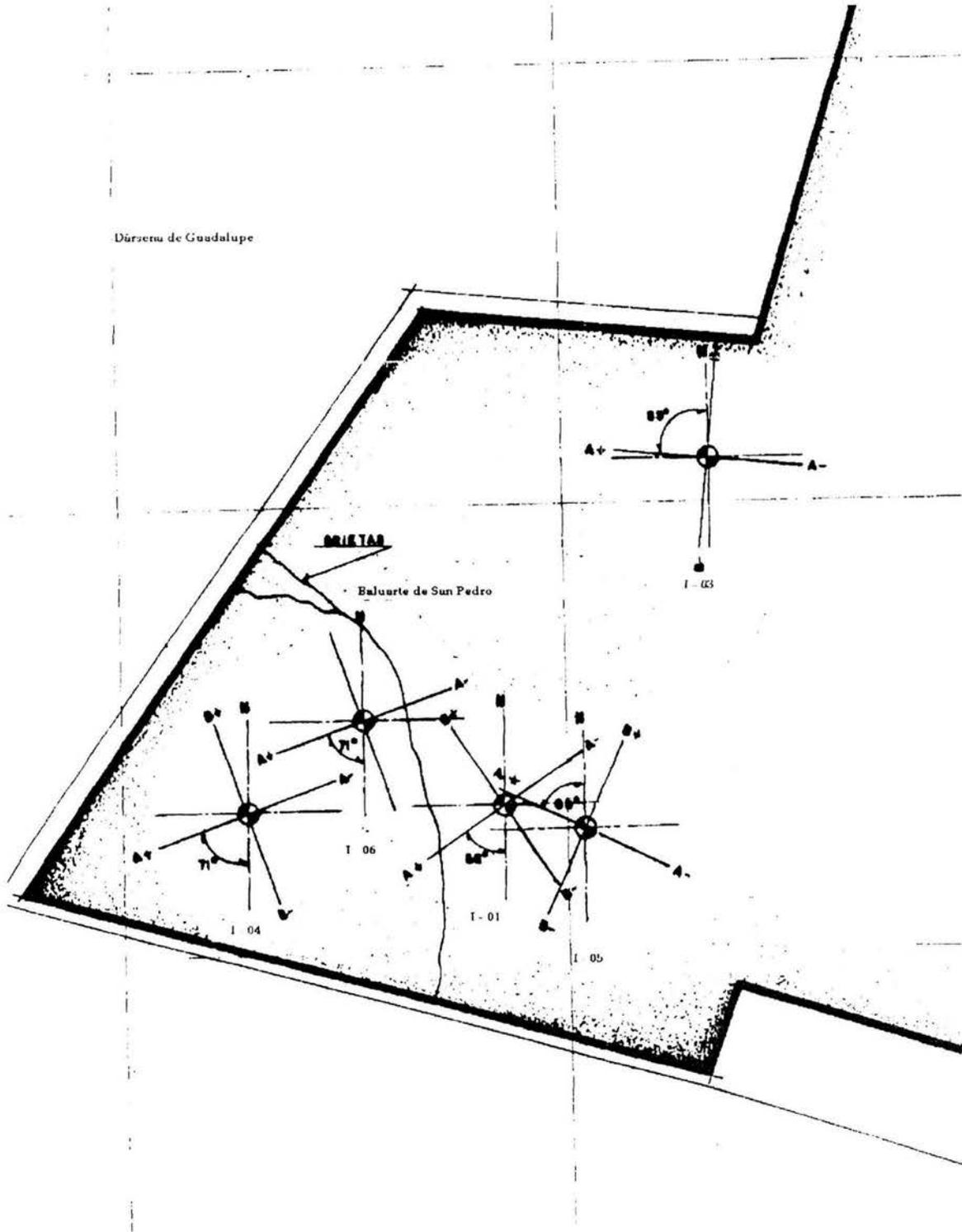


Figura 3.7.1. Localiación de los inclinómetros en la Fortaleza de San Juan de Ulúa.

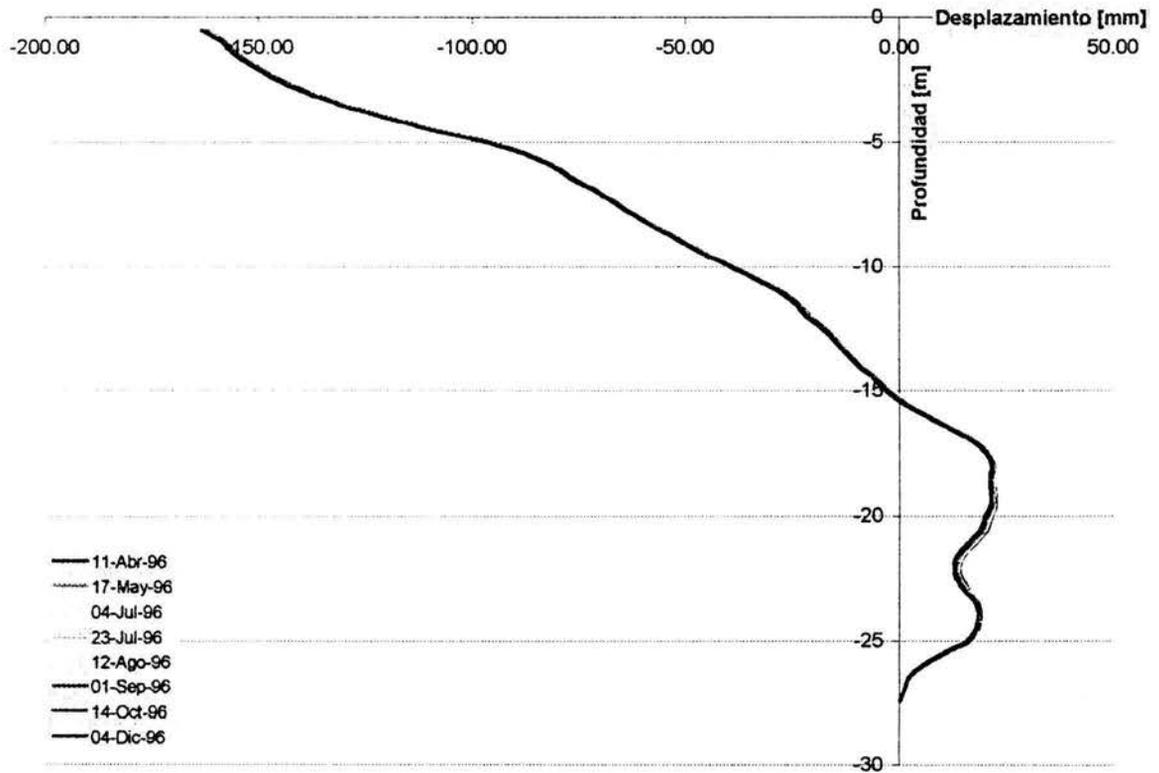


Figura 3.7.2. Gráfica del inclinómetro I – 01 en la dirección (A-) – (A+).

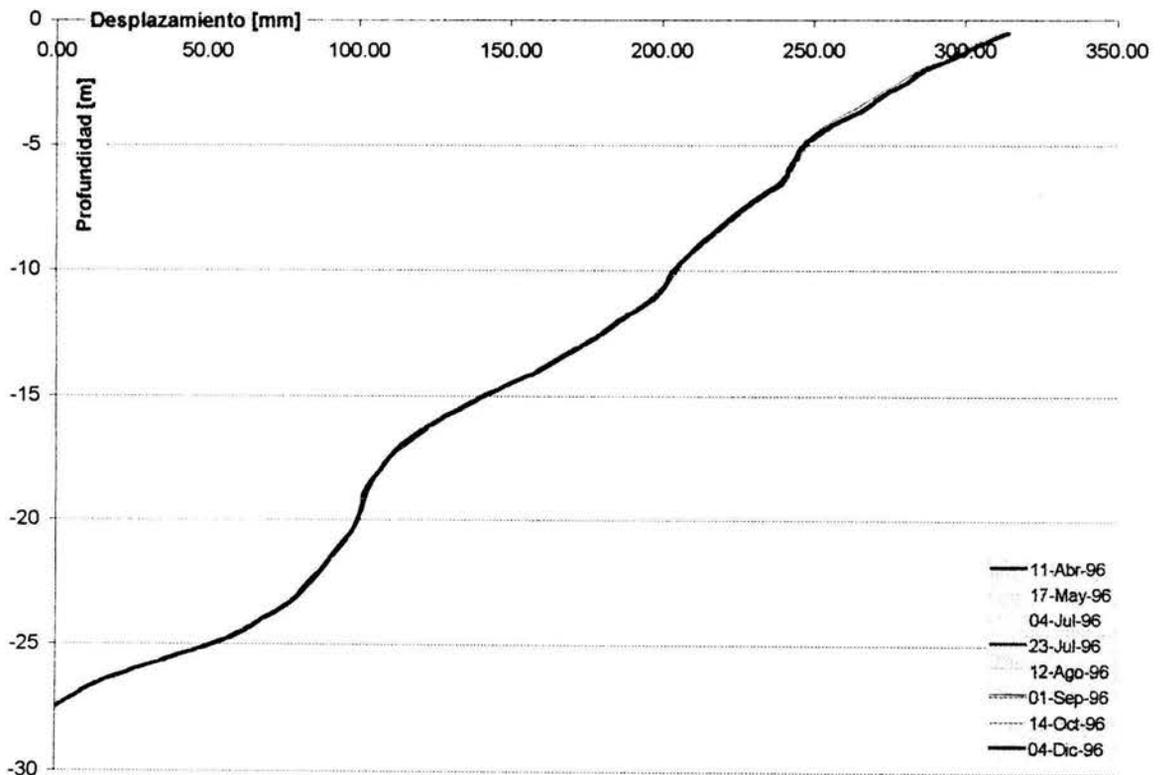


Figura 3.7.3. Gráfica del inclinómetro I – 01 en la dirección (B-) – (B+).

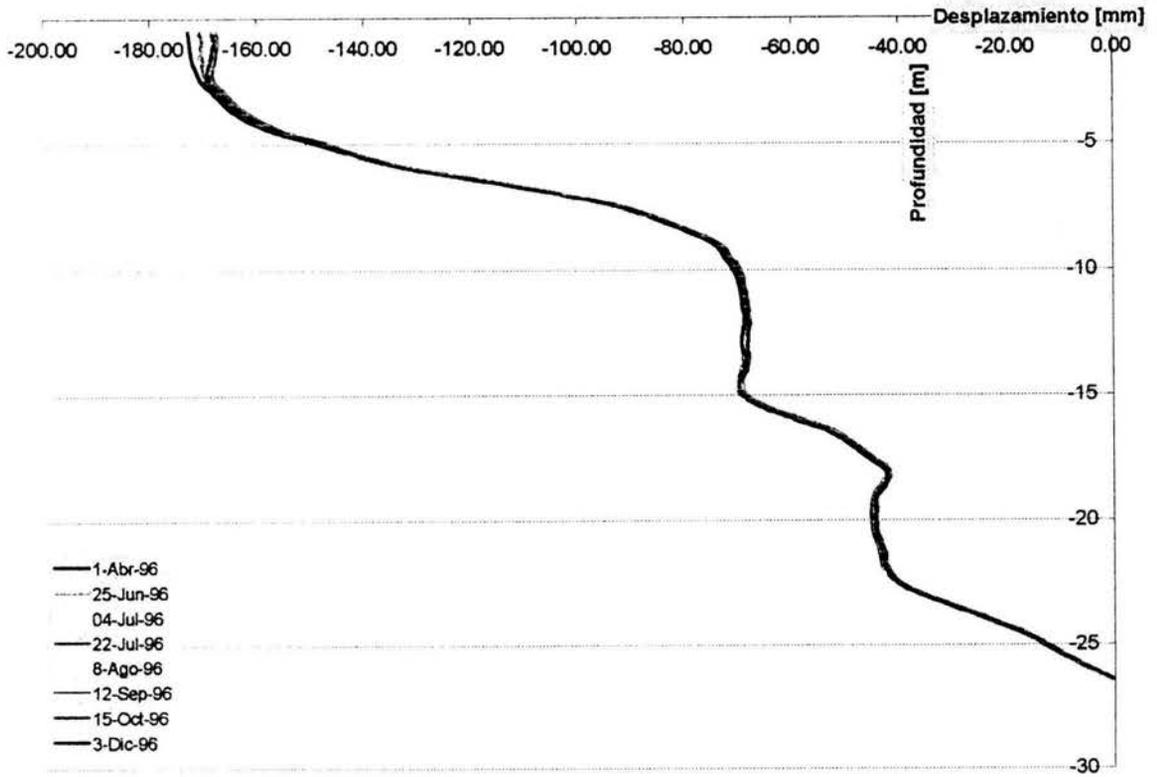


Figura 3.7.4. Gráfica del inclinómetro I – 02 en la dirección (A-) – (A+).

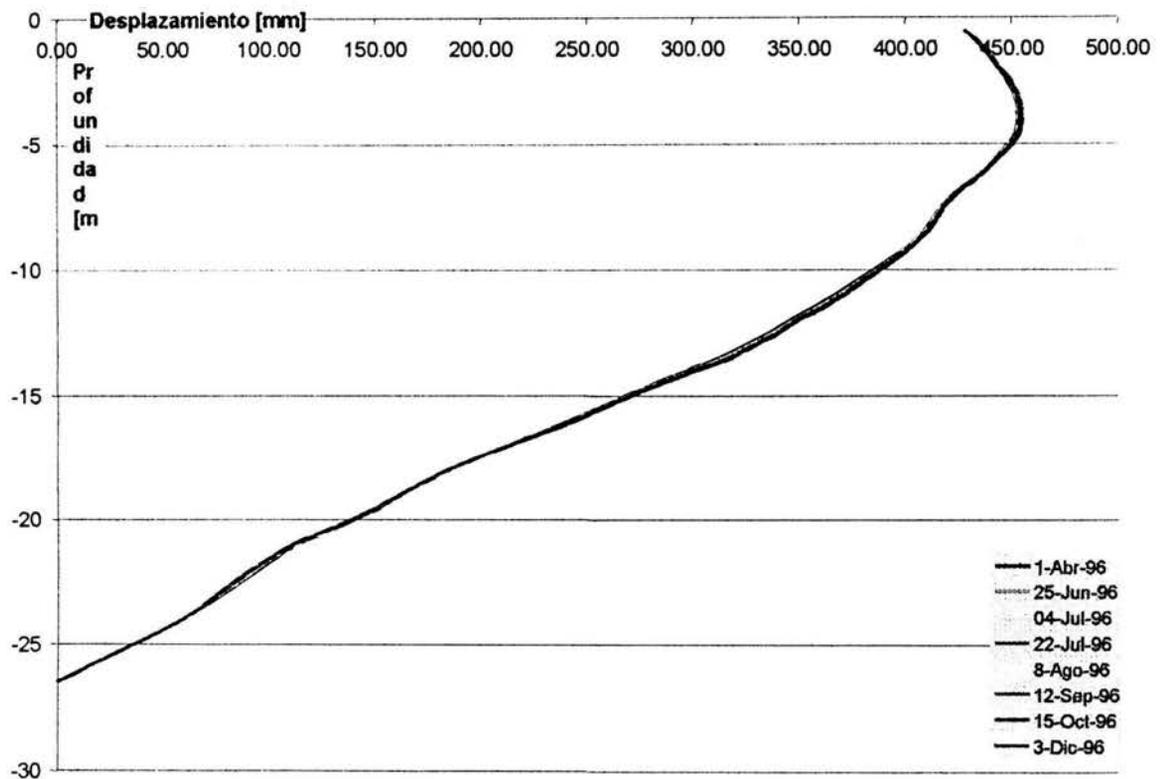


Figura 3.7.5. Gráfica del inclinómetro I – 02 en la dirección (B-) – (B+).

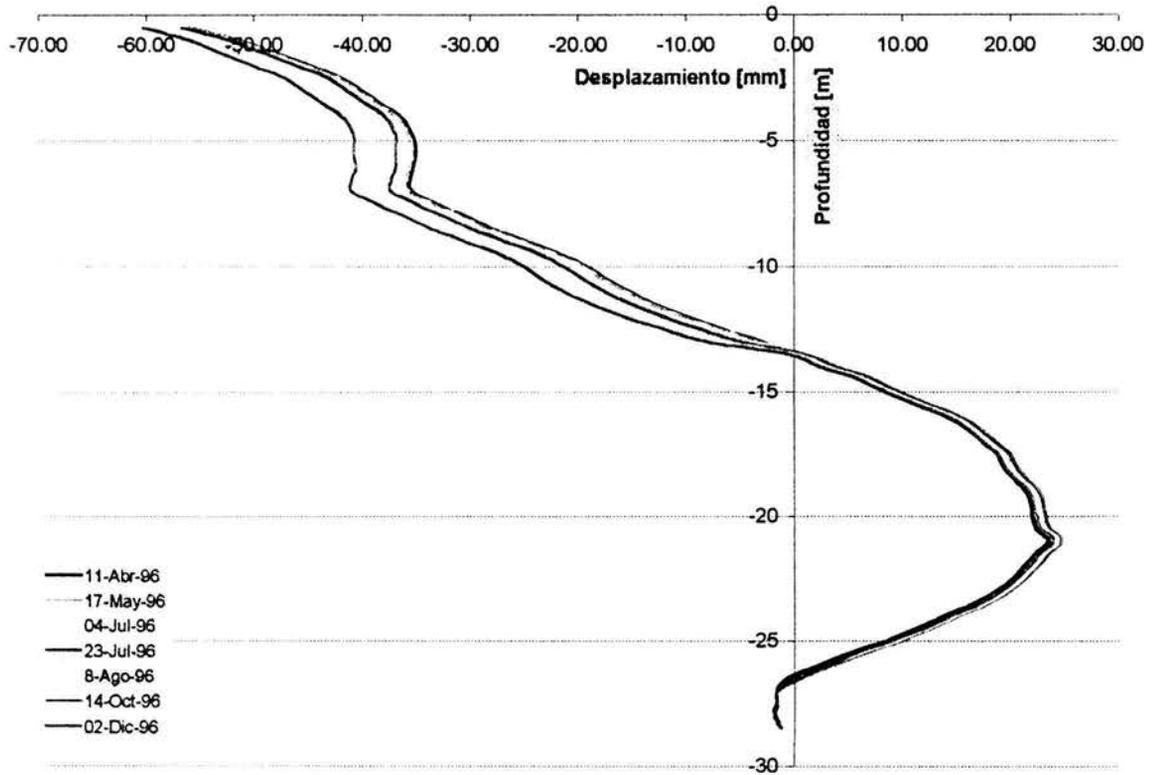


Figura 3.7.6. Gráfica del inclinómetro I – 03 en la dirección (A-) – (A+).

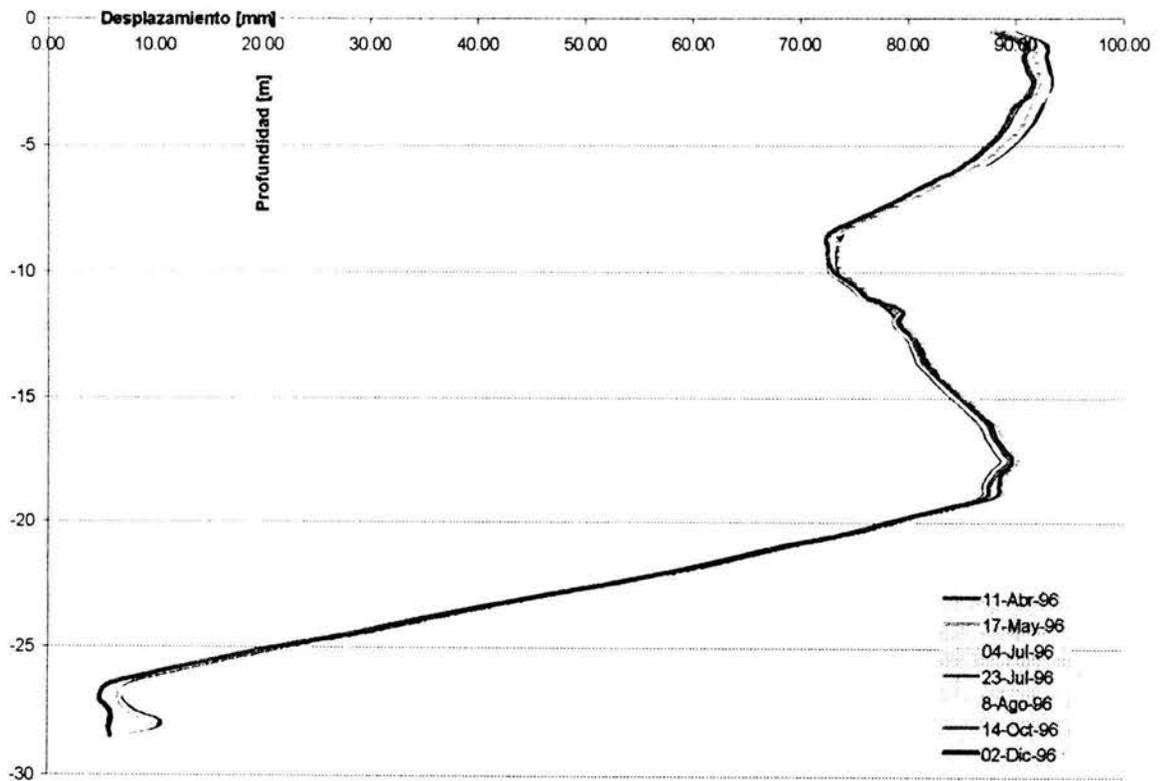


Figura 3.7.7. Gráfica del inclinómetro I – 03 en la dirección (B-) – (B+).

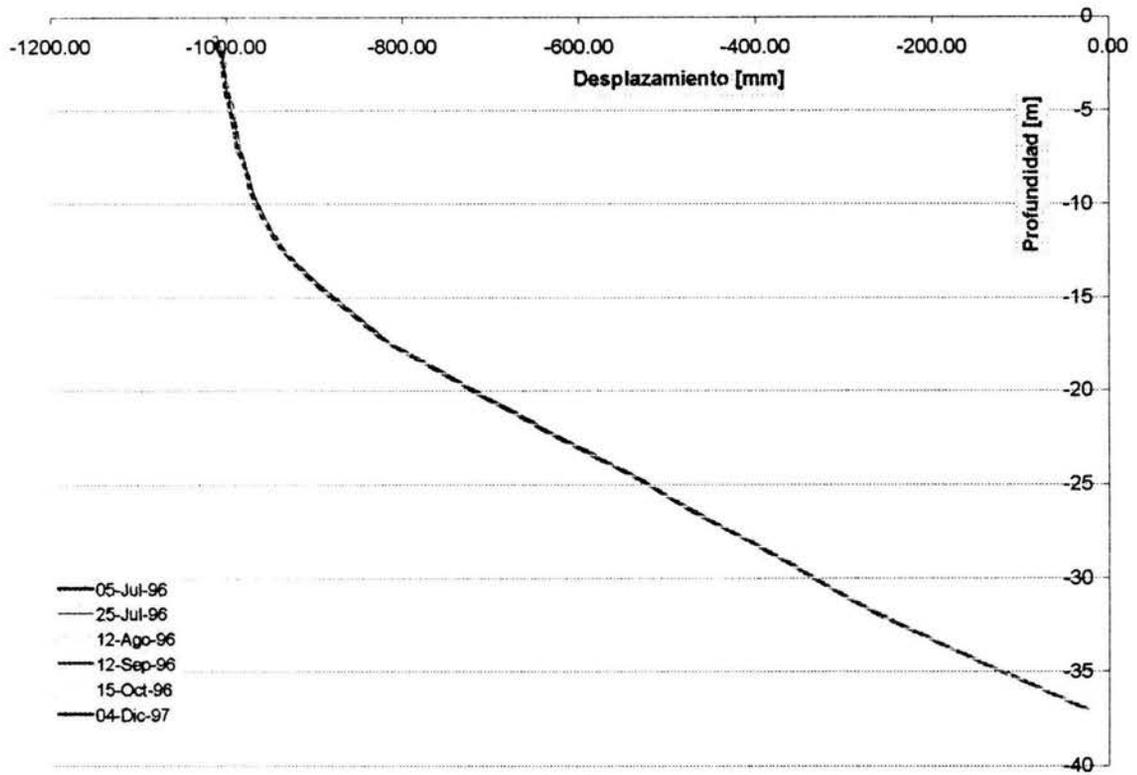


Figura 3.7.8. Gráfica del inclinómetro I – 04 en la dirección (A-) – (A+).

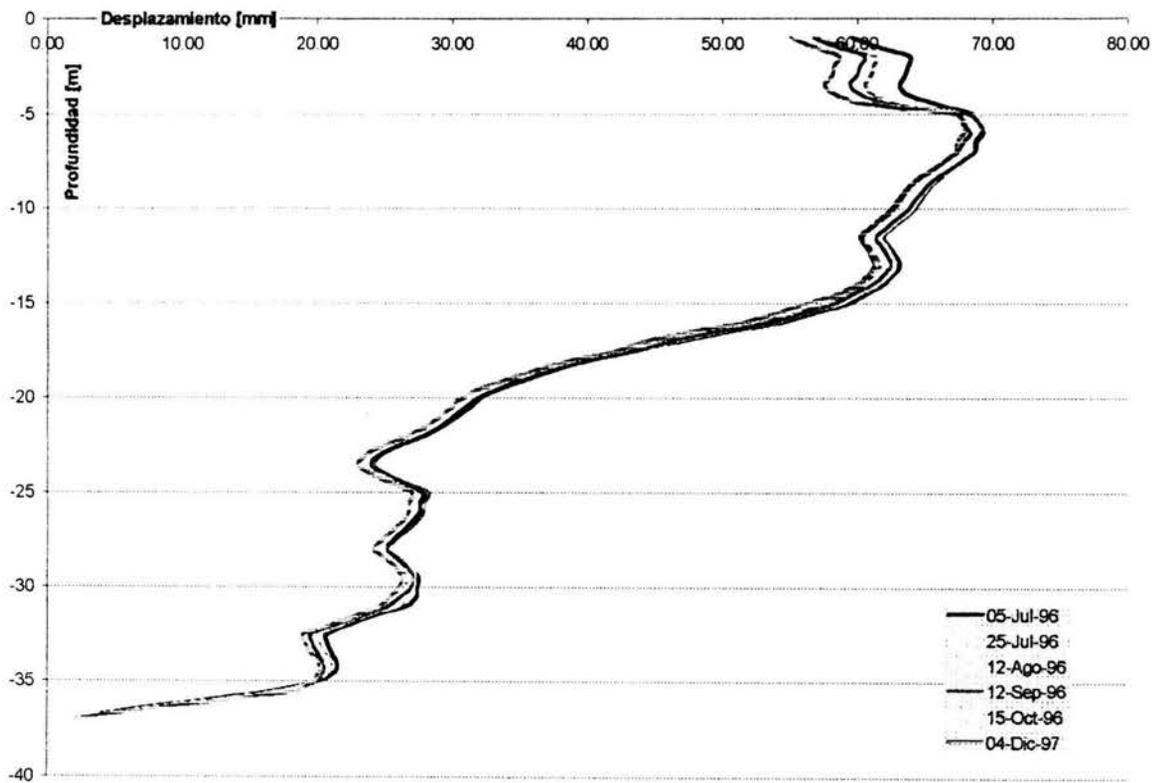


Figura 3.7.9. Gráfica del inclinómetro I – 04 en la dirección (B-) – (B+).

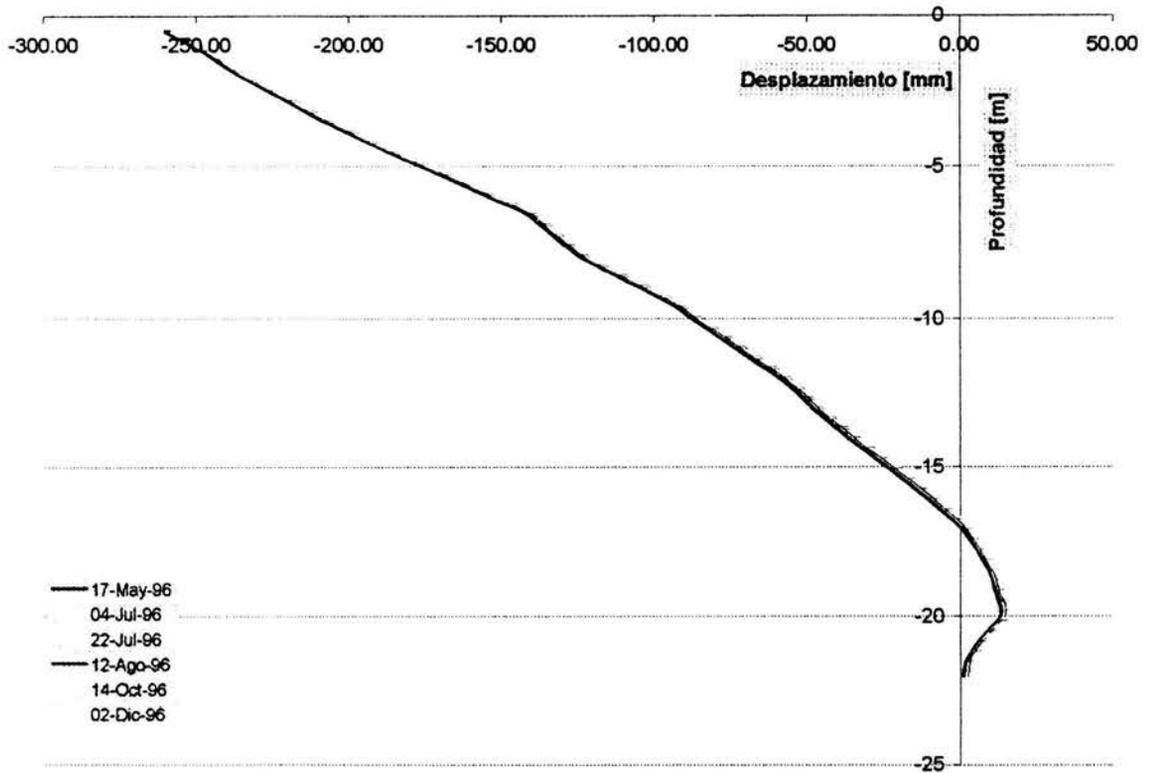


Figura 3.7.10. Gráfica del inclinómetro I – 05 en la dirección (A-) – (A+).

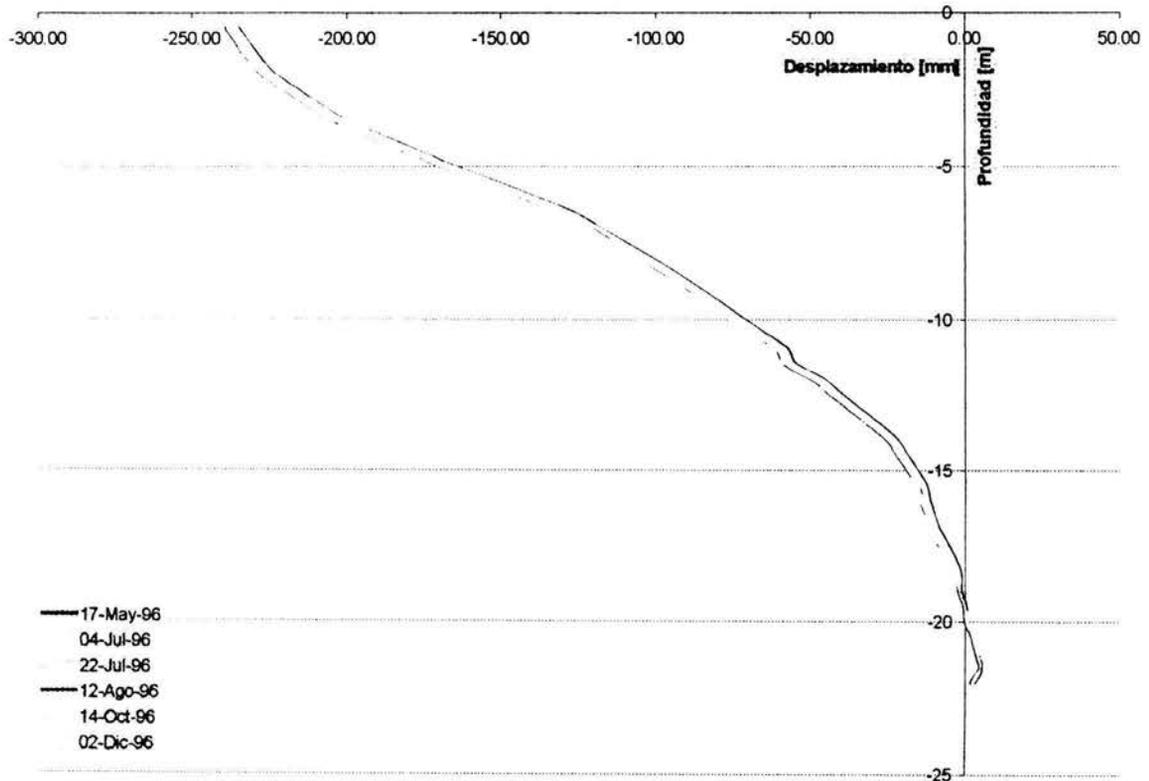


Figura 3.7.11. Gráfica del inclinómetro I – 05 en la dirección (B-) – (B+).

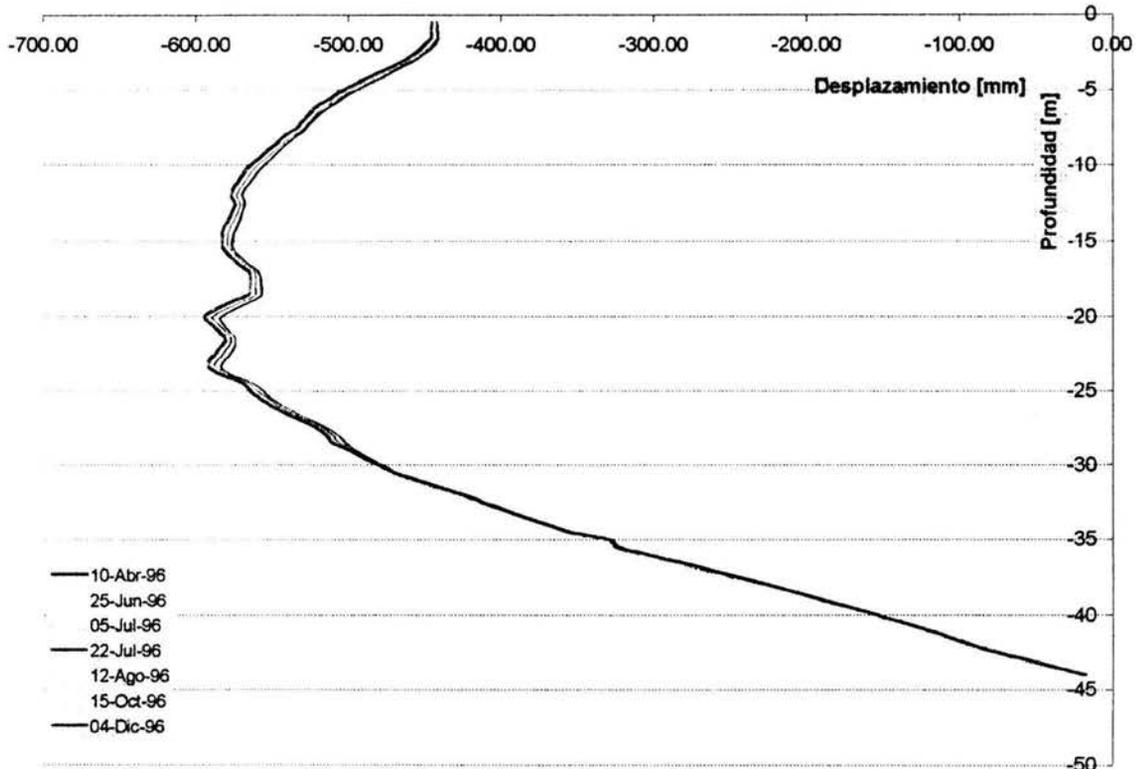


Figura 3.7.12. Gráfica del inclinómetro I – 06 en la dirección (A-) – (A+).

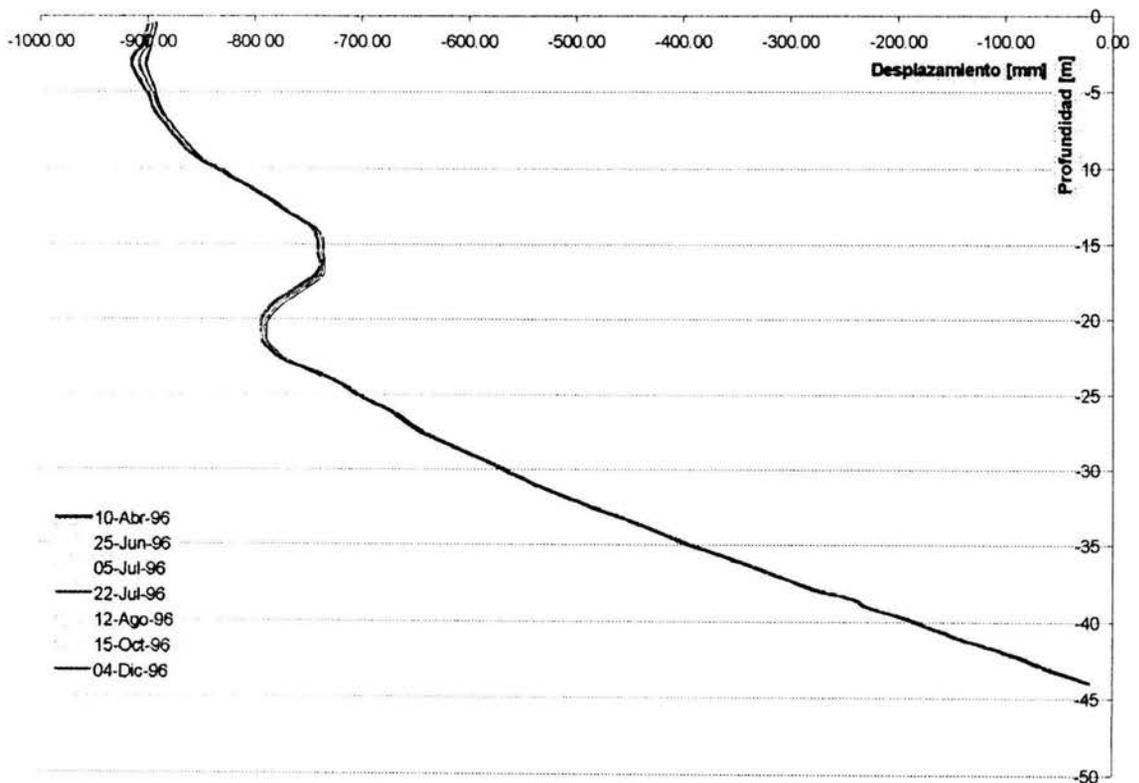
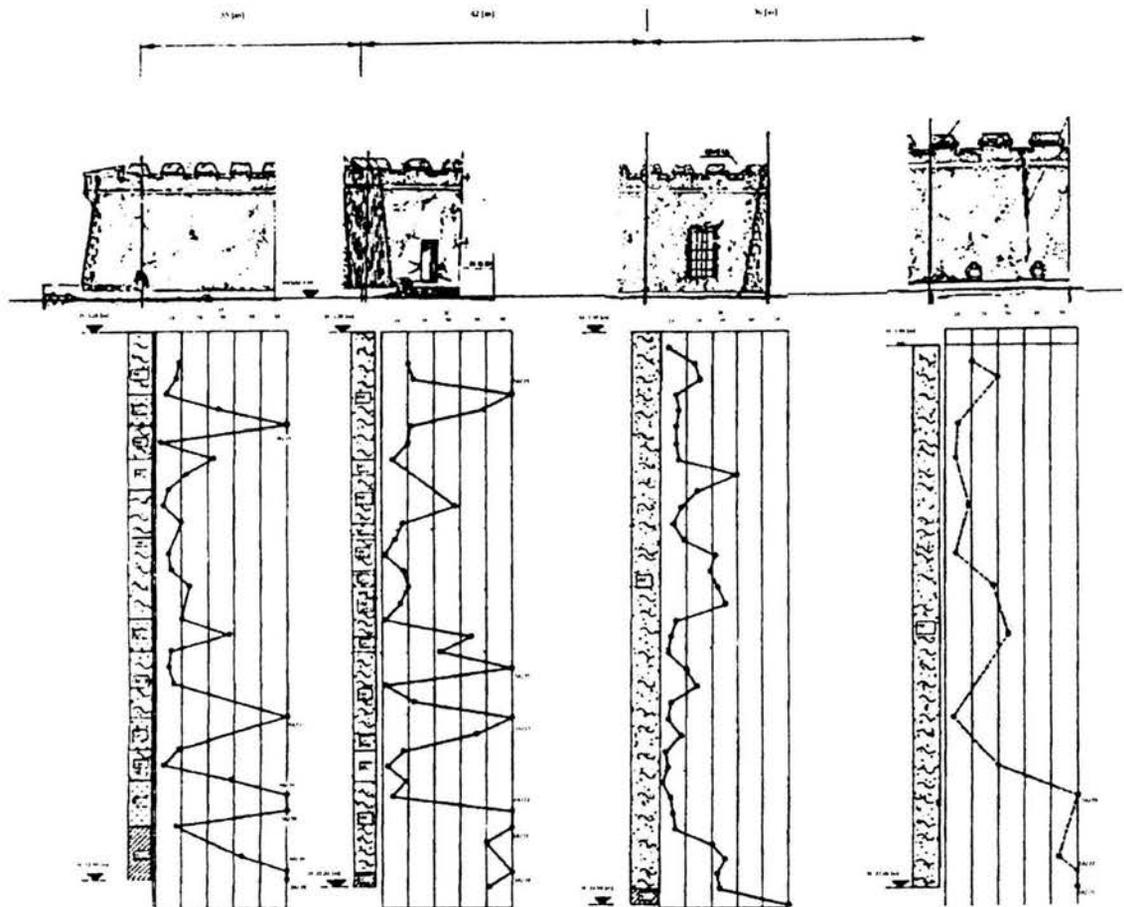


Figura 3.7.13. Gráfica del inclinómetro I – 06 en la dirección (B-) – (B+).

### III.8. Estratigrafía (Ref. 7).

Se reconocen varios horizontes que configuran la plataforma marina donde está asentada la Fortaleza. En la tabla 3.8.1. se muestran las características más importantes de cada horizonte, mientras que en la tabla 3.8.2. está la clasificación de los materiales que los forman según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.). La figura 3.8.1. muestra un ejemplo de perfil estratigráfico determinado en el Baluarte de San Pedro y el Muro de las Argollas. En la misma figura se aprecia una gráfica del número de golpes en penetración estándar, y es importante resaltar la poca resistencia que presentó en general el material a esta prueba.



**Figura 3.8.1. Perfiles estratigráficos en la zona del Baluarte de San Pedro y Muro de las Argollas. Las gráficas indican el número de golpes en prueba de penetración estándar.**

**Tabla 3.8.1. Características de los estratos que forman la plataforma marina sobre la que se encuentra cimentada la Fortaleza de San Juan de Ulúa.**

| Horizonte                 | Espesor [m] | Cotas respecto al NMBM [m] | Características |          |              |          |           |          |            |                                  |
|---------------------------|-------------|----------------------------|-----------------|----------|--------------|----------|-----------|----------|------------|----------------------------------|
|                           |             |                            | $N_{SPT}$       |          | $\omega$ [%] |          | Finos [%] |          | $\phi$ [°] | $\gamma_m$ [ton/m <sup>3</sup> ] |
|                           |             |                            | Rango           | Promedio | Rango        | Promedio | Rango     | Promedio |            |                                  |
| II<br>Depósitos recientes | 10 a 15     | -2 a -17                   | 0 a 35          | 9        | 19 a 68      | 32       | 1 a 74    | 34       | 28         | 1.9                              |
| III<br>Transición         | 0.5 a 3     | -16 a -26                  | 3 a 50          | 30       | 11 a 42      | 25       | 4 a 78    | 23       | 33         | 2                                |
| IV<br>Depósitos antiguos  | ---         | a partir de -23            | Mayor a 50      |          | 12 a 37      | 23       | 8 a 39    | 30       | > 41       | 2.04                             |

**Tabla 3.8.2. Clasificación según el S.U.C.S. de los materiales presentes en los estratos que forman la plataforma marina en que está cimentada la Fortaleza de San Juan de Ulúa.**

| Horizonte                 | Clasificación | Tipo de material                            | Notas   |
|---------------------------|---------------|---|---|
| II<br>Depósitos recientes | SM            | Arenas limosas                              | Color gris y gris verdoso                       |
|                           | ML            | Limos arenosos                              |   |
|                           | Qc            | Fragmentos de conchas y corales             |   |
| III<br>Transición         | SP            | Arenas finas a medias                       | Arenas uniformes de compacidad de media a alta. |
|                           | SM y SC       | Arenas limosas y arcillosas, finas a medias | Hay fragmentos de coral y fósiles de conchas    |
|                           | Qc            | Depósitos de coral                          | Color blanco a marfil, espesor entre 0.5 y 3 m. |
| IV<br>Depósitos antiguos  | SC            | Arenas arcillosas, de medias a gruesas      | Alta compacidad y parcialmente litificadas.     |
|                           | GP            | Gravas basálticas y calcáreas               | Alta compacidad.                                |

## **IV. Solución a estabilidad y oquedades.**

### **IV.1. Reparación de muros sumergidos en las lunetas de Nuestra Señora del Pilar y de Santa Catarina, Revellín de San José y Contraescarpe (Ref. 7).**

Debido a la alta contaminación de los canales interiores, no solamente la zona de variación de mareas de los muros presenta deterioro. Los trabajos realizados en el Puente de los Suspiros para abatir el agua de mar y trabajar en seco, permitieron observar que este daño llega también hasta el contacto del muro sumergido con el suelo del fondo marino, de esta manera se pudo concluir que la franja de muro deteriorada se amplía de un ancho de 0.6 m. a 1.20 m. aproximadamente, casi el doble de lo estimado inicialmente.

Por otro lado, es importante comentar que la magnitud de los daños puede variar significativamente entre las diferentes estructuras presentes en la zona de canales interiores.

El procedimiento para reparar los muros fue el siguiente:

- Abatimiento del agua de mar mediante la construcción de ataguías y bombeo, según se muestra en la figura 4.1.1.
- Limpieza de los muros mediante agua a presión para identificar las secciones dañadas.
- Demolición de las zonas dañadas y formación de "cajas" para alojar los materiales de repuesto. Los materiales disponibles y propuestos son sillares (bloques) de roca caliza del banco de "Peñuela", próximo a la Ciudad de Córdoba, Veracruz. Las dimensiones de los sillares son iguales a los elementos originales para dar la misma apariencia original. Estos elementos se fijaron con mortero cemento – arena en proporciones 1:3 usando cemento tipo II o V en su fabricación.
- Aplanado de los muros sumergidos con mortero cemento – arena , para sellar la superficie y proporcionar una protección adicional contra la corrosión y el intemperismo.

En la figura 4.1.2. se muestra un esquema del procedimiento de reconstrucción, y en la figura 4.1.3. una fotografía del Revellín de San José, ya reparado, como ejemplo de las acciones realizadas en la zona.

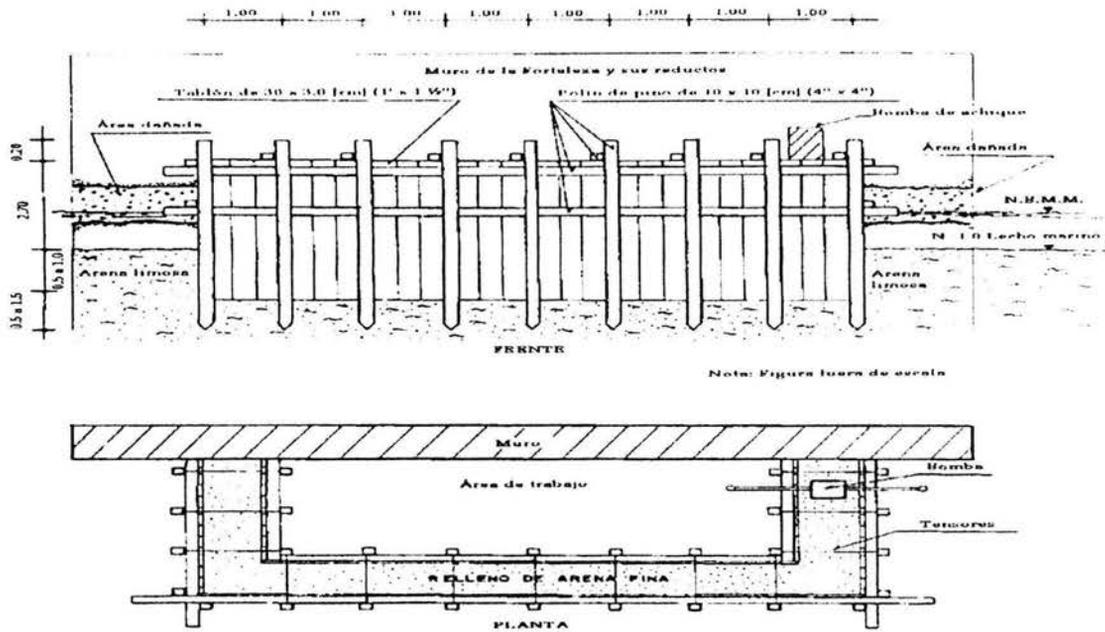


Figura 4.1.1. Abatimiento del agua para reparar en seco los canales interiores de la Fortaleza de San Juan de Ulúa. Figura fuera de escala.

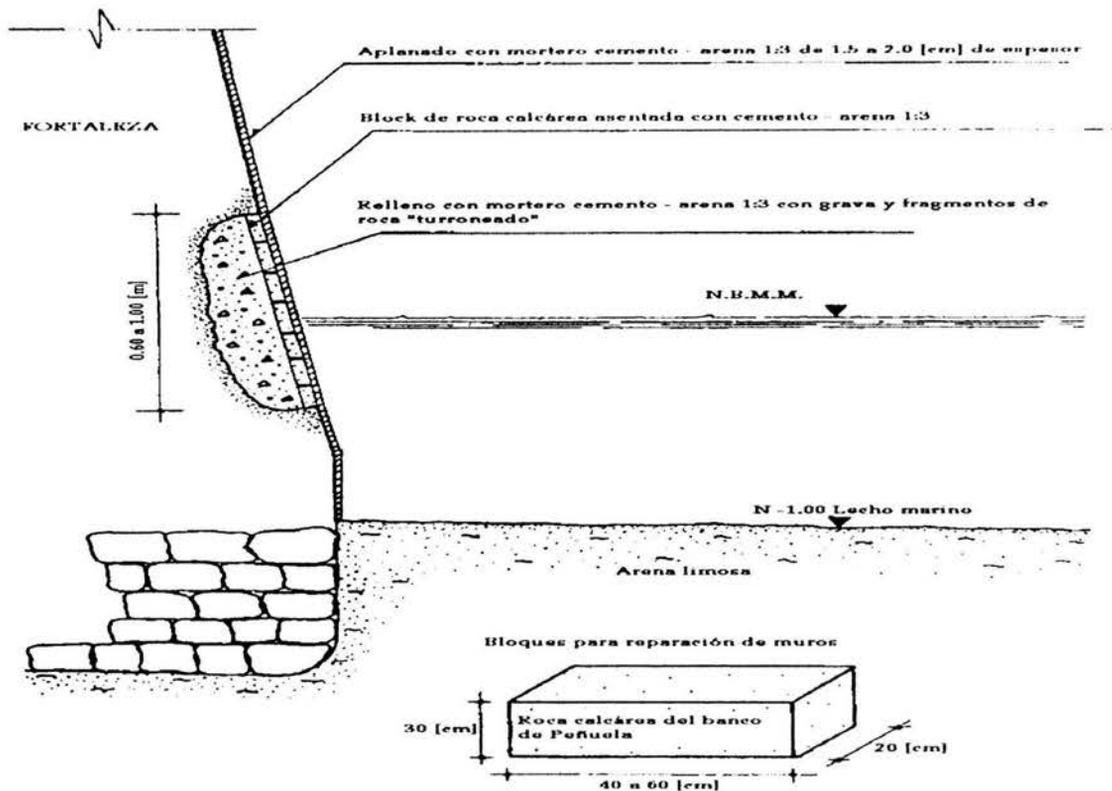
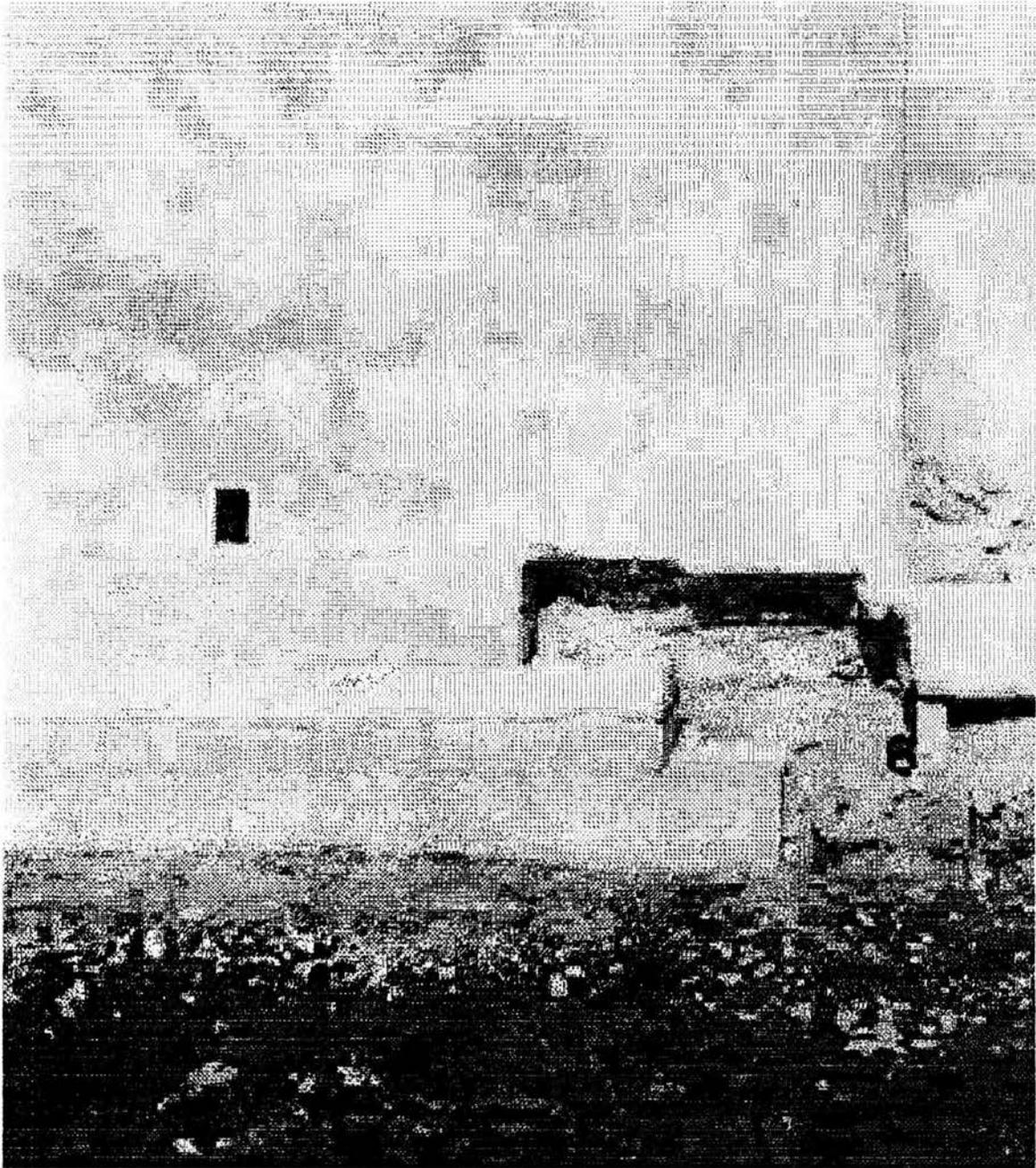


Figura 4.1.2. Detalle de la reparación de un muro en la zona de canales interiores de la Fortaleza.



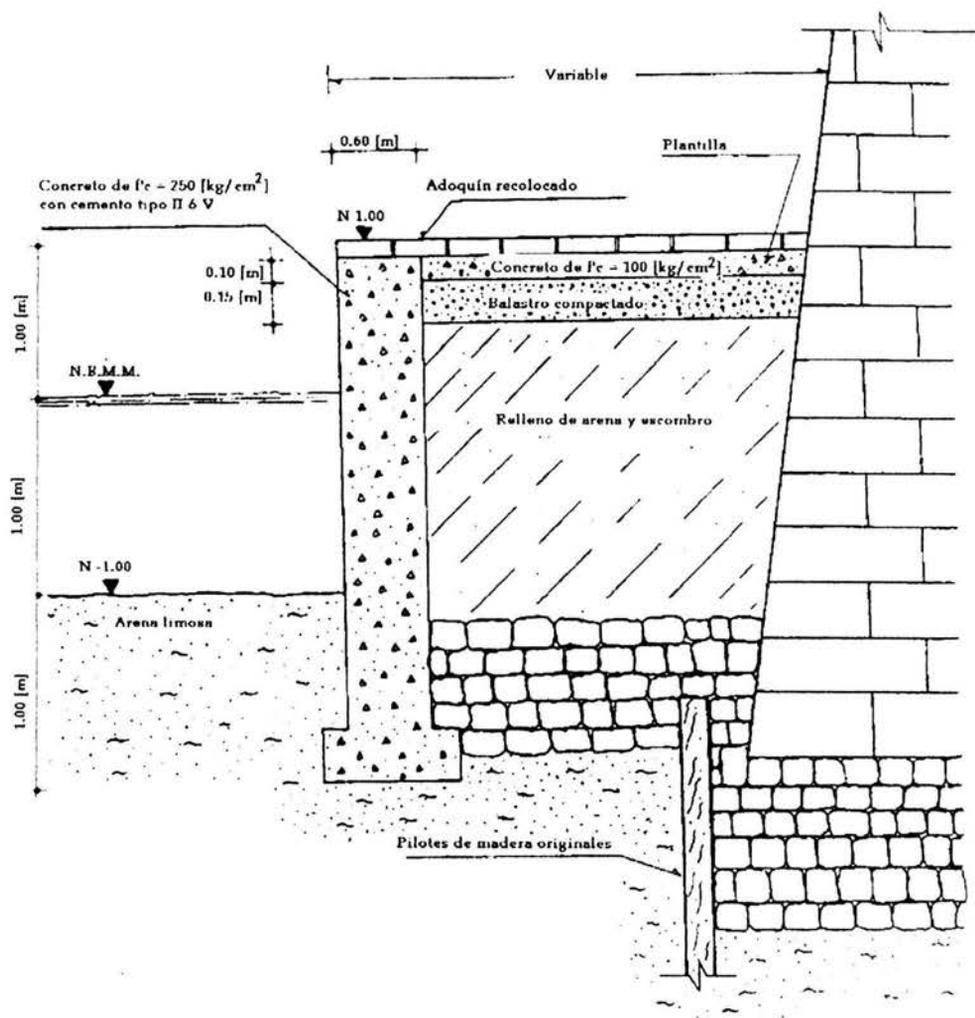
**Figura 4.1.3. Muro sumergido ya reparado en el Revellín de San José.**

Como los daños en los muros sumergidos fueron considerables, algunas banquetas sufrieron importantes impactos, por lo que se hizo necesario repararlas. Para tal efecto, se llevó al cabo un proceso que consistió en:

- Retirar el adoquín de las banquetas y almacenarlo para su posterior reutilización.

- Retirar y almacenar el material que forma las banquetas hasta los cimientos. Este material sirvió de relleno posterior.
- Construcción de un muro de concreto,  $f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ , fabricado con cemento de tipo II ó V, que es el que está en contacto con el agua de los canales.
- Relleno con escombros y arena limosa, para formar la sub – base de la banqueta.
- Se colocó una capa de balastro compactado para nivelar, y sobre esta se colocó una capa de concreto,  $f_c = 100 \text{ kg/cm}^2$ , que forma la plantilla.
- Colocación del adoquín retirado inicialmente.

En la figura 4.1.4. se muestra una sección en corte de una banqueta reparada según el procedimiento descrito anteriormente.



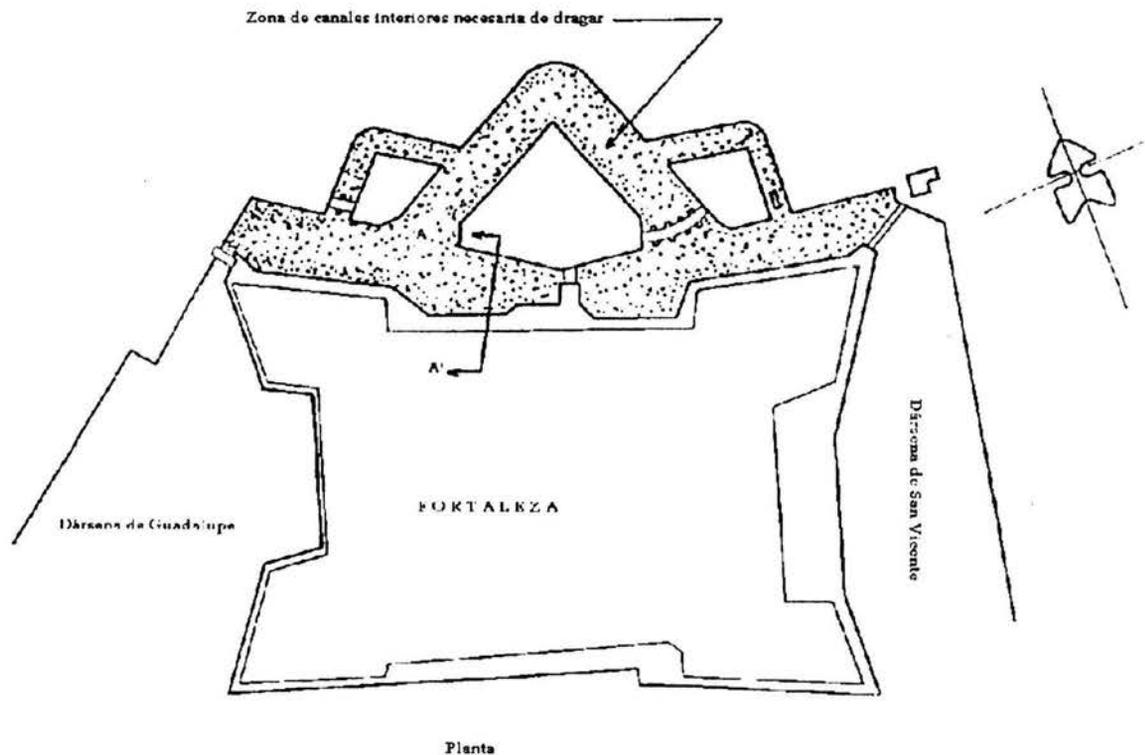
**Figura 4.1.4. Sección tipo de una banqueta reparada en la zona de canales interiores.**

#### IV.2. Dragado de canales interiores (Ref. 7).

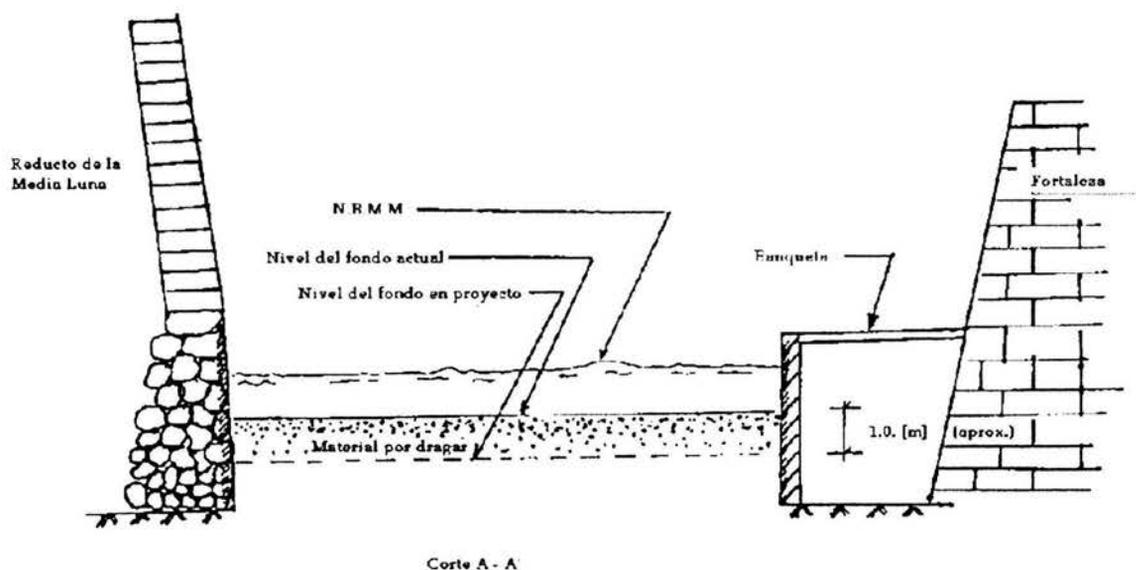
Una vez concluidas todas las operaciones de reparación de muros sumergidos y banquetas de las diversas estructuras presentes en la zona de canales interiores de la Fortaleza, se procedió a su saneamiento mediante el dragado de suelo y lodos hasta la elevación de  $-1$  m.s.n.m., como máximo.

El dragado se hizo mediante una draga de almeja o bien una retroexcavadora montada en un chalán. Los materiales producto del dragado fueron colocados en otro chalán que fue remolcado mar adentro, a la distancia que indicaron las autoridades portuarias, para su deposición final.

En la figura 4.2.1. se muestra la zona de canales interiores que requirieron de dragado. El corte A – A' indicado en esta figura se muestra como sección tipo indicativa de la zona de dragado en la figura 4.2.2.



**Figura 4.2.1. Zona de canales interiores que requieren dragado en la Fortaleza.**



**Figura 4.2.2. Sección tipo indicativa de de la zona por dragar en los canales interiores de la Fortaleza**

#### IV.3. Relleno de cavernas submarinas con concreto hidráulico (Ref. 7).

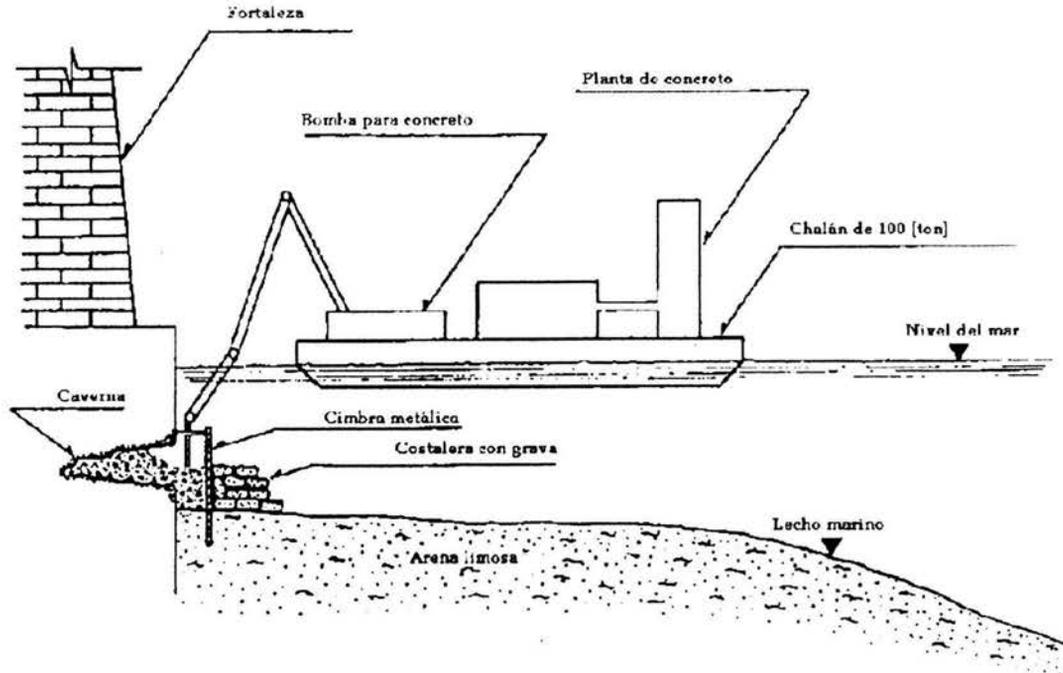
Las socavaciones identificadas en las cimentaciones de los baluartes y del Muro de las Argollas, que se localizan en el lado suroeste de la Fortaleza deberán ser limpiadas y rellenas con concreto hidráulico de  $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ . El propósito de este trabajo será detener el deterioro de la cimentación y el recalce de la misma.

El concreto deberá ser colocado mediante buzos y/o bombeo, dependiendo de las dificultades que presente el lugar para su reparación.

El concreto deberá ser fabricado con cemento tipo II ó V y con tamaño máximo de agregado pétreo de  $1 \frac{1}{2}''$  con el revenimiento adecuado.

Se deberá tener una cimbra metálica recuperable para confinar el concreto en la entrada de las cavernas ó socavaciones y evitar su disgregación, particularmente en su cierre.

En la figura 4.3.1. se muestra un esquema del procedimiento a seguir para el relleno de cavernas.



**Figura 4.3.1. Procedimiento para el relleno de cavernas en la plataforma marina bajo el Muro de las Argollas y los baluartes de San Pedro y San Crispín.**

#### **IV.4. Reconstrucción del Muelle de las Argollas (Ref. 7).**

La ejecución de estos trabajos será necesaria si el daño en el muelle es de tal magnitud que ya no pueda ser reparado mediante el relleno de cavernas. La solución propuesta por el Proyecto Integral puede ser aplicada parcial ó totalmente, dependiendo de las condiciones en que se encuentre la estructura en el momento en que se inicien los trabajos de recimentación de la Fortaleza.

La reparación del muelle tiene el siguiente procedimiento:

- Se deberán retirar los bloques de granito que se encuentran en el remate del muelle y que están desnivelados, o bien que el muro que los sostiene deba ser demolido. Cada bloque tiene por dimensiones 1 X 0.45 X 0.55 m. y un peso aproximado de 700 kg. Los bloques se encuentran armados de acuerdo a su geometría. Estos bloques deberán ser numerados y almacenados para su posterior colocación.
- Una vez retirados los bloques se procederá a la demolición de los muros sumergidos que se encuentren en mal estado y que no sea posible su reparación mediante el empleo de concreto hidráulico.

- Se procederá a retirar los materiales producto de la demolición a un lugar cercano al sitio de la demolición para su selección y aprovechamiento posterior.
- Se realizará una excavación en el fondo del lecho marino para dar lugar a una plantilla de ripios con tamaños variables entre 6" (15 cm.) y 8 " (20 cm.), para recibir los bloques de concreto que formarán la nueva sección del muro sumergido.
- Se colocarán bloques de concreto de 1 X 1.50 X 0.50 m. y de  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$  para formar el muro y se rematará con una plantilla continua de concreto de  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ , para dar nivel y recibir los bloques de granito retirados previamente.
- Se realizará un colado continuo en la espalda del muro, de 60 cm. de espesor para sellar juntas y evitar fuga de materiales con concreto de  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ .
- Se procederá a realizar los rellenos a fondo perdido con materiales producto de la demolición con tamaños no superiores a 4" (10 cm.) o bien de banco si es que no llegase a haber material suficiente hasta el nivel del mar, a partir del cual se colocará arena de mar o médano en capas de no más de 20 cm., y se compactarán al 20% de su PVSM Proctor ó Porter estándar.
- Se procederá a la colocación y alineación de los bloques de granito sobre la plantilla de concreto simple de 0.20 m. de espesor.
- Se realizarán los rellenos complementarios también con una compactación mínima del 95% de su PVSM Proctor ó Porter estándar hasta la elevación de +1.0 m.s.n.m., a partir del cual se procederá al tendido de una sub – base de "balastro" del banco limones de 15 cm. de espesor compactada al 95% de su PVSM Porter estándar.
- Finalmente se colocará un piso de concreto simple de 10 cm. de espesor con concreto de  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$  mediante la construcción de losas de no más de 2 m. de lado.

En la figura 4.4.1. se muestra un corte transversal del Muro de las Argollas ya reparado según el proyecto. La figura 4.4.2. muestra una vista frontal del muelle y la figura 4.4.3. muestra la vista superior del proyecto de reparación.

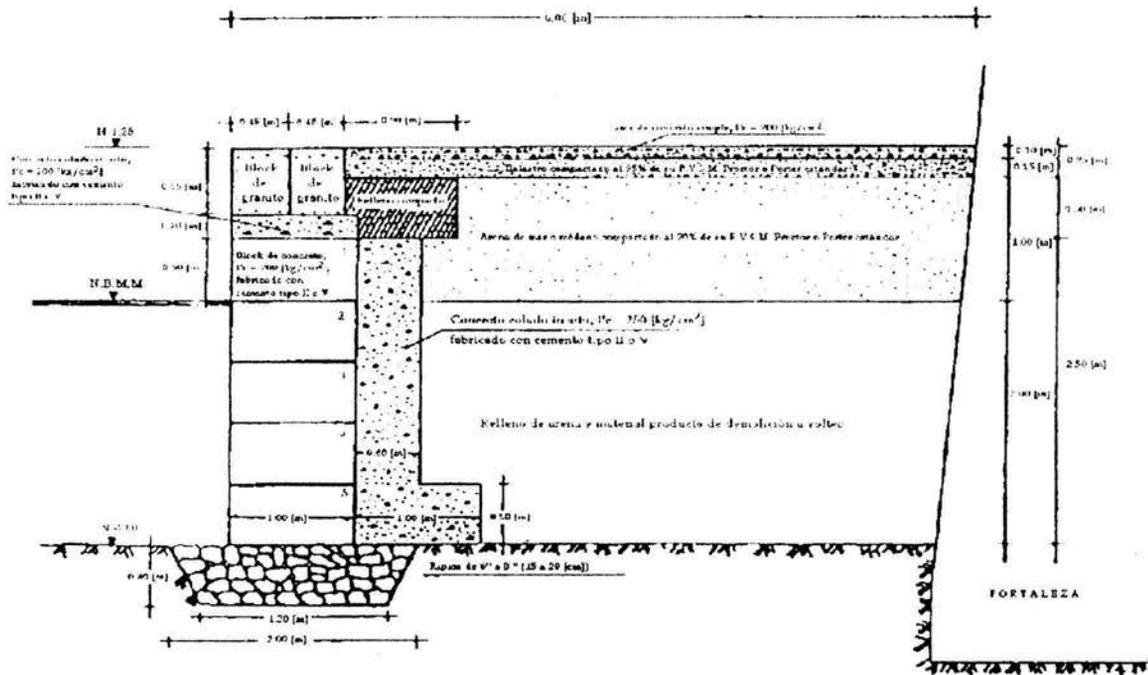


Figura 4.4.1. Corte transversal del procedimiento de reconstrucción del muelle del Muro de las Argollas

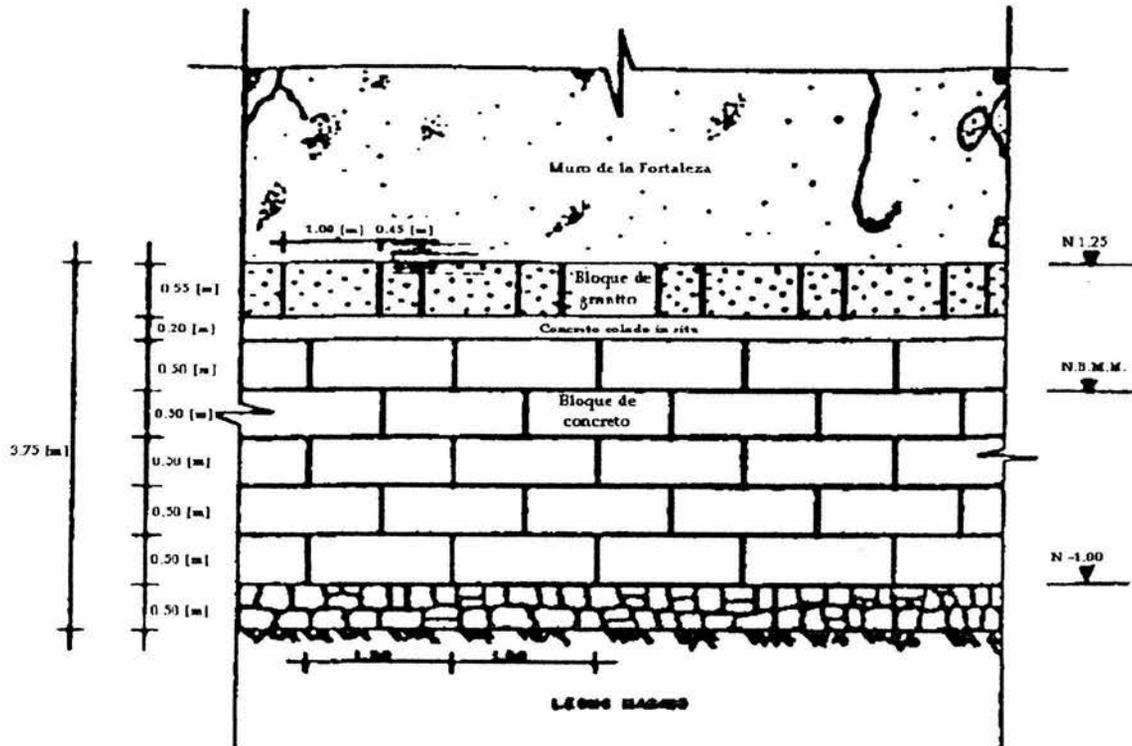


Figura 4.4.2. Vista frontal del procedimiento de reparación del muelle del Muro de las Argollas.

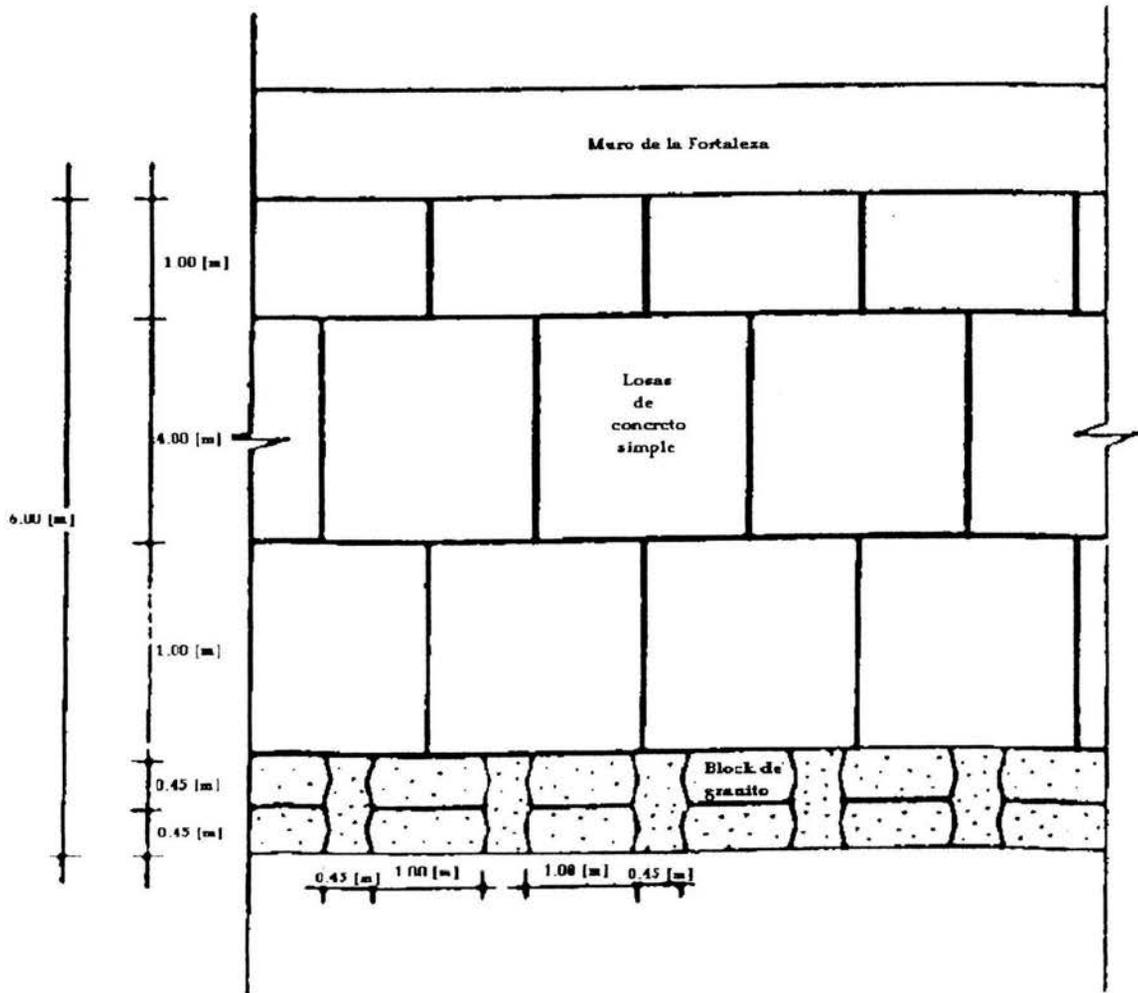


Figura 4.4.3. Vista superior del procedimiento de reparación del muelle del Muro de las Argollas

#### IV.5. Colocación del tablaestacado metálico.

Una vez concluidos los trabajos de reparación de cimentaciones de muros y baluartes, se procederá al hincado de la tablaestaca perimetral de protección frente al Muro de las Argollas.

Previo a la colocación de la tablaestaca se deberán realizar trabajos de exploración complementarios para liberar el área de trabajo.

Los trabajos complementarios consistirán en:

- Verificar que no existan objetos o restos de naves en la línea de colocación de la tablaestaca mediante el uso de una sonda de profundidad, del tipo que usa PEMEX en la detección de tubería submarina.

- Verificar las condiciones del subsuelo del sitio en la línea de la tablaestaca hasta la elevación  $-14.00$  m., cuando menos, para identificar las posibles dificultades que puedan presentarse en el hincado debido a la presencia de estratos de coral. Esta última acción deberá realizarse mediante la ejecución de sondeos geotécnicos, con máquina perforadora rotatoria, del tipo alternado – continuo con recuperación de muestras alteradas y con prueba de resistencia a la penetración estándar.
- La limpieza de la línea de tablaestaca, en donde sea necesario, se puede lograr mediante una retroexcavadora con punta de acero en lugar de cucharón. Es muy posible que se tenga la necesidad de retirar objetos metálicos y no metálicos debido a que el "Muro de las Argollas" fue un atracadero de barcos en la Colonia y mientras no se construyó el puerto actual, y no será raro encontrar objetos que fueron arrojados o perdidos por estas embarcaciones.

Una vez liberada el área y habiéndose acotado los problemas potenciales en el hincado de tablaestacas, el procedimiento para la hinca de tablaestacas es el siguiente:

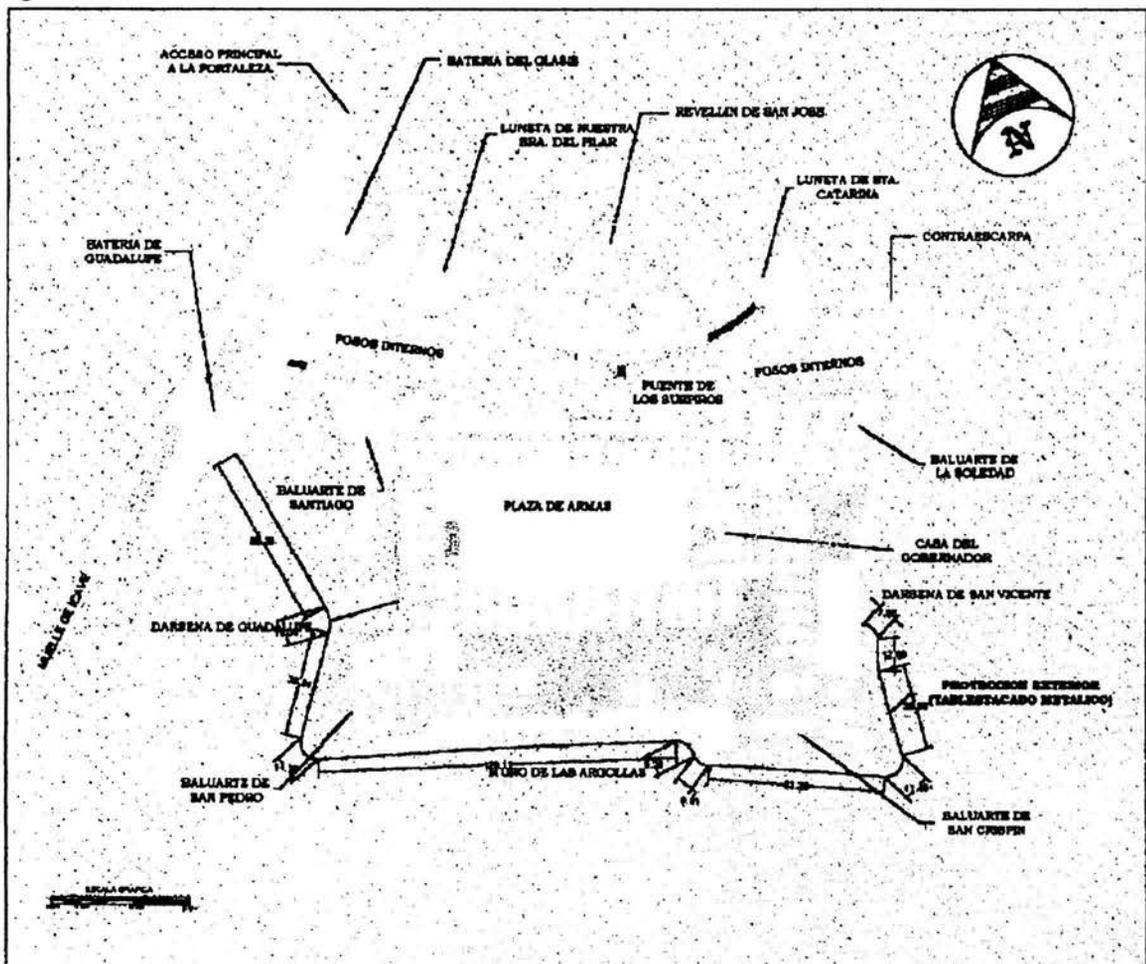


Figura 4.5.1. Línea proyectada del tablaestacado metálico que rodeará la Fortaleza.

- Trazar la línea de hincado de acuerdo con el proyecto, o bien de acuerdo con las modificaciones necesarias que se deriven de los trabajos previos para liberar el área. La línea proyectada se muestra en la figura 4.5.1.
- Realizar el hincado de las tablaestacas mediante una piloteadora del tipo vibratorio, o bien, del tipo "silencioso", que no es mas que una piloteadora que trabaja a presión sin ninguna vibración. En el evento de utilizarse el primer tipo de piloteadora, será necesario realizar una revisión del efecto de vibración en la estructura cercana que es la Fortaleza, mientras que en el segundo evento no sería necesario.
- La tablaestaca será del tipo PU-25 de Arbed ó LX-25 de British Steel. El módulo de sección de la tablaestaca es de  $2500 \text{ cm}^3/\text{m}$  y con un peso de  $157 \text{ kg/m}$ . El acero deberá ser de grado A572 Gr.50 (Estados Unidos), Gr. 50A (Inglaterra) ó S355GP (Euronorma) con un límite de fluencia  $f_y = 3600 \text{ kg/cm}^2$ . El ancho de la sección de la tablaestaca es de 60 cm. y su longitud es de 12 m., de los cuales 6 m. deberán ser galvanizados en ambas caras, que son las que prácticamente quedarán expuestas al ambiente marino.
- El galvanizado deberá realizarse en caliente y por inmersión a 75 micras de espesor de acuerdo con la norma mexicana NMX-H074-1996-SCFI "Industria siderúrgica – productos de acero recubiertos con zinc (Galvanizado por inmersión en caliente) – especificaciones y métodos de prueba". Este recubrimiento protegerá a la tablaestaca contra la corrosión, prolongando un máximo de 20 años más su vida útil. Existen pinturas epóxicas que tienen la misma función, pero tienen la limitación de deterioro prematuro por manejo e hincado, presentándose un deterioro de hasta el 20% en el área pintada, según la experiencia de los fabricantes.

Las primeras tablaestacas deberán ser hincadas con la piloteadora montada en un chalán, según se muestra en la figura 4.5.2. Las subsecuentes serán instaladas usando las primeras como elementos reactivos para montar la piloteadora. En las figuras 4.5.3. y 4.5.4. se muestran dos vistas de este procedimiento frente al Muro de las Argollas. En una primera etapa las tablaestacas se hincarán hasta la elevación  $-10.70 \text{ m}$ . (pie de la tablaestaca). Una vez colocado todo el tablestacado se hincará hasta la profundidad de proyecto, elevación  $-14.00 \text{ m}$ ., mediante un seguidor, el pie de la tablaestaca y  $-2.00 \text{ m}$ . la cabeza. La figura 4.5.5. muestra el procedimiento para el hincado hasta esta profundidad de proyecto.

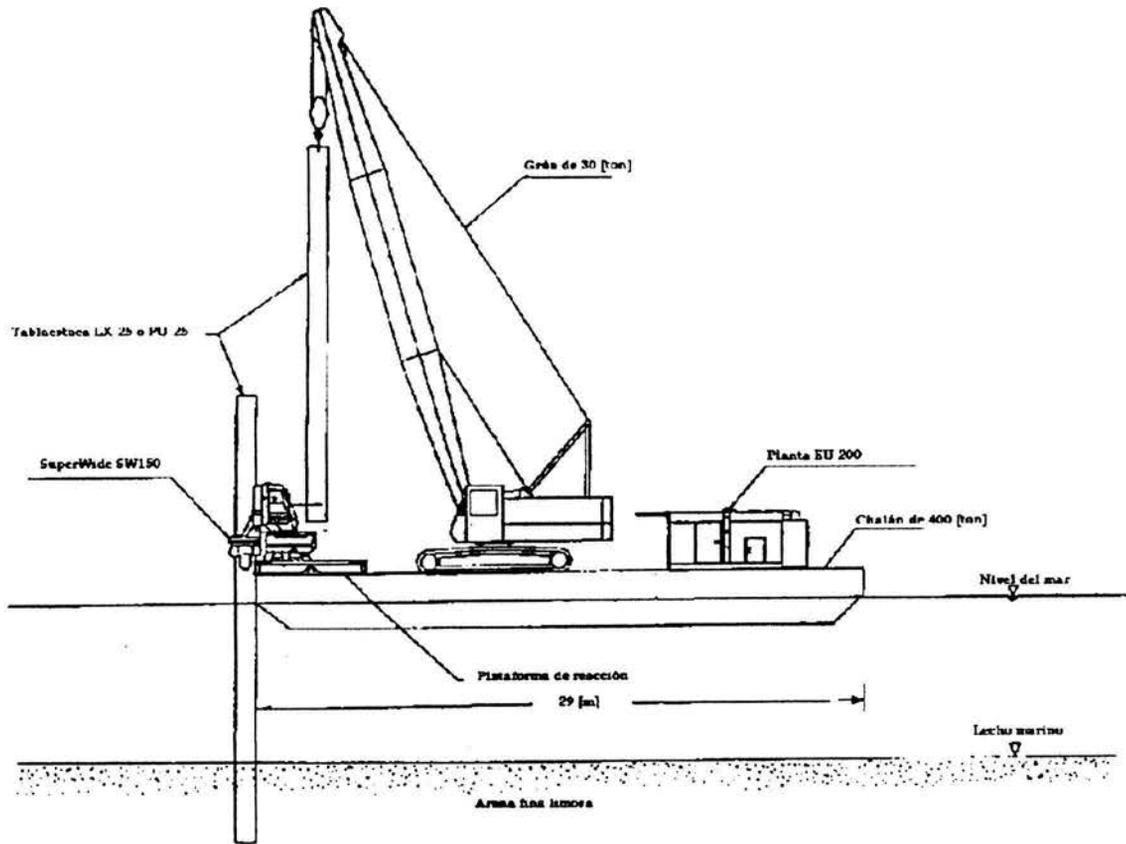


Figura 4.5.2. Hincado de las primeras tablaestacas de la protección perimetral de la Fortaleza.

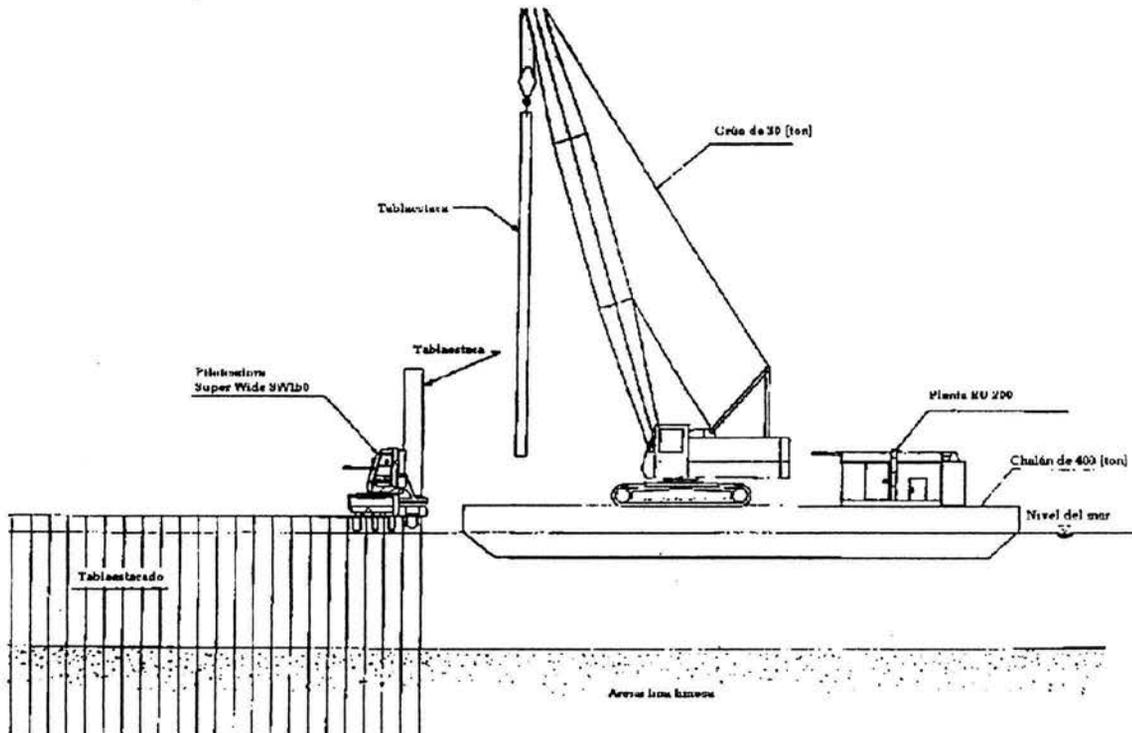


Figura 4.5.3. Vista frontal del hincado del tablaestacado metálico frente al Muro de las Argollas, utilizando la piloteadora "Silent Piler".

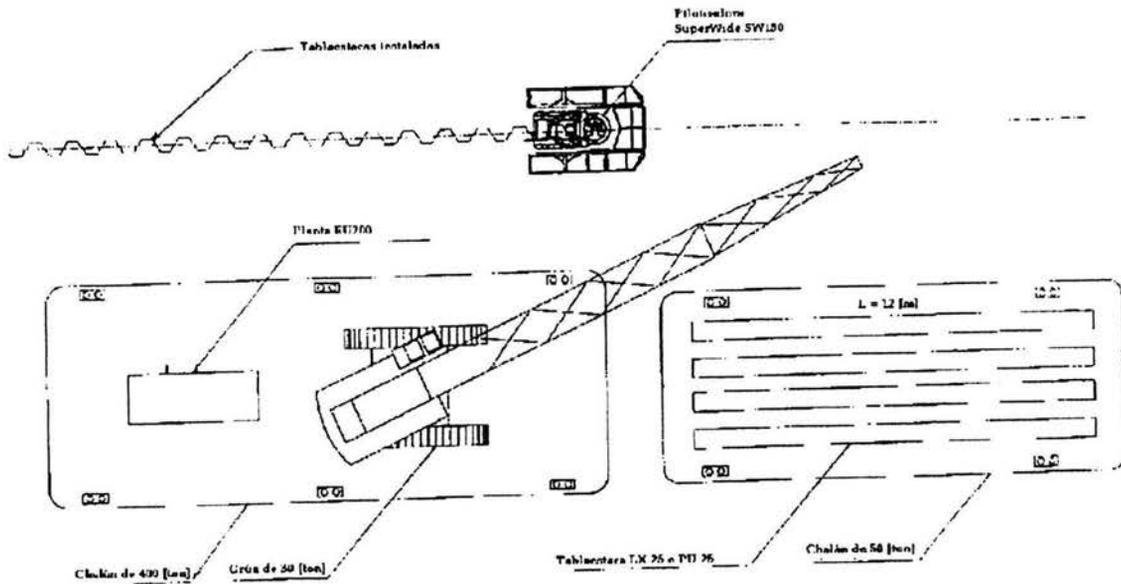


Figura 4.5.4. Vista en planta del hincado del tablaestacado metálico frente al Muro de las Argollas, utilizando la piloteadora "Silent Piler".

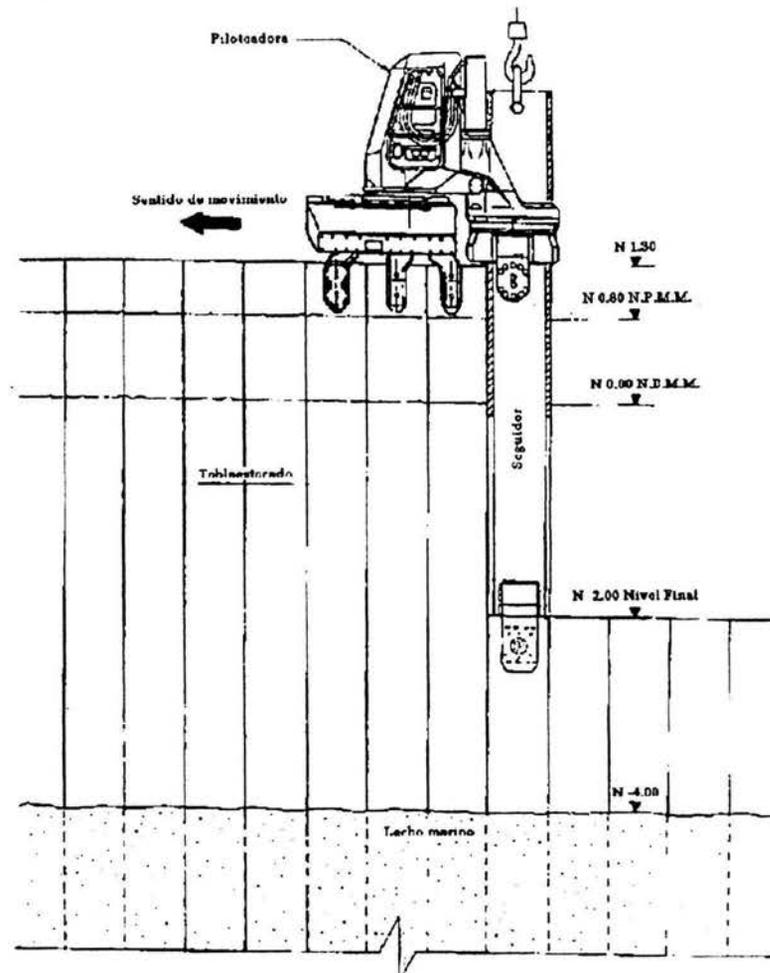


Figura 4.5.5. Hincado de las tablaestacas hasta la profundidad de proyecto.

Las especificaciones que se deberán cumplir para lograr una correcta ejecución de los trabajos de hincado de las tablaestacas son las siguientes:

- Desviación perpendicular del eje del muro en la cabeza de la tablaestaca:  $\pm 50$  mm.
- Nivel final de la cabeza de la tablaestaca:  $\pm 20$  mm. respecto al nivel del proyecto.
- Desviación de la verticalidad y paralelo al eje de la línea de tablaestacado:  $\pm 0.5\%$  de la profundidad del hincado.

Para definir la sección de la tablaestaca necesaria se determinaron las propiedades del subsuelo del sitio a partir de la estratigrafía identificada en los trabajos de exploración geotécnica realizados por Ingeniería Experimental, S.A. de C.V., de 1994 a 1995, y Geotec, S.A., en 1982.

Las consideraciones y geometría para la selección de la tablaestaca fueron las siguientes:

- Inclinación del canal de navegación, cuya parte más crítica está localizada frente al Baluarte de San Pedro,  $14.86^\circ$  respecto a la horizontal.
- Distancia del eje de la línea de tablestacado, 10 m.
- Voladizo de 2 m. de la tablaestaca en condición normal y 4 m. en condición crítica.
- Enrocamiento de 2 m. de espesor entre muro sumergido y tablaestaca con una inclinación de  $8.5^\circ$  respecto a la horizontal.

El análisis de la tablaestaca y su profundidad de hincado se calcularon mediante el programa "Analysys Of retaining walls", PROPAL Software, basado en el método de Blume y basado en las propiedades del suelo que se muestran en la tabla 4.5.1..

**Tabla 4.5.1. Propiedades del suelo consideradas para el análisis del tablaestacado metálico.**

| Estrato.     | SUCS | Espesor [m] | Elevación [m] | $N_{SPT}$ | $\gamma_m$ [ $T/m^3$ ] | $\phi$ [°] |
|--------------|------|-------------|---------------|-----------|------------------------|------------|
| Horizonte II | SM   | 10 – 15     | -2 a -17      | 9         | 1.9                    | 28         |

El análisis dió como resultado una tablaestaca tipo Larsen con un módulo de sección de  $2,500 \text{ cm}^3$  de 12 m. de longitud, con 10 m. hincados y 2 m. en

voladizo en condiciones normales y 4 m. en el evento que se presentara una socavación de 2 m. al pie del talud debido a una cuestión no prevista. La deflexión máxima calculada en la cabeza de la tablaestaca para la condición crítica será de 4 cm. y para la de operación de 2 cm. De acuerdo con lo anterior, la tablaestaca quedará dentro del Horizonte II del suelo, es decir, en las arenas limosas de baja compacidad con intercalaciones de coral.

Complementariamente al análisis anterior, se realizó una revisión para determinar la vida útil de la tablaestaca por efecto de la corrosión del medio marino actuante. El resultado es que se estima una vida útil de 60 años sin ninguna protección y de 75 a 80 años si se aplica un recubrimiento a base de zinc en caliente y por inmersión (galvanizado) en la parte de la tablaestaca que se encuentra en contacto con el agua, considerado 6 m. para fines prácticos. Si adicionalmente se coloca una protección catódica mediante ánodos de sacrificio o bien corriente impresa, la tablaestaca podrá tener una vida útil cercana a los 100 años.

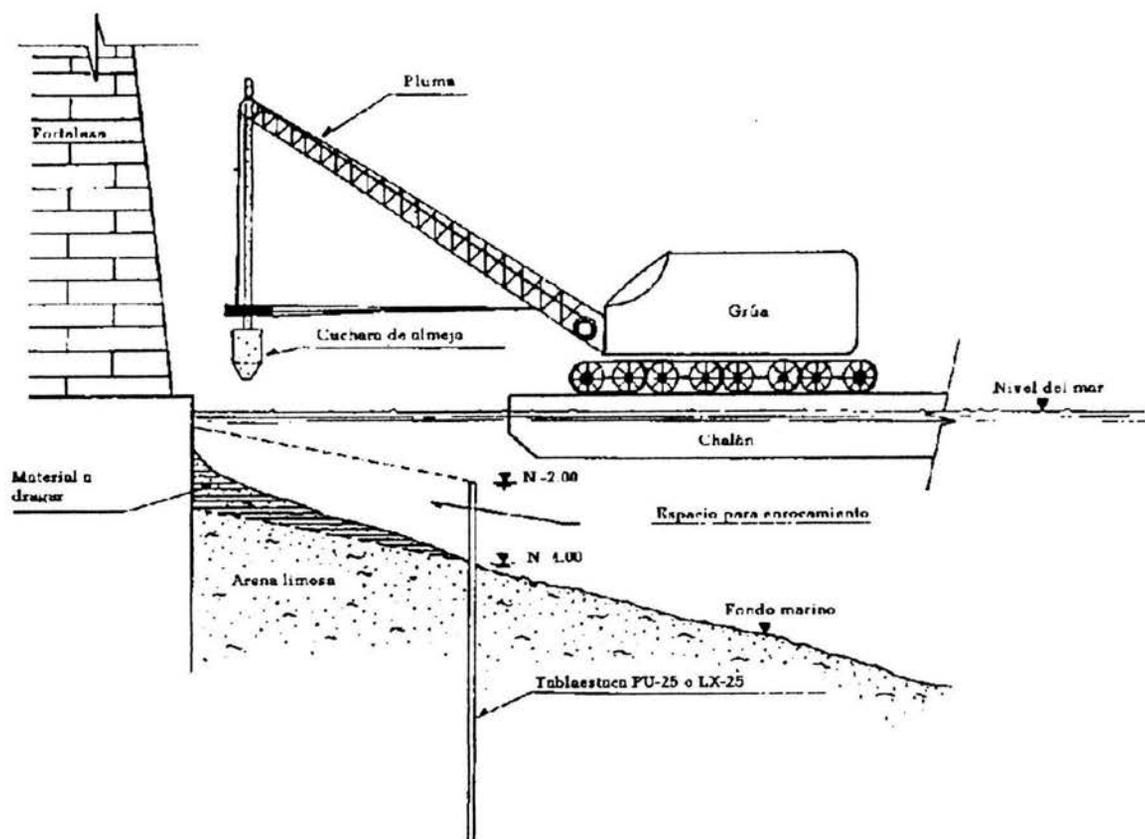
#### **IV.6. Dragado entre la tablaestaca y el muro sumergido del Muelle de las Argollas (Ref.7).**

Una vez concluida la colocación de la tablaestaca deberá procederse a la nivelación de la zona confinada entre esta y el muro sumergido para dar suficiente espacio al enrocamiento y los filtros. Esta operación deberá realizarse mediante una almeja montada en un chalán.

Los materiales producto del dragado deberán ser depositados en otro chalán jalado por un remolcador, que llevará el producto del dragado fuera de la bahía artificial del puerto, a una distancia de 13 km. fuera de la bocana y en el sitio donde señalen las autoridades portuarias.

La operación del dragado deberá realizarse con todo el cuidado posible y bajo la supervisión del contratante para evitar daños en la superficie galvanizada de la tablaestaca.

La figura 4.6.1. muestra una sección tipo de los trabajos de dragado necesarios.



**Figura 4.6.1. Sección tipo del dragado necesario entre la Fortaleza y el tablaestacado metálico.**

#### IV.7. Colocación del enrocamiento entre tablaestaca y muros sumergidos.

Las áreas que se encuentran niveladas podrán llenarse con los siguientes materiales pétreos para conformar los filtros y la coraza del enrocamiento de protección de la cimentación.

El enrocamiento consta de 5 capas:

1. La capa del fondo tiene un espesor de 15 cm. y deberá estar formada con grava graduada de tamaño máximo 2 cm. ( $\frac{3}{4}$ " ).
2. La siguiente capa tiene un espesor de 15 cm. y deberá estar formada con grava de 6.25 cm. ( $2\frac{1}{2}$ " ).
3. La capa subyacente a la anterior deberá tener un espesor de 30 cm. y deberá formarse con boleos o ripios de 12 a 15 cm. de tamaño.
4. La siguiente capa tendrá un espesor de 60 cm. y deberá formarse con roca de 25 cm. de tamaño.

5. La última capa, que constituye la coraza, deberá tener un espesor de 85 cm. y deberá formarse con cubos de concreto simple de  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$  con 50 cm. de lado, o bien, roca natural de 50 a 60 cm. preferentemente, por ser más económica, aunque es escasa en la zona y reunir la cantidad necesaria será difícil.

## V. Conclusiones.

La Fortaleza de San Juan de Ulúa, localizada en el estado de Veracruz, es una construcción que encuentra sus orígenes en la época de la conquista de México por parte de los españoles, cuando fué levantado primeramente un muro que servía de atracadero de naves y protección de las mismas. Debido a las propias necesidades de salvaguarda de los barcos, este muro fue creciendo hasta convertirse en una fortaleza abaluartada. Al ser una construcción de la época colonial, no tuvo planeación, situación que aunada al crecimiento de la Ciudad y Puerto de Veracruz, ocasionó problemas estructurales y funcionales que ponen en riesgo la integridad del monumento.

Dentro de los problemas que afectan a la Fortaleza, se encuentra la sedimentación de azolves en la zona de canales interiores de la Fortaleza, causado por las descargas sanitarias no controladas del puerto y del muelle de la Armada de México así como la poca velocidad de flujo del agua en los canales. Se presenta también, por efecto del continuo dragado del canal de navegación del puerto y la migración de material que le conforma, inestabilidad en el talud suroeste de la plataforma marina en que se cimenta la Fortaleza, afectando principalmente al Baluarte de San Pedro. La migración de material por las características de las corrientes de agua que golpean la zona del Muro de las Argollas, provocaron cavernas y socavaciones de hasta cuatro metros de profundidad, que afectan directamente la cimentación del muro y ocasionan daños estructurales en el muelle contiguo. Se habla también de otros daños estructurales, visibles en la Fortaleza y provocados por la inestabilidad del talud mencionado, las cavernas en la plataforma marina y el intemperismo.

Se han llevado a cabo, desde 1985, diversos estudios que permiten sondear el comportamiento estructural de la Fortaleza y recabar los datos necesarios para proponer soluciones adecuadas a la problemática presente. Para monitorear la actividad de grietas y fracturas en muros y elementos del inmueble, se colocaron medidores de juntas en dos direcciones, comparando las lecturas con parámetros permisibles, se determinó que la Fortaleza, por el momento, no presenta movimiento ni hay actividad en las fracturas y grietas. Utilizando diversas técnicas de sondeos, se obtuvieron las características de la plataforma marina que sustenta al inmueble, concluyendo que, de manera general, se trata de una plataforma constituida por arenas limosas de baja compacidad con alto contenido de restos de coral.

La Fortaleza esta construida con "piedra múcara", que no es otra cosa que coral fósil. Se caracterizaron siete especies de coral esclerictinio de los que se encuentran en el Sistema Veracruzano, y que fueron utilizados como materia prima en la construcción de la Fortaleza.

Para atacar los problemas de sedimentación en los canales interiores y la migración de materiales de la plataforma marina, se caracterizó el cuerpo de agua aledaño a la Fortaleza, midiendo velocidades de flujo y corrientes. Se

determinaron además los orígenes y características de los sedimentos que azolvaban los canales interiores, resultando de origen séptico en su mayoría, además de escombros y algunos productos industriales generados en el puerto.

Mediante el empleo de referencias topográficas en muros, se verificó que no hay movimiento importante en la estructura de la Fortaleza, aunque se presenta un desplome importante en el Baluarte de San Pedro causado por el talud inestable en que está cimentado.

Se instalaron seis inclinómetros de P.V.C., en el área del Baluarte de San Pedro. En general no se ha registrado movimiento importante, aunque con los resultados se determina que el baluarte ha girado en sentido de las manecillas del reloj, sin que por el momento esto represente un riesgo importante, aunque de seguir las tendencias podría haber importantes daños estructurales en esta zona.

Los sondeos permitieron generar la estratigrafía, en que de manera general se reconocen tres horizontes, denominados nuevos, transición y depósitos antiguos. Estos estratos constan de arenas finas con limo, restos de conchas y coral, y son estratos de baja compacidad y poca resistencia a la penetración estándar.

Las soluciones presentadas para los daños en la cimentación de la zona de canales interiores y dragado de los mismos, consistió en impedir la entrada de agua a la zona, desazolvar los canales y reparar de manera artesanal las cimentaciones dañadas.

La zona de cavernas bajo el Muro de las Argollas será rellena con concreto hidráulico fabricado con cemento resistente al ataque de alcalinos. En las zonas que sea necesario, se recimentará de manera artesanal.

El Muro de las Argollas será reparado sustituyendo toda la base por una nueva, y colocando el piso que actualmente existe, cuando esto sea posible. Estos trabajos serán posteriores al relleno de cavernas.

Para evitar la migración de arenas y estabilizar el talud suroeste de la plataforma marina, se propone el hincado de tablaestacas metálicas de manera perimetral a la Fortaleza, haciendo un relleno posterior de enrocamiento entre la tablaestaca y la Fortaleza.

Es una grata satisfacción para el autor de este trabajo el ver que los conocimientos y habilidades de un Ingeniero pueden estar al servicio de la sociedad preservando su cultura, aunque es lamentable que esta área se encuentre un tanto abandonada mientras se buscan nuevos horizontes de desarrollo, cuando existe un campo prácticamente inexplorado en la conservación y restauración de monumentos históricos.

Para el caso del "Proyecto Integral San Juan de Ulúa", fueron requeridos conocimientos varias áreas, que se particularizan a continuación:

- Estructuras, en el análisis de secciones en diferentes zonas de la Fortaleza, particularmente en el Puente de los Suspiros.
- Mecánica de Materiales, en la caracterización de los corales utilizados como materia prima para la construcción del inmueble.
- Geología y Mecánica de Suelos, al determinar la estratigrafía que sustenta al Fuerte, las características de la plataforma marina, y el análisis de los problemas presentes en ella, como la inestabilidad de taludes y la socavación.
- Ingeniería Ambiental, al conocer las características del azolve que afectó la zona de canales interiores, sus orígenes y los impactos que en las estructuras causó, así como la manera en que habían de disponerse de estos desechos al ser removidos.
- Hidráulica, al caracterizar el flujo de agua en canales interiores, observar fenómenos en las dársenas y situaciones importantes en la entrada y salida de los canales.
- Hidrología, al estudiar la forma en que afectan las variaciones de mareas, huracanes, nortes, etc., en los factores presentes en la Fortaleza.
- Topografía, en el establecimiento de referencias que permiten monitorear el comportamiento de la estructura en su totalidad, en lo referente a desplazamientos diferenciales y actividad en grietas.
- Análisis financieros, precios unitarios y procesos constructivos, aunque poco se habla de ellos en el presente trabajo.

La Historia de México, y su representación en la Arqueología, han sido para el autor un constante interés, al que gratamente ha dedicado buena parte de su tiempo libre. El encontrar el punto en que se cruzan los caminos del estudio de la cultura mexicana y la Ingeniería Civil significó una oportunidad maravillosa e insospechada de unir gustos y pasiones, Arqueología e Ingeniería, y es trascendental para un servidor el que los conocimientos y habilidades de un ingeniero esten al servicio de una causa noble y de vital importancia: el preservar la cultura mediante la conservación de monumentos históricos.

Definitivamente deja un gratisimo sabor de boca el encontrar la aplicación directa de prácticamente todos los conocimientos adquiridos en las aulas durante mi estancia en la Facultad de Ingeniería.

Quizá la única nube que opaca la claridad de este panorama, es la falta de apoyo por parte de las autoridades correspondientes hacia los organismos encargados de los monumentos históricos, en este caso el I.N.A.H., por esa cultura del centralismo que tanto daño ha causado a lo largo del tiempo, no solo a este rubro. Lo anterior se dice porque el Proyecto Integral está detenido, pues carece de apoyo por surgir en el Estado de Veracruz, y tener que pasar cualquier cantidad de trámites antes de ser aprobada alguna etapa del mismo.

Considero oportuno mencionar la falta de interés por parte de los profesionales y de los responsables de la enseñanza de la Ingeniería en esta área de la misma, sea por apatía o por desconocimiento, pues a la fecha este trabajo fué el único interesado en el Proyecto Integral San Juan de Ulúa desde el punto de vista ingenieril como egresado, y lo único comentado de estos temas en las aulas fué la recimentación de la Catedral Metropolitana de la Ciudad de México y los trabajos de monitoreo en el convento de la Vega de Meztlán, Estado de Hidalgo. Más aún, el autor de este trabajo fué la primer persona de Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M. que pretendió elaborar su tesis profesional sobre los trabajos de Ingeniería Civil realizados en San Juan de Ulúa, pues aunque otros egresados se habían presentado, estos pertenecían a universidades estatales y a disciplinas enfocadas hacia el inmueble como pieza arquitectónica.

Confío que esta tesis no será la última que toque el tema de la restauración y conservación de monumentos históricos, pues el Fuerte de San Juan de Ulúa aún tiene mucho que dar, lo mismo tantos otros sitios históricos que esperan ansiosos despertar el interés de egresados y profesionales de la Ingeniería Civil.

## Bibliografía.

- 1) Documentos diversos de San Juan de Ulúa.  
Página electrónica del Instituto Nacional de Antropología e Historia.  
<http://www.inah.gob.mx/>
- 2) Simonin.  
"Transporte y características de los sedimentos que rodean la Fortaleza de San Juan de Ulúa".  
Reporte técnico del Instituto Nacional de Antropología e Historia.  
Veracruz, Méx. , 1995.
- 3) Carricart – Ganivet.  
"Los corales escleractineos en la Fortaleza de San Juan de Ulúa, Veracruz."  
Informe técnico del Instituto Nacional de Antropología e Historia.  
Veracruz, Méx. , 1994.
- 4) Goeritz, Daniel et al.  
"Estudio preliminar de las corrientes marinas de los canales internos de la Fortaleza de San Juan de Ulúa".  
Reporte técnico del Instituto Nacional de Antropología e Historia.  
Veracruz, Méx. , 1993.
- 5) Goeritz, Daniel et al.  
"Resultados del estudio preliminar de la distribución del tipo de sedimento en la zona marina adyacente a la Fortaleza".  
Reporte técnico del Instituto Nacional de Antropología e Historia.  
Veracruz, Méx. , 1993.
- 6) Peralta.  
"Características físico – químicas del cuerpo de agua aledaño a la Fortaleza de San Juan de Ulúa. Junio de 1994 a junio de 1995".  
Reporte técnico del Instituto Nacional de Antropología e Historia.  
Veracruz, Méx. , 1995.
- 7) Hernández – Téllez, José.  
"Proyecto Integral, Fortaleza de San Juan de Ulúa, Veracruz, 1993-2002."  
Proyecto Integral, Centro INAH, Veracruz, Ver. En proceso.
- 8) Noriega, Gaspar.  
"Localización y determinación de efluentes de aguas contaminadas en el área de la Fortaleza de San Juan de Ulúa".  
Reporte técnico del Instituto Nacional de Antropología e Historia.  
Veracruz, Méx., 1995.

- 9) Goeritz, Daniel et al.  
"Estudio preliminar de la caracterización de las especies biológicas del arrecife de La Gallega y áreas circundantes a la Fortaleza de San Juan de Ulúa".  
Reporte técnico del Instituto Nacional de Antropología e Historia.  
Veracruz, Méx., 1993.
- 10) Hernández – Téllez, José.  
"Corrientes adyacentes a la Fortaleza de San Juan de Ulúa. Primavera, verano e invierno de 1994 – 1995".  
Reporte técnico del Instituto Nacional de Antropología e Historia.  
Veracruz, Méx., 1995.
- 11) Montoya, María Cristina y coautores.  
"La Ingeniería Civil Mexicana, un encuentro con la historia".  
Colegio de Ingenieros Civiles de México, 1996.
- 12) Documentos diversos de San Juan de Ulúa.  
Centro de Referencias.  
Archivo General de la Nación.