

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**



**Construcción de un talud en canal trapezoidal a base de un “Muro Berlín” en
medio saturado**

POR:

JUAN HERRERA AGUILAR

Tesis presentada como requisito parcial

Para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, mayo del 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

**Construcción de un talud en canal trapezoidal a base de un
"Muro Berlín" en medio saturado**

POR:

JUAN HERRERA AGUILAR

TESIS

**Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador
Como requisito parcial para obtener el título de:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

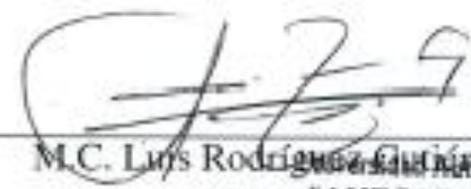
Aprobada Por:



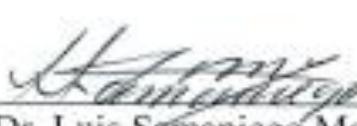
Dr. Fernando Augusto Villarreal Reyna
Asesor principal



Dr. José Raúl Layándo Cuevas.
Coasesor



M.C. Luis Rodríguez Guzmán
Coasesor



Dr. Luis Samaniego Moreno.
Coordinador de la División de Ingeniería



**Coordinación de
Ingeniería**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, mayo del 2017

AGRADECIMIENTOS

Al pueblo de México, por darme la oportunidad de prepararme profesionalmente, parte fundamental para que la educación pública sea subsidiada, gracias por que cada etapa de mi vida académica fue a través de la escuela pública, que con cada pago de impuestos me permitió estudiar desde mi infancia hasta el día de hoy.

A mis padres Ángel Herrera Soancatl (✚) y Consuelo Aguilar Rodríguez.

A ustedes padres les dedico este logro, aunque ya no estés conmigo padre siempre te recordaré por esa voluntad de ayudarme a cumplir mi sueño, porque sin su ayuda nunca lo hubiera logrado. Gracias por depositar esa confianza que me han brindado, por esos consejos y apoyo incondicional, ese sacrificio que han hecho por mí, sin ustedes nada de esto sería posible. Les escribo estas breves y sinceras palabras con mucho cariño y amor.

MI MÁS SINCERO AGRADECIMIENTO

Gracias a mi querida “Alma Mater” Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, quien me brindó la oportunidad de concluir mi carrera profesional, y llevarme una etapa más de mi vida de esta bonita institución.

A mi asesor de tesis el Dr. Fernando Augusto Villarreal Reyna, por haberme permitido realizar este trabajo, gracias por su dedicación, esmero, paciencia y tiempo en este proyecto así como la enseñanza en sus clases.

Al Dr. José Raúl Luyando Cuevas así, como a la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) por su apoyo incondicional al brindarme el material, asesoría técnica y la experiencia para realizar este trabajo.

Al Dr. Juan Manuel Rodríguez Martínez Jefe del Departamento de Hidrología Subterránea de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León, por su cooperación en la realización de este documento.

Al M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez por su contribución a esta investigación y sobre todo por sus ideas, sugerencias y correcciones. Su ayuda fue fundamental e indispensable para la elaboración de esta tesis.

A la Dra. Rosa Elvira Valdez Ramos por su valioso tiempo dedicado a la lectura y corrección de este documento, su experiencia en área de la sustentabilidad y educación ambiental fue fundamental en la calidad de este documento.

A los maestros del Departamento de Riego y Drenaje que me impartieron clases dejando muchas enseñanzas y apoyo en momentos difíciles; Dr. Javier de Jesús Cortes Bracho, Dr. Raúl Rodríguez, Dr. Sergio Z. Garza Vara, Mc. Lindolfo Rojas, y Mc. Gregorio Briones, que más que mis maestros fueron unos amigos durante mi estancia en esta honorable universidad.

Al Ingeniero Diego Felipe Cárdenas Patiño por ser pilar fundamental de mi formación académica, gracias por sus conocimientos impartidos cuando fui su alumno e igualmente gracias a su motivación para seguir estudiando en esta institución.

Al Dr. Luis Samaniego Moreno por ser un gran amigo y maestro que supo guiarme correctamente durante mi estancia en esta casa de estudios y sobre todo por brindarme múltiples facilidades para concluir esta etapa.

A la Dra. Manuela Bolívar Duarte, al Dr. Ulises Adame de León e Ing. Rolando Alfredo Sandino Salazar, por el apoyo brindado en todo momento para lograr unas de mis más anheladas metas, por ayudarme a culminar mi etapa universitaria, más que maestros fueron grandes amigos muchas gracias por hacer mi sueño realidad del intercambio internacional al Instituto Tecnológico de Costa Rica.

A doña Rosa (✚), Everardo y Janeth que siempre fueron como mi segunda familia, gracias por todo el apoyo que me dieron durante esta etapa y por su contribución a mi desarrollo como persona.

A mi amigo y compañero de Generación Aldo Fuentes por su gran apoyo, para que este trabajo de titulación se realizara, pero sobre todo por su valiosa amistad.

A mis compañeros de cuarto (módulo 13). Abraham, Hedían, Jorge, Emir, Enrique y Andrés, con lo que compartí buenas cosas durante mi paso por esta institución, solo me que agradecerles por su valiosa amistad siempre los recordare con cariño.

Al Instituto Tecnológico de Costa Rica, por abrirme las puertas y permitirme realizar mi sueño de intercambio estudiantil a esa linda institución.

DEDICATORIA

A Dios

Por permitirme llegar con vida hasta este punto y sobre todo porque me ha dado salud, fuerza y voluntad para lograr mis proyectos, además de su infinita bondad y amor. Gracias por manifestarte en mí y en mis padres para disponer de los bienes que fueron fundamento para esta etapa académica de mi vida.

A mí padre Ángel Herrera Soancatl (✚). Gracias por enseñarme a ser una persona de bien, con valores y por tus consejos, por el valor mostrado para salir adelante, pero sobre todo por tu amor y cariño gracias papá.

A mí mamá Consuelo Aguilar Rodríguez. Gracias por ese gran apoyo en todo momento, por esos consejos, motivación, comprensión y valores que me enseñaste y sobre todo gracias por ese gran amor que me demuestras mamá.

A Rosy mi novia. Por tu apoyo moral, palabras sabias, confianza, compañía y porque en los momentos y situaciones más difíciles estuviste ahí. No fue sencillo terminar con éxito este proyecto, sin embargo siempre fuiste muy motivadora, me decías que lo lograría perfectamente. Gracias, muchas gracias mi amor.

A mis hermanos (as) y Cuñados (as): Ricardo, Beto, Alfredo, Quique, Alejandra, Mónica, Carlos, Concepción, Juana y Leticia, por estar siempre a mi lado en los momentos difíciles y por el apoyo incondicional que me han brindado gracias a ustedes he logrado culminar mi formación académica.

A la familia Chávez Mendoza, mi segunda familia, por ese gran apoyo que siempre me han brindado, y esa confianza que han depositado en mí. Gracias a mi suegro Marcos y mi suegra Andrea, así como a mis cuñados (as), Graciela, Abigail, Melissa, Juan Carlos y Marcos, por considerarme parte de su familia.

A mis sobrinos: Daniel, Eduardo, Pablo, Omar, Lorenzo Tadeo, William, Misael, Esmeralda, Elizabeth, Fernanda, Nayeli, Javier, Edgar y Ángel.

A mis amigos de generación CXXII del programa docente Ingeniero Agrónomo en Irrigación con quienes compartí grandes momentos por más de 4 años dentro y fuera de clases, apoyándonos mutuamente para nuestra formación.

ÍNDICE DE CUADROS

Tabla 1. 1 Huracanes y tormentas tropicales que han afectado el Estado de Nuevo León (Hasta 1954 comenzó a llamarse a los huracanes y tormentas con un nombre propio).	17
Tabla 1.2 Valores del coeficiente de rugosidad de Manning para ser aplicada en la ecuación.	24
Tabla 1.3 Diámetros de las perforaciones de pilotes "IN SITU"	27
Tabla 1.4 Datos de ubicación, profundidad de nivel freático, profundidad de la lutita, de los 21 pozos sondeados	30
Tabla 1. 5 Valores de rugosidad "n" de Manning.....	44
Tabla 1.6 Perforación de petróleo y de gas natural. E. M. SOLOVIOV Editorial Moscú.	53
Tabla 1.7 Clasificación de los materiales para perforación y su presión de corte.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 La figura muestra el controlador de Volumen (I) y la Sonda (II).....	21
FIGURA 1.2 Formación de terrazas fluviales. El valle, abierto en la roca viva por la erosión fluvial (rayas verticales) se ha rellenado luego de aluviones (gravas, arenas, tierras-rayas horizontales onduladas). Una vez hecho este depósito, el río ha vuelto a encajarse dejando colgadas las terrazas a uno y otro lado	23
Figura 1.3 partes principales de perforadora rotatoria con sistema de Kelly, con maquina base propia (Hudelmaier, and Köfner 2009)	25
FIGURA 1.4 Localización del área de estudio.....	28
FIGURA 1.5 Partes que componen un pilote "IN SITU".....	31
Figura 1.6 Método de triangulación para la perforación de pilotes.....	31
Figura 1. 7 Acero que conforma un pilote "IN SITU".....	32
FIGURA 1.8 Procedimiento de pilotaje CPI-4 con entubación recuperable paso 1, 2 y 3	36
FIGURA 1.9 Procedimiento de pilotaje CPI-4 con entubación recuperable paso 4 y 5	36
FIGURA 1.10 Estudios realizados por el ITESM, en el río Santa Catarina.....	37
FIGURA 1.11 Inundaciones del río Santa Catarina con períodos de retorno de 10, 20, 100, 500 y 1000 años	39
FIGURA 1.12 Vista aérea del centro de Monterrey en el año 1942. Al centro-fondo se observa el Palacio Federal y en primer plano la planicie de inundación del río de Santa Catarina	39
FIGURA 1.13 Planicies de inundación en las cuatro fechas estudiadas	40
FIGURA 1.14 Acuífero no confinado o libre.....	42
FIGURA 1. 15 Simbología de canal Trapezoidal.	44
FIGURA 1.16 Perfil del terreno de estudio, se consideró 2000 mts, aguas arriba para calcular una pendiente que representara el cauce del río Santa Catarina	45

FIGURA 1.17 Perfil de ancho del río Santa Catarina	46
FIGURA 1.18 Perfil en Google Earth del área de estudio considerando 2000 mts aguas arribas	54
FIGURA 1.19 Perfil de suelo río Santa Catarina año 1965. Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil, por Bernardo Flores Salazar Tesis profesional	54
FIGURA 1.20 Perfil de suelo del río Santa Catarina año 2016, propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León y Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por Juan Herrera Aguilar	55
FIGURA 1.21 Sondeo 1 y 2 del río Santa Catarina	55
Figura 1.22 Sondeo 3 y 4 del río Santa Catarina.....	56
Figura 1.23 Sondeo 5 y 6 del río Santa Catarina.....	56
Figura 1.24 Sondeo 8 y 9 del río Santa Catarina.....	57
Figura 1.25 Sondeo 9 y 10 del río Santa Catarina.....	57
Figura 1.26 Sondeo 11 y 12 del río Santa Catarina.....	58
Figura 1.27 Sondeo 13 y 14 del río Santa Catarina.....	58
Figura 1.28 Sondeo 15 y 16 del río Santa Catarina.....	59
Figura 1.29 Sondeo 17 y 18 del río Santa Catarina.....	59
Figura 1.30 Sondeo 19 y 20 del río Santa Catarina.....	60
Figura 1.31 Sondeo 21 del río Santa Catarina.....	60
Figura 1.32 Presiones realizadas en el área de estudio. Por el método de Menard pozo 1 y 2	61
Figura 1.33 Presiones realizadas en el área de estudio. Por el método de Menard pozo 3 y 4	61
Figura 1.34 Presiones realizadas en el área de estudio por el método de Menard pozo 5 y 6	62
Figura 1.35 Presiones realizadas en el área de estudio por el método de Menard pozo 7 y 8	62
Figura 1.36 Presiones realizadas en el área de estudio por el método de Menard pozo 9 y 10.....	63
Figura 1.37 Presiones realizadas en el área de estudio por el método de Menard pozo 11 y 12.....	63
Figura 1.38 Presiones realizadas en el área de estudio por el método de Menard pozo 13 y 14.....	64
Figura 1.39 Presiones realizadas en el área de estudio por el método de Menard pozo 15 y 16.....	64
Figura 1.40 Presiones realizadas en el área de estudio por el método de Menard pozo 17 y 18.....	65
Figura 1.41 Presiones realizadas en el área de estudio por el método de Menard pozo 19 y 20.....	65
Figura 1.42 Presiones realizadas en el área de estudio por el método de Menard pozo 21	66
Figura 1.43 Perfil de suelo en el río Santa Catarina presentando un suelo consolidado como es la lutita y a la vez suelos no consolidados como son boleos y rellenos	66
Figura 1.44 Modelación de pilote con acero	67
Figura 1.45 Modelación de pilote con acero y cadena	67
Figura 1.46 Modelación de pilotes, acero, cadena y talud.	68

Figura 1.47 Modelación de pilotes, acero, cadena y Muro Berlín68

Figura 1.48 Modelación de pilotes, acero, cadena, Muro Berlín y lutitas.....68

Figura 1.49 Modelación de pilotes, acero, cadena, Muro Berlín, lutitas y acuífero.....68

Figura 1.50 Modelación de pilotes, acero, cadena, Muro Berlín, lutitas, acuífero y acarrees no consolidados68

Figura 1.51 Modelación de pilotes, acero, cadena, lutitas, acuífero y acarrees no consolidados68

Figura 1.52 Ángulos de cambio de dirección de flujo en el río Santa Catrina.....68

ABREVIATURAS

Descripción	Abreviatura	Descripción	Abreviatura
Área hidráulica	A	Metros cuadrados	m ²
Base	b	Altura	d
Centímetro	cm	Radio hidráulico	R
Kilogramo sobre centímetro cuadrado	Kg/cm ²	Metros por segundo	m/s
Kilómetro	Km	Nuevo León	N.L
Kilómetros cuadrados	Km ²	Coefficiente de Manning	n
Membrana intera Krystol	KIM	Pendiente	S
Metro	m	Metros sobre el nivel del mar	msnm
Milímetro	mm	Coahuila	Coah.
Millones de pesos	mdp	Por ciento	%
Perímetro de mojado	P	Radio hidráulico	R
Presión límite	PL	Velocidad	V
Región hidrológica	RH	Autocompactable	AC
Talud	m.	Caudal	Q
Universal Transversal de Mercator	UTM	Factor de resistencia Chezy	C

Abreviaturas de organismos internacionales e instituciones

Instituto Nacional de Estadística y Geografía:	INEGI
Centro Nacional para Prevención de Desastres	CENAPRED
Comisión Nacional del Agua	CONAGUA
Fondo de Desastres Naturales de México	FODEN
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey	ITESM
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.	UAAAN
Universidad Autónoma de Nuevo León	UANL

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	III
DEDICATORIA	V
ÍNDICE DE CUADROS.....	VI
RESUMEN	11
INTRODUCCIÓN.....	12
JUSTIFICACIÓN.....	13
OBJETIVO GENERAL	13
OBJETIVO ESPECÍFICO.....	13
HIPÓTESIS.....	13
MARCO TEÓRICO.....	14
CONTEXTO HISTÓRICO-SITUACIONAL.....	14
ORIGEN DEL RÍO SANTA CATARINA	15
RESEÑA HISTÓRICA DEL RÍO SANTA CATARINA	15
COSTOS DE LOS DAÑOS CAUSADOS POR EL HURACÁN ALEX.....	18
<i>USO DEL PRESIÓMETRO MÈNARD</i>	18
.....	21
FORMACIÓN MÉNDEZ	21
FORMACIÓN DE TERRAZAS FLUVIALES	22
RELLENOS DE MATERIALES NO CONSOLIDADOS	23
TALUD DE CANAL	23
MURO BERLÍN	24
ANCLAJE EN MEDIOS SATURADOS.....	24
TIPOS DE ANCLAJES	24
a) ANCLAJE ACTIVO O PASIVO.....	24
b) ANCLAJE DE CABLES DE BARRA.....	24
c) ANCLAJE PERMANENTE O PROVISIONAL	24
d) ANCLAJE CON INYECCIÓN ÚNICA.....	24
PERFORACIÓN ROTATORIA.....	25
PILOTE “IN SITU”	26
TIPOS DE PILOTES “IN SITU”	26
MÉTODO	28
<i>PERFORACIÓN TIPO ROTATORIA CON TUBERÍA RECUPERABLE (PILOTERA)</i>	28
MATERIALES Y EQUIPOS	29
<i>CÁLCULOS DE DISEÑO PARA LA SEPARACIÓN ENTRE PILOTES</i>	29
<i>ESQUEMA DE PILOTE “IN SITU”</i>	31
<i>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</i>	31
<i>CENTRADO DE PILOTE</i>	33
<i>EXCAVACIÓN CON ENTUBACIÓN RECUPERABLE</i>	33
<i>PREPARACIÓN Y COLOCACIÓN DE ARMADURAS</i>	33
<i>TUBERÍA TREMIE</i>	34
<i>ADITIVO DE CONCRETO</i>	34

<i>CARACTERÍSTICAS</i>	35
<i>BENEFICIOS</i>	35
ANTECEDENTES DE ESTUDIOS TÉCNICOS	37
PLANTA TOPOGRÁFICA DE ESTRUCTURAS EXISTENTES	37
GEOTECNIA	37
HIDROLOGÍA	38
GEOLOGÍA	41
HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA	41
HIDROGEOLOGÍA	41
SEDIMENTOS ALUVIALES	42
CÁLCULO DE CAUDAL MÁXIMO	43
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES	49
LITERATURA CITADA	51
ANEXOS	53
SONDEOS	55
SPM PRESIONES MENARD	61
MODELACIÓN DE PILOTE IN SITU EN 3 D	67

RESUMEN

Desde el siglo XX y XXI la Ciudad de Monterrey se ha visto afectada por la presencia de huracanes, causando avenidas repentinas del río Santa Catarina. Estos acontecimientos han generado daños en diferente forma y magnitud. Las afectaciones más recordadas han sido las provocadas por el Huracán Gilberto en 1988 y el huracán Alex en 2010, generando de forma lamentable pérdidas humanas y daños materiales.

Por dichos motivos ha sido importante implementar medidas preventivas, de modo que se evite la generación de daños como los que se han suscitado a lo largo de la historia del desarrollo de Monterrey.

La metodología implementada se basa en el desarrollo de un procedimiento de construcción de un Muro tipo Berlín, conocido comúnmente como pilotes “IN SITU”, que a su vez integra un talud de canal tipo trapezoidal, que servirá como un muro de contención del río Santa Catarina, el cuál constantemente se ve amenazado por los grandes volúmenes de escorrentía que presenta durante los períodos de largas precipitaciones, causando el desbordamiento del mismo río.

De manera previa, se han realizado estudios técnicos donde se han obtenido resultados de caudales máximos para los años (1975 y 1995) que oscilan entre 5004 m³/seg. Y 5528 m³/seg. Esto representa un incremento de 524 m³/seg, en 20 años.

Los caudales antes mencionados, han causado en ocasiones, el desbordamiento del río y al ocurrir este evento, la infraestructura se ve afectada por el colapso de los taludes que se encuentran recubriendo el cauce natural.

Anteriormente estas obras se construían de mampostería de concreto, simplemente montados sobre una compactación de tierra, lo que ha provocado que su vida útil sea muy corta por su asentamiento y la erosión a la velocidad del flujo.

Al implementarse el Pilote “IN SITU” CPI-4, el objetivo principal es construir un Muro Berlín en un medio saturado, para brindar rigidez en la estructura y de esta manera, evitar un colapso que pueda poner en peligro las instalaciones civiles hidráulicas ya existentes a las orillas del río Santa Catarina, resolviendo de esta forma, el problema de desbordamiento del cauce y evitando daños materiales.

Introducción

Dado el gran desarrollo que se ha tenido en los últimos 15 años sobre métodos de perforación de pozos, con objetivos de obra civil hidráulica, se ha logrado construir obras en el sector hidráulico que, originalmente, dado sus condiciones de medio saturado sería impensable lograrlo.

El río Santa Catarina, en la Ciudad de Monterrey, Nuevo León, constantemente se ve amenazado por los grandes volúmenes de escorrentía que presenta durante los períodos de largas precipitaciones, ya que se construían de mampostería de concreto taludes para canales trapezoidales simplemente montados sobre la compactación de tierra, lo que provocaba que su vida útil fuera muy corta por su asentamiento y erosión debido a la velocidad del fluido.

Dentro de la formación de ingeniería de riego y drenaje de la UAAAN, haciendo uso de la tecnología de métodos de perforación de pozos, hidrología subterránea y mecánica de suelos, considero importante participar en la ingeniería civil hidráulica, ya que dichas estructuras pueden ser construidas con un atraque a través de un Muro Berlín, debido a que el subsuelo de dicho río presenta un acuífero superficial a 7 metros de profundidad, lo que hace difícil montar una estructura de atraque, y esto se puede lograr perforando pozos verticales hasta encontrar el macizo rocoso y montarse con concreto y acero que puedan resistir las salinidad y humedad de dicho acuífero.

La estructura del Muro Berlín es un enmallado de acero cuyo objetivo principal es construir una estructura de corte y giro que evite la erosión y el colapso en el área de estudio, ya que presenta una reducción del área del río, ocasionando a la vez el cambio de dirección de la corriente de agua. Estos efectos provocan frecuentemente en períodos de lluvia, el colapso de la estructura existente y pone en peligro las instalaciones hidráulicas civiles de la infraestructura, ya existentes a las orillas del río.

Justificación

Se considera que los especialistas en riego y drenaje son capaces de participar en la ingeniería hidráulica civil, debido a la preparación técnica que poseen en esta área, la cual se está abriendo y ampliando. La tecnología de los concretos en la construcción de zapatas en medios saturados, puede servir para el diseño y construcción de canales, muros de contención, muros de infiltración, así como para estructurar la medición de gastos en presas y bancos de bombeo a las orillas de ríos, arroyos y lagos.

Objetivo General

La construcción de un muro semi vertical adecuadamente anclado en materiales consolidados y rígidos a través de un enmallado de acero que le proporcione a la sociedad, la seguridad a la infraestructura urbana en el lecho del río Santa Catarina.

Es indispensable aplicar los conocimientos básicos de la ingeniería, especialmente las áreas de hidrología subterránea, hidrología superficial, mecánica de suelos, métodos de perforación de pozos e ingeniería hidráulica civil, para la construcción de un muro monolítico con armado de acero semi vertical que anteriormente se le denominaba talud.

Objetivo Específico

Diseño de espaciamiento entre pilotes de acuerdo a la resistencia que presenta el perfil del suelo, hasta encontrar un material consolidado “lutita” con el fin de resistir el embate de una erosión hídrica, (velocidad, cambio de dirección, tirante hidráulico crítico, cambio de densidad por materiales en suspensión).

Hipótesis

Para poder construir un muro rígido tipo monolítico en medios saturados, se *considera* que es necesario fijarlo en un material consolidado (tipo lutita) que presente una resistencia mayor a 1500 Bar de perforación.

Para vencer la influencia de la carga del acuífero libre se requiere de un concreto con una mayor presión hidrostática y un fluido agregado de secado, combinado con un enmallado de acero para que logre una rigidez por encima de esta dureza.

La resistencia de este muro se fundamenta en el principio de que múltiples perforaciones a menor distancia generan la resistencia de un muro frontal.

MARCO TEÓRICO

Contexto Histórico-Situacional

Las grandes ciudades modernas se enfrentan a la problemática del manejo del recurso hídrico, por lo que han desarrollado infraestructura civil e hidráulica como el caso de Monterrey, Nuevo León y su área metropolitana. La ciudad de Monterrey se localiza en un valle rodeado de montañas con una orografía accidentada, lo que genera gran cantidad de escurrimientos con velocidad importante de flujo en ciertos lugares, ocasionando desbordes de los afluentes naturales (ríos y arroyos) que cruzan la ciudad. Esta situación se vuelve cada vez más crítica, ya que la mayor parte del suelo de la ciudad está urbanizado, dejando insuficiente área para que se absorban los escurrimientos.

Como parte de la solución a estos problemas se ha generado infraestructura civil como la llamada presa “Rompe picos” ubicada en el cañón de la Huasteca, cuya función principal consiste en controlar y retardar los escurrimientos en el río Santa Catarina que cruza el área metropolitana de Monterrey. Esta estructura hidráulica permite contener y regular las crecientes provocadas, asociadas a eventos climáticos extremos, por ejemplo huracanes o tormentas tropicales. Al presentarse este tipo de eventos en ocasiones, generan inundaciones por el desbordamiento del río Santa Catarina, que es un suceso que ocurre con gran rapidez generando caudales a gran velocidad que arrastran a su paso lo que se encuentran.

Puede producir rompimiento de estructuras de control como presas y colapso total de los sistemas de alcantarillado pluvial de la ciudad, incrementando de manera considerable cuando el hombre altera o interfiere en el curso natural (Berga, 2007).

El área metropolitana de Monterrey se ha desarrollado en ambos márgenes del río Santa Catarina y, a través de su historia se ha visto afectada por inundaciones (González, 1973), las cuales han dejado incalculables pérdidas humanas y materiales, tal es el caso del huracán Gilberto ocurrido en septiembre de 1988, el huracán Emily en 2005 y el más reciente, el huracán Alex.

Origen del río Santa Catarina

El río Santa Catarina se origina en la sierra madre oriental, en los cañones de la purísima, el Álamo y San Juan Bautista en el Estado de Nuevo León. El río corre por un cañón con dirección, hasta las proximidades de Santa Catarina, de la cual toma el nombre. En este punto cambia bruscamente de dirección hacia el sureste, pasando por la ciudad de Monterrey hasta su confluencia con el río San Juan. El río Santa Catarina pertenece a la cuenca del río San Juan en la Región Hidrológica RH-24. El área de la cuenca hasta la salida del cañón de la Huasteca tiene una superficie aproximada de 1050 Km² y hasta la estación hidrométrica Cadereyta II es de 1804.7 Km², tiene una pendiente media de 39.75 %. El río principal fluye a través de una longitud de 158.4 Km con una pendiente media de 0.9 %, la precipitación varía entre 400 y 800 mm de lámina de agua (Ciencia FIC, 2010).

Reseña histórica del río Santa Catarina

El río Santa Catarina no presenta escurrimientos de manera superficial, ya que el agua es captada por el acuífero Buenos Aires al inicio de la cuenca y se aprovecha a la vez como fuente subterránea para el abastecimiento de Monterrey. Ha dado vida y desarrollo a la zona metropolitana, pero también ha dado destrucción aunque, solamente en época de lluvias torrenciales, tormentas tropicales o eventos extraordinarios. Se tiene referencia de que Monterrey ha sufrido al menos 15 inundaciones en los últimos 20 años.

La primera inundación de la cual se tiene referencia, gracias a los registros históricos, es la de 1611 y otra en 1612. La primera destruyó la original ciudad de Monterrey que estaba cercana a los ojos de agua de Santa Lucía. Eso hizo que se trazara otra población en donde actualmente está la plaza Zaragoza. El cronista Alonso de León supo por testigos que la mitad de las casas quedaron destruidas.

En septiembre de 1636 se repitió una inundación, Alonso de León se refiere a ella tan destructiva que “parece que se abrieron las cataratas del cielo y se rompieron las fuentes del abismo de las sierras”, según las bocas, por ellas reventaron llevándose las arboledas de sus riveras, desgajándose de sus sierras las peñas, causando pavor y miedo, derribando todas las casas de Monterrey y las iglesias, dejando hecho un desierto”.

Por crónicas de la época se sabe que los ríos La Silla, Santa Catarina y Pesquería se desbordaron provocando muchas desgracias. En 1642 y 1648, después de unas fuertes lluvias, el río Santa Catarina volvió a salirse de su cauce y dicha acción se repitió en 1716, 1752, 1756, 1775 y 1782.

Ya en el siglo XIX, en 1810 y en 1881 el río Santa Catarina recuperó incontenible su cauce, causando destrozos de gran consideración, a raíz de las fuertes lluvias que provocaron las inundaciones en 1909, son las más recordadas por sus efectos destructivos, pues se calcula que murieron cerca de 5 mil personas y muchos municipios quedaron prácticamente barridos, entre ellos destacan General Bravo, los Aldama, los Rayones, Santa Catarina, Monterrey y especialmente el popular barrio San Luisito, actualmente conocido como la colonia Independencia.

El día 28 de agosto de 1938, cuando las lluvias se presentaron todo el día y el nivel del agua subió hasta un metro, incluso en los lugares más altos de Monterrey, las aguas embravecidas del río Santa Catarina se llevaron todo lo que encontraron a su paso, a raíz del desbordamiento ocurrido por dichas causas.

En el mes de septiembre de 1967 el huracán Beulah trajo también inundaciones sobre la ciudad y en 1978 copiosas lluvias inundaron el cauce del río.

Hace 29 años el huracán Gilberto convertido en tormenta tropical, dejó sentir su fuerza entre el 15 y 16 de septiembre de 1988 cuando vació su furia en un gigante que estaba dormido.

Aparentemente cada 20 o 30 años, el río Santa Catarina provoca fuertes inundaciones en Monterrey y sus municipios aledaños. La memoria y el temor a ellas, hacen que los gobernantes realicen obras para evitar más problemas. Ejemplo de ello son las obras de iniciación de canalización del río en 1953, siendo gobernador Ignacio Morones Prieto, mientras que Fernando Canales Clariond inició la construcción de la llamada cortina “rompe picos”.

El riesgo de exposición a inundaciones sigue inminente pues la zona metropolitana está en cañadas y pasos naturales de arroyos que se han urbanizado. Es incongruente que mientras en otras partes del mundo se pagan grandes cantidades de dinero por limpiar los ríos, en este sitio se empeñen en llenarlos de canchas, juegos, etc.

La cortina cuando mucho, tiene la capacidad de recoger la lluvia de algunos 20 cañones de la sierra, dejando a otros tantos sin control alguno.

Existen ciclos que nos recuerdan que cada 20 a 30 años, el río Santa Catarina reencuentra su vocación y, aunque parezca seco e inofensivo, es un gigante que además de vida, ha traído muerte y destrucción (Guerrero Aguilar, 2010).

Los registros históricos hasta la fecha, muestran que las tormentas que más daños han causado fueron las siguientes:

Tabla 1. 1 Huracanes y tormentas tropicales que han afectado el Estado de Nuevo León (Hasta 1954 comenzó a llamarse a los huracanes y tormentas con un nombre propio).

Huracán	Fecha	Categoría al llegar a Nuevo León
Sin Nombre	1854	Tormenta Tropical
Sin Nombre	1880	Tormenta Tropical
Sin Nombre	1887	Tormenta Tropical
Sin Nombre	1895	Tormenta Tropical
Sin Nombre	1909	Tormenta Tropical
Sin Nombre	1916	Tormenta Tropical
Sin Nombre	1922	Tormenta Tropical
Sin Nombre	1933	Tormenta Tropical
Sin Nombre	1944	Tormenta Tropical
Alma	1958	Depresión Tropical
Beulah	1967	Tormenta Tropical
Fem	1971	Depresión Tropical
Carolina	1975	Depresión Tropical
Barry	1983	Depresión Tropical
Gilberto	1988	Tormenta Tropical
Keith	2000	Depresión Tropical
Beryl	2000	Depresión Tropical
Fay	2002	Baja Presión (L)
Erika	2003	Tormenta Tropical
Emily	2005	Tormenta Tropical
Alex	2010	Tormenta Tropical

Fuente: Historical Hurricane Tracks, NOAA Coastal Service Center

Costos de los daños causados por el huracán Alex

El paso del huracán Alex por la ciudad de Monterrey dejó daños por 1,282 millones 811,000 pesos en la infraestructura urbana municipal, así como afectaciones importantes en 2,694 hogares de familias regiomontanas.

Todos los hogares formaron parte del archivo detallado que el municipio presentó ante la mesa de trabajo del Fondo Nacional de Desastres (FODEN), quien fue la encargada de definir los apoyos destinados a cada una de las familias. Por otra parte, en lo que respecta a las afectaciones en la infraestructura urbana se definieron daños en 120 calles y avenidas de 43 colonias de la ciudad por 345 millones 393 mil pesos, además de los daños en puentes vehiculares de la Avenida Revolución, Alfonso Reyes, Avenida Morones Prieto y Pedro Martínez con un monto total de 108 millones de pesos.

En lo que respecta a daños en parques y edificios públicos municipales se registraron estragos en el parque Canoas, el parque del río la Silla, el parque de la colonia Rincón de la Primavera y en un centro de salud de la colonia Condesa, todo esto por un monto de 101 millones 555 mil pesos (CENAPRED, 2012).

Reconstrucción de la infraestructura

La reconstrucción fue llevada a cabo en la avenida Ignacio Morones Prieto y el Boulevard Constitución, lo que constó de reposición de terraplenes y taludes en una longitud estimada de 10 km en cada una de las avenidas. El costo estimado de obra para la avenida Morones Prieto y el boulevard Constitución fue de 500 mdp (Diario Oficial de la Federación).

Determinación de la capacidad de carga y asentamientos

Uso del presiómetro Mènard

Bustamante y Frank (1999) desarrollaron un método de diseño semiempírico para determinar la capacidad de carga y asentamientos en una diversidad de cimentaciones profundas, tipos de suelo y rocas. El método fue desarrollado en el Laboratorio Central de Puentes y Caminos de Francia y se basa en la correlación de resultados de numerosas pruebas de carga con los resultados del presiómetro de Mènard, específicamente con la presión límite (PL).

Dada la diversidad de suelos y sus distintas características, el cálculo real de la capacidad de sustentación, en cada caso particular, ha sido siempre un problema que ha requerido atención y análisis para pronunciarse en datos prácticos aplicables a la determinación de superficies necesarias. Esto mediante losas y apoyos de elementos sobre los que carga la obra muerta de la superestructura. El presiómetro “Ménard” viene a contribuir con este problema de mecánica del suelo como ayuda práctica en la apreciación rápida y próxima a la realidad del coeficiente de carga admisible en cada terreno, de acuerdo con el análisis de las curvas de variación de volumen que se pueden obtener utilizando este aparato. El método seguido en este procedimiento consiste en la introducción en el suelo de una sonda especial, cuyas paredes se someten a un juego de presiones que permiten conocer las reacciones que provoca el suelo sobre las paredes de esta sonda especial.

El aparato consta, esencialmente, en una sonda y un cilindro que controla las variaciones de volumen. La sonda está subdividida en tres células de membranas de caucho, cuya dilatación se realiza por medio de la inyección de agua a presión controlada con un manómetro. Estas células sólo permiten una expansión radial. La célula central regula las observaciones, mientras que la inferior y superior tienen por objeto eliminar todas aquellas causas que impedirían una repartición cilíndrica de las deformaciones objeto de estudio y observación. El cilindro que controla el volumen es de cristal, graduado, y permite leer las variaciones de volumen debidas a la dilatación de la célula central.

La inyección de agua en las células se verifica por medio de gas a presión retenido en un depósito que se halla en la parte superior del cilindro. Este gas, conducido por canalizaciones especiales, actúa sobre las dos células que comprenden a la central. Para la utilización del aparato se empieza abriendo un taladro de unos 65 mm de diámetro, cuyo testigo se utiliza para estudiar la constitución y características del suelo en estudio.

Posteriormente se llena de agua la célula y el cilindro que regula la presión, procediendo después a descender la célula al lugar donde ha de estudiarse el terreno. Cuando la sonda se halla en posición se van aumentando las presiones progresivamente, dejando unos segundos o minutos de tiempo a presión constante antes de aumentar nuevamente la presión, que asciende por saltos de 250 a 500 gramos, según los casos. Si se hace

el gráfico de las variaciones de volumen de la célula en función de las presiones, se obtiene una curva característica cuya rama se divide en cuatro partes, de la que la primera representa los cambios hasta llegar al equilibrio, por lo que no se tiene en consideración en el estudio posterior.

De los tres tramos el primero representa una proporcionalidad entre los diámetros del taladro y la presión aplicada, es decir, se obtiene una recta. Esta zona se halla en la fase pendo-plástica, y la pendiente de la curva representa la compresión del suelo. Como el coeficiente de carga admisible en un suelo es frecuentemente proporcional al módulo de compresión, esta parte del diagrama tiene gran importancia en el cálculo de zapatas y losas de apoyo en cimientos.

El segundo tramo de interés corresponde a las rupturas o desgarres, y se caracteriza en el diagrama por adoptar una forma exponencial. Esta zona permite trazar la curva intrínseca del material estudiado y, por tanto, el conocimiento de la compactación y ángulo de rozamiento.

El último tramo de la curva presenta una forma asintótica, la presión alcanza un límite máximo y el volumen crece considerablemente. Para los ensayos se pueden seguir dos caminos diferentes: un ensayo rápido o aplicar el método de consolidación controlada.

El ensayo rápido tiene por objeto el estudio de las características del terreno natural, mientras que en los ensayos, siguiendo el método de consolidación controlada se estudian las características futuras del terreno, cuando está cargado y sometido a una consolidación debida al propio peso del edificio que gravita sobre el terreno.

Cada método de ensayo permite obtener las características mecánicas del suelo estudiado; entre las que se hallan: el módulo de compresión, resistencia a la tracción, compactación, ángulo de rozamiento, presión límite y rigidez del suelo.

El aparato Ménard permite estudiar los asientos diferenciales que experimenta el suelo en sus múltiples aspectos, y los fenómenos de afluencia.

La aplicación de este procedimiento de ensayo a casos prácticos es de carácter tan diverso que no se pueden sentar directivas específicas para cada uno de los distintos casos (Informes de la construcción, 1960).

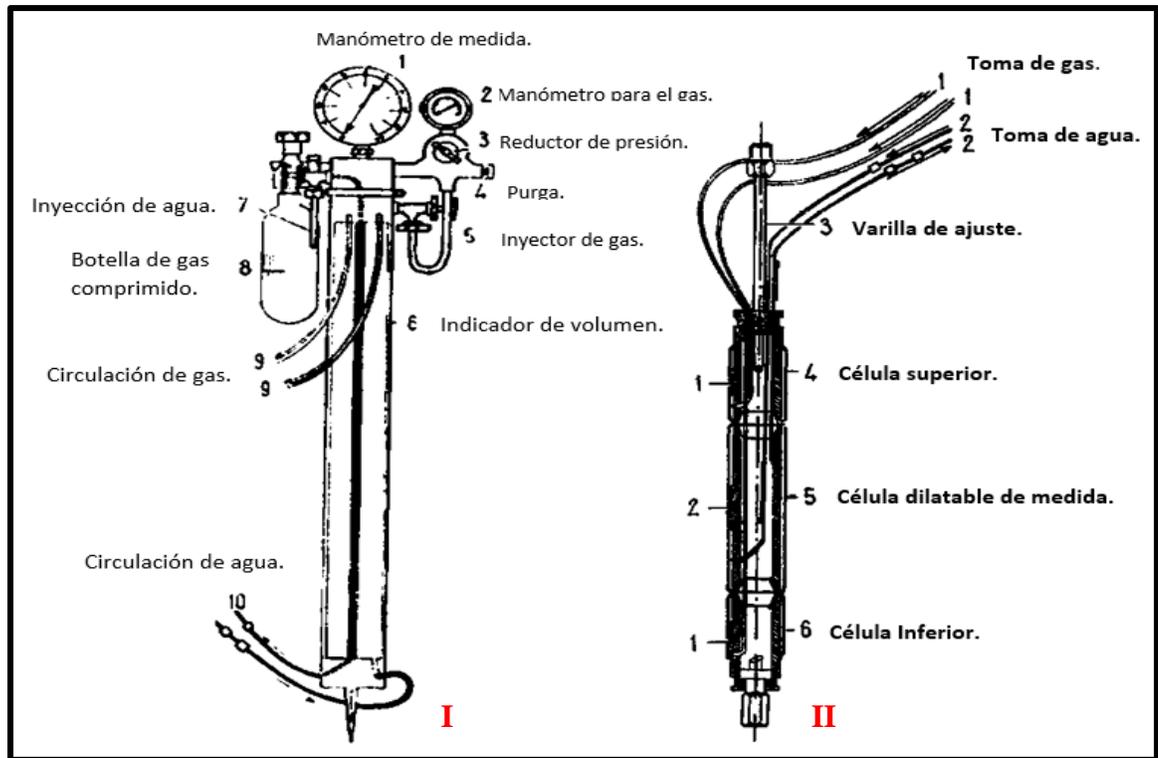


FIGURA 1.1 La figura muestra el controlador de Volumen (I) y la Sonda (II)

CONTEXTO GEOLÓGICO

Formación Méndez

Jeffreys (1910 en Palmer, 1927) fue el primer autor en nombrar esta unidad como lutita Méndez para las rocas que sobreyacen a la formación San Felipe. Más tarde, Dumble (1915 en Santamaría-Orozco *et al.*, 1990) utiliza el nombre de lutita Papagayos, para estas mismas rocas, en alusión a la Sierra Papagayos ubicada al oeste de Ramones, Nuevo León.

Posteriormente, Bort (1925) menciona que los términos Méndez y Papagayos han sido utilizados indistintamente para las rocas que afloran en el Distrito Tampico; asimismo, agrega que dadas las evidencias disponibles ambas unidades son equivalentes, por lo que considera conveniente que se abandone el nombre de Papagayos.

Bonet y Carrillo-Bravo (1961) interpretan que las rocas definidas por Erben (1956) como formación Paltoltecoya (Tithoniano superior), presentan características litológicas y relaciones estratigráficas que permiten incluirlas dentro de la Formación Méndez.

Finalmente, Aguayo-Camargo y Kanamori (1976), propusieron en la región de Tampico al miembro Tamuín, correspondiente a la parte media de la unidad. La localidad tipo se encuentra ubicada a 300 m al este de la estación Méndez, en el estado de Veracruz, sobre el ferrocarril Tampico-San Luis Potosí (Carrillo-Bravo, 1971).

Descripción litológica: en la primera descripción hecha por Jeffreys (1910 en Palmer, 1927), menciona que esta unidad consiste de un depósito uniforme de lutita gris-azul de varios metros de espesor, con borde interno arcilloso a semi-margoso; toda la secuencia consiste de marga y algunas capas irregulares de arenisca y caliza.

Dumble (1915), describe a esta unidad (lutita Papagayos) como capas de lutita de color azul o negro con limo y arcilla, su color intemperizado es café, amarillo o blanco. De Golyer (1915 en Palmer, 1927) menciona que consiste de capas que gradan hacia abajo a la formación San Felipe y conforma una serie de lutita gris a verde, marga y arcilla, escasamente contiene capas de arenisca y caliza.

Por otro lado, Muir (1936) describió a esta unidad como capas gruesas masivas de lutita de color rojizo, con intemperismo semi-esferoidal y algunos fragmentos subangulares; en algunos niveles las capas llegan a ser delgadas.

Formación de terrazas fluviales

En el desarrollo de los valles por la interrumpida labor erosiva de las corrientes fluviales, uno de los episodios más importantes es la formación de la “planicie de aluviones”. El río arrastra los materiales arrancados a la parte superior de su cuenca y los lleva consigo hasta sitios y se remansa, viéndose obligado así a dejar su carga detrítica, que desparrama en una llanura de variada extensión.

Estas circunstancias, son casi siempre, un cambio en la constitución o disposición de las rocas que forman el valle, por lo general de mayor resistencia a su erosión, vertical o lateral; entonces se forma una hoz o garganta, encima de la cual se van acumulando los aluviones. Otras veces, sobre todo ya cerca de las desembocaduras, las planicies aluviales se van constituyendo en el trayecto final por quedar detenida la corriente fluvial al juntar sus aguas con las del mar o lago adonde afluyen (J. G. de Llarena).

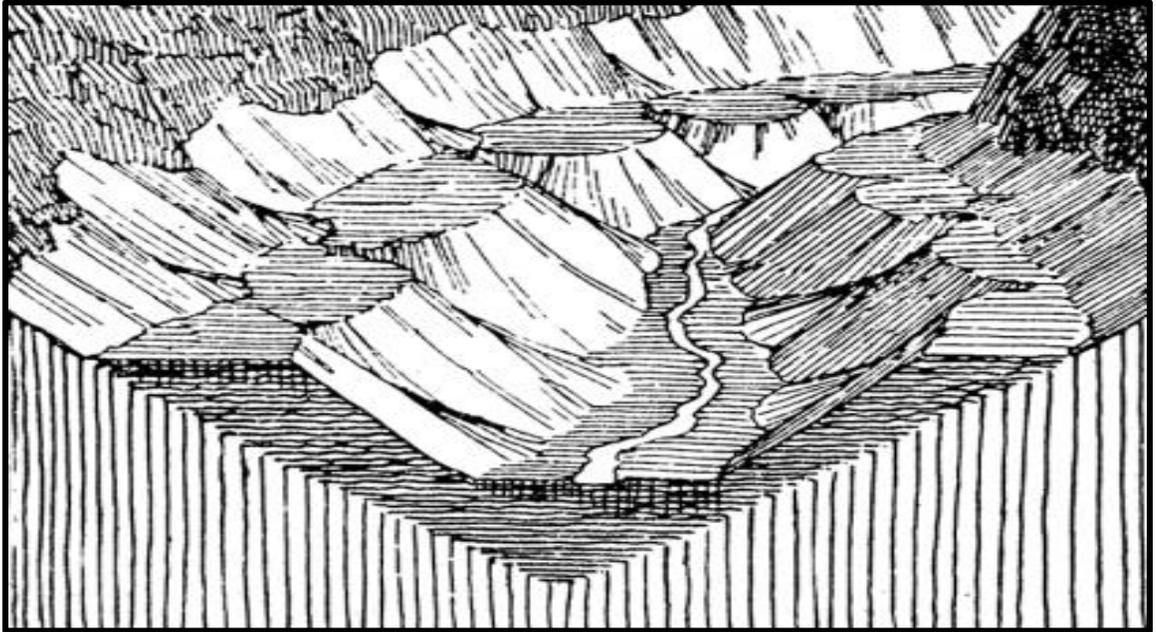


FIGURA 1.2 Formación de terrazas fluviales. El valle, abierto en la roca viva por la erosión fluvial (rayas verticales) se ha rellenado luego de aluviones (gravas, arenas, tierras-rayas horizontales onduladas). Una vez hecho este depósito, el río ha vuelto a encajarse dejando colgadas las terrazas a uno y otro lado

Rellenos de materiales no consolidados

Material no consolidado con posibilidades altas

Está constituido por un material clástico, que varía en su granulometría de limos a gravas y en su grado de compactación. Se constituye por un acuífero libre. Este material se encuentra en la parte superficial que va desde los 0 metros hasta los 13 metros de profundidad.

Material no consolidado con posibilidades medias y bajas

Está formado por abanicos aluviales recientes y también se presentan por conglomerados clasificados en matriz de arena-arcillosa, mediante cementados y por suelos aluviales recientes de espesor limitado. El conglomerado presenta buenas características de permeabilidad, por lo que funciona como zona de recarga para el acuífero primario.

Talud de canal

Se define como la proyección horizontal a la vertical de la pared lateral conocida también como talud de las paredes del canal, es decir, “m” es valor de la proyección horizontal cuando la vertical es 1, aplicando relaciones trigonométricas. Es la cotangente del ángulo de reposo del material (Θ), es decir $m=x/d$ y depende del tipo de material en que se construya el canal, a fin de evitar derrumbes (tabla 1.2). Por ejemplo, cuándo se

dice que un canal tiene un talud 1.5:1, quiere decir que la proyección horizontal de la pared lateral es 1.5 veces mayor que la proyección vertical que es 1, por lo tanto el talud “m” es igual 1.5, esto resulta de dividir la proyección horizontal que vale 1.5 entre la vertical que vale 1 (Civilgeeks, Ingeniería y construcción, 2010)

Material	Talud	Valor en Grados.
Roca ligeramente alterada	0.25:1	75° 58´
Mampostería	0.4:1 y 0.75:1	68° 12´
Roca sana y tepetate duro	01:01	45°
Concreto	1:1 o 1.25:1	45° y 38° 40´
Tierra arcillosa, arenisca, tepetate blando	1.5:1	33°
Material poco estable, arena, tierra arenisca	02:01	26°

Tabla 1.2 Valores del coeficiente de rugosidad de Manning para ser aplicada en la ecuación.

Muro Berlín

Es una estructura o lenguaje reconocido en el ambiente civil hidráulico cuyo objetivo es construir múltiples perforaciones ancladas en materiales rígidos y entre tejidos con acero para dar una formación de resistencia tipo frontal, aunque existe poca literatura sobre este concepto es el más utilizado en la obra.

Anclaje en medios saturados

Tipos de Anclajes

Los anclajes son los elementos empleados para transmitir grandes cargas al terreno que, utilizados en combinación con estructuras como pilotes, micropilotes, pantallas continuas, etc., aseguran la contención del terreno. Los anclajes se clasifican en:

- Anclaje activo o pasivo.** Según el nivel de carga inicial que se aplique, a los primeros se les somete a una carga de tesado mientras que a los segundos se les deja con una carga inicial baja.
- Anclaje de cables de barra.** Según los elementos constituyente de los tirantes.
- Anclaje permanente o provisional.** Según la vida útil, los primeros proyectados para una vida superior de dos años y los segundos inferior a dos años o menos en el caso de ambientes o terrenos especialmente agresivos.
- Anclaje con inyección única.** (ILI), Inyección repetitiva (IR) o inyección repetitiva y selectiva (IRS). Según se efectuó o no la reinyección del bulbo.

Consta básicamente de una cabeza que ejerce una compresión sobre la superficie del terreno (en general sobre un elemento de hormigón intermedio), de un bulbo de

anclaje en que se transmiten al terreno las tracciones generadas como reacción, y de una zona libre situada entre ambas. El bulbo o zona de anclaje es la parte en que los cables o barra se adhieren al terreno y donde se transmite su carga. La diferencia entre la longitud total y la longitud del bulbo es la longitud libre.

Perforación rotatoria

Cuando se inicia la perforación o excavación para la ejecución de una obra, en ocasiones se presentan dificultades para encontrar el estrato resistente donde se quiere cimentar. Las perforadoras rotatorias son las más demandadas en la construcción de pilotes, ya que los métodos aplican en la mayoría de los suelos. Dentro de las perforadoras rotatorias, se encuentran las perforadoras con sistema de Kelly y las perforadoras de hélice continua. Las perforadoras con sistema de Kelly son aplicadas en la construcción de pilotes en general, de pequeños y grandes diámetros, con pequeñas y grandes profundidades. A esta perforación se le denomina de dicha manera gracias al barretón, que es la pieza clave para este método de perforación el cual consiste en una barra telescópica que trasmite el torque suministrado por la rotatoria (también llamada mesa rotatoria), a la herramienta de corte. Dicha rotatoria esta acoplada al mástil o torre, sobre el cual se desliza. Este mástil esta firme unido a la maquina portante y en conjunto con las poleas, malacates y cables, proporcionan la fuerza necesarias para llevar a cabo su función.

Con este equipo de perforación el suelo que está siendo excavado es cortado y removido a través de la aplicación de un empuje vertical y al mismo tiempo una fuerza de rotación o Torque. Sus componentes principales se ilustran en la figura 1.3

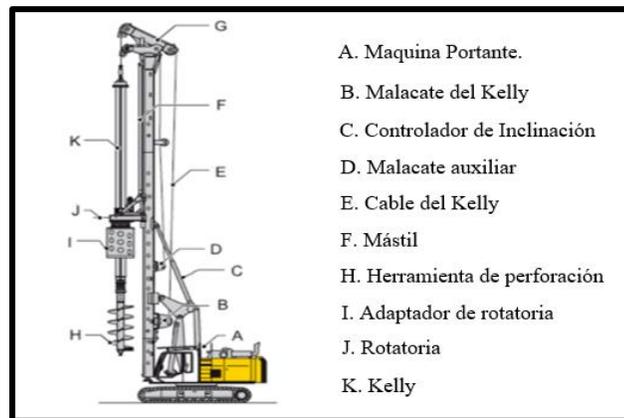


Figura 1.3 partes principales de perforadora rotatoria con sistema de Kelly, con máquina base propia (Hudelmaier, and Köfner 2009)

PILOTE “IN SITU”

Pilote “IN SITU” es una denominación que se aplica al método constructivo que consiste en realizar una perforación en el suelo a la cual, una vez terminada, se le coloca un armado en su interior y posteriormente se rellena con concreto. Los pilotes son elementos de sección circular que transmiten los esfuerzos de las estructuras superiores a capas profundas del terreno, dotadas de características portantes adecuadas.

También son utilizados como medio de contención de taludes, sin riesgo para el personal de la obra, ni para calles y edificios adyacentes. Son una alternativa muy importante, sobretodo económicamente, para los muros pantalla, en los terrenos en los que el nivel freático se haya por debajo de la cota de excavación. En caso de nivel freático alto y con terreno encostrado o rocoso, la alternativa de los muros de pantalla con utilización de trépano, es el empleo de pantallas de pilotes secantes.

Los pilotes de extracción, perforado y de concreto “IN SITU” se emplean prácticamente en todo tipo de terrenos con los útiles de perforación adecuados. La elección del tipo de pilote a ejecutar depende de las características del terreno (estratigrafía, nivel freático, capas blandas etc.) y de las características de la obra a ejecutar.

El pilote CPI-4 es un tipo de piloto perforado y de concreto con entubación recuperable y extracción de tierras. Se recomienda en terrenos que, por su consistencia sufren desprendimientos y se desmoronan durante la excavación, ya sea por la baja consistencia del terreno o por la presencia del nivel freático. Son habituales diámetros de 450 mm a 1800 mm.

Tipos De Pilotes “IN SITU”

- CPI-2 Pilote de desplazamiento con azuche
- CPI-3 Pilote de desplazamiento con tapón de gravas
- CPI-4 Pilote de extracción con entubación recuperable
- CPI-5 Pilotes de extracción con camisa perdida
- CPI-6 Pilote perforado sin entubación con lodos tixotrópicos
- CPI-7 Pilote perforado sin sistema de sostenimiento
- CPI-8 Pilote de barrena continúa

Para la perforación de todos estos tipos de pilotes se dispone de equipos hidráulicos y de perforación a caída libre, empleados en terrenos de difícil acceso o extrema dureza, con alto par de rotación, permitiendo gracias al uso de herramientas especiales, la perforación de rocas de hasta 250 kg/cm² de resistencia a compresión simple.

Tabla 1.3 Diámetros de las perforaciones de pilotes "IN SITU"

Pilotes "IN SITU"			
CPI-8		CPI-4/CPI-5CPI-6/CPI-7	
Diámetro (mm)	Profundidad (m)	Diámetro (mm)	Profundidad (m)
	23 (*)	450	44 (**)
350		550	
450		650	
550		850	
650		1000	
850		1250	
1000		1500	
		1800	

(*) Posibilidad de alcanzar hasta 30 m, estudio previo

(**) Se puede alcanzar profundidades máximas mayores, a estudiar en función del tipo de terreno y pilote en cada caso concreto

Fuente: CIMENTATEC, Servicios Cimentaciones Especiales 2010.

Ubicación

El área de estudio donde se requiere llevar a cabo la construcción de obra civil conocida comúnmente como "Muro Berlín" en medios saturados, para el sostén de un talud de canal tipo trapezoidal se establecerá en el río Santa Catarina coordenadas (UTM) 362944.03 m.E, 2839739.00 m.N: 363825.22 m.E, 2840085.40 m.N, con una longitud de 1.100 m, en el municipio de San Pedro Garza García, Nuevo León, México, el cual se localiza a un poco más de 200 km al sur de la frontera de Estados Unidos de Norteamérica y a más de 900 km al norte de la capital del país, está ubicado con latitud 25°40'30" N y Longitud 100°19'06" O.

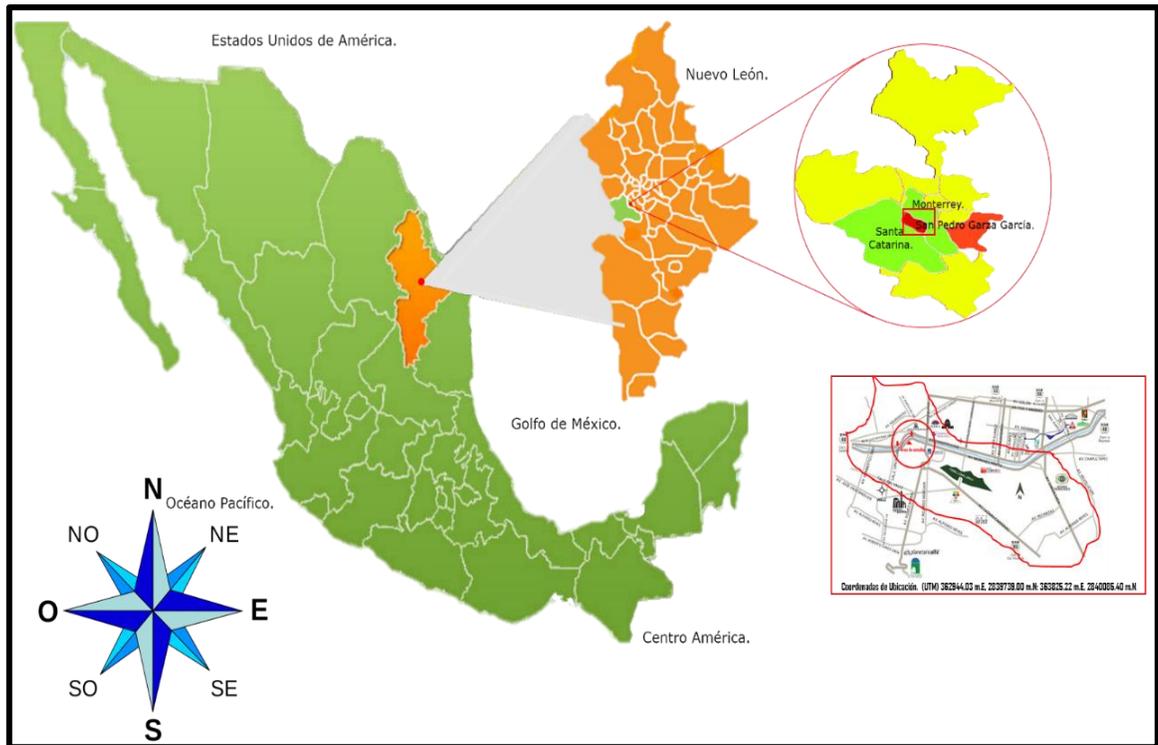


FIGURA 1.4 Localización del área de estudio

MATERIALES Y MÉTODOS

MÉTODO

Perforación tipo rotatoria con tubería recuperable (PILOTERA).

Pilotes de extracción con entubación recuperable. La perforación se realiza mediante la introducción de una camisa de acero, al tiempo que se extraen las tierras por su interior.

La entubación procedió a la excavación. Las herramientas utilizadas para la extracción de las tierras se seleccionaron dependiendo de la naturaleza del suelo y de la presencia o no del nivel freático. En este caso los suelos son sueltos y el nivel freático, se encuentra alrededor de los 7 metros, por lo tanto, se utilizó hélice de Buckets o cuchara bivalva de tipo benoto o similar. En los pilotes de gran diámetro, para facilitar la introducción y la extracción de los tubos se utilizó el oscilador, que es una máquina hidráulica acoplada a la plataforma y provista de unas mordazas que abrazan la tubería,

capaz de transmitirle los movimientos convenientes según la dirección que interese. Una vez acabado el proceso de perforación, se introdujo la armadura y se aplicó el concreto por el interior de la tubería, utilizando un tubo tremie. El hormigón o concreto tiene que ser de consistencia fluida.

Materiales y equipos

- Máquina Pilotera
- Tubo tremie
- Jaula para tubo tremie
- Horquilla para sujetar tubo tremie
- Grúa
- Equipo de soldadura
- Tolva de concreto
- Acero
- Camisa o ademe
- Cubo o Bucket
- Hélice
- Morsa
- Grava y arena
- Cemento
- Aditivo para fraguado de concreto

Cálculos de diseño para la separación entre pilotes

Para la realización de diseño entre la separación de pilotes se emplea la resistencia de material en el cual se va a anclar el monolito. Este diseño está basado a la tabla 1.4 y 1.5, el material que se encuentra es caliza roca sedimentaria, que presenta una presión de corte de 1500 Bar, se encuentra a diferentes profundidades del perfil del suelo como se presenta en la tabla 1.6

$$S = \frac{Pc}{Prf} \quad Sp = \frac{s}{15}$$

Donde:

S: Valor adimensional

Sp: Separación entre pilote

Pc: Presión de corte en bar

Prf: Profundidad de la roca (Lutita)

15: Valor estándar

$$Sp = \frac{1500}{19.2} = 78.125$$

$$Sp = \frac{78.125}{15} = 5.2 \text{ m}$$

La separación entre pilote es de 5.2 metros.

Tabla 1.4 Datos de ubicación, profundidad de nivel freático, profundidad de la lutita, de los 21 pozos sondeados

Número	Cadena miento	Coordenada	Coordenada	MSNM	Material Consolidado	Profundidad
	Punto de Muestreo	X Este	Y Norte	Altimetría piso	Profundidad Lutitas	Nivel freático
1	0+ 000	362948.00 m E	2839744.00 m N	624	14.5	7.3
2	0+ 050	362983.21 m E	2839777.64 m N	623	15.32	7.6
3	0 +100	363019.67 m E	2839818.51 m N	623	16.17	8.15
4	0+150	363055.24 m E	2839854.30 m N	623.5	15.06	9.45
5	0+200	363088.35 m E	2839894.85 m N	622	14.62	9.63
6	0+250	363116.77 m E	2839935.92 m N	622	14	8.45
7	0+300	363142.41 m E	2839977.38 m N	623.5	13.54	8.32
8	0+350	363177.00 m E	2840012.00 m N	622	13.67	8.15
9	0+400	363210.82 m E	2840047.67 m N	621.5	13.26	7.87
10	0+450	363249.00 m E	2840080.00 m N	621.32	14.18	7.89
11	0+500	363288.46 m E	2840110.57 m N	620.67	14.23	8.64
12	0+550	363328.86 m E	2840139.56 m N	620	14.67	9.15
13	0+600	363374.00 m E	2840156.00 m N	619.5	15.46	7.4
14	0+650	363422.00 m E	2840169.00 m N	619	16.72	7.65
15	0+700	363470.00 m E	2840183.00 m N	618	16.64	8.67
16	0+750	363519.82 m E	2840184.54 m N	617.42	18.23	7.4
17	0+800	363567.75 m E	2840177.65 m N	617.34	17.63	7.6
18	0+850	363614.00 m E	2840164.00 m N	617	19.2	8.54
19	0+900	363660.65 m E	2840149.64 m N	617	18.15	8.76
20	0+950	363706.95 m E	2840135.13 m N	616.5	17	9.35
21	0 + 1000	363824.00 m E	2840082.00 m N	616	17.15	9.6

Pasos para la elaboración del pilote “IN SITU” CPI-4

1. Excavación con cazo o hélice conteniendo las paredes de la perforación mediante tubería metálica recuperable
2. Colocación de la armadura
3. Aplicación de concreto con tubo tremie
4. Extracción simultánea de la tubería de revestimiento
5. Pilote terminado

Esquema de pilote "IN SITU"

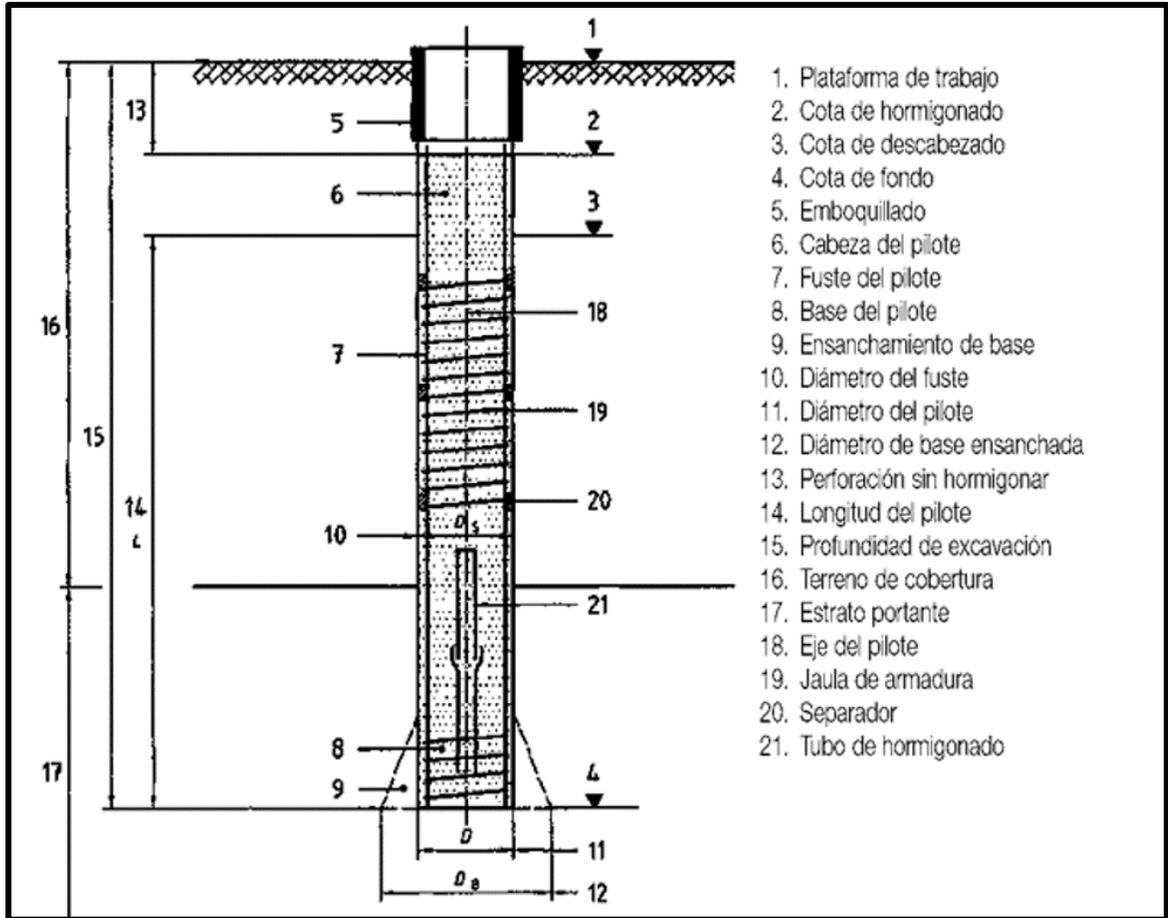


FIGURA 1.5 Partes que componen un pilote "IN SITU"

Descripción del proceso

Para la ejecución de los pilotes se dispuso de una superficie de trabajo sensiblemente horizontal y libre de obstáculos. La perforación se realizó mediante entubación recuperable cada 6 metros, bajo método de triangulación.

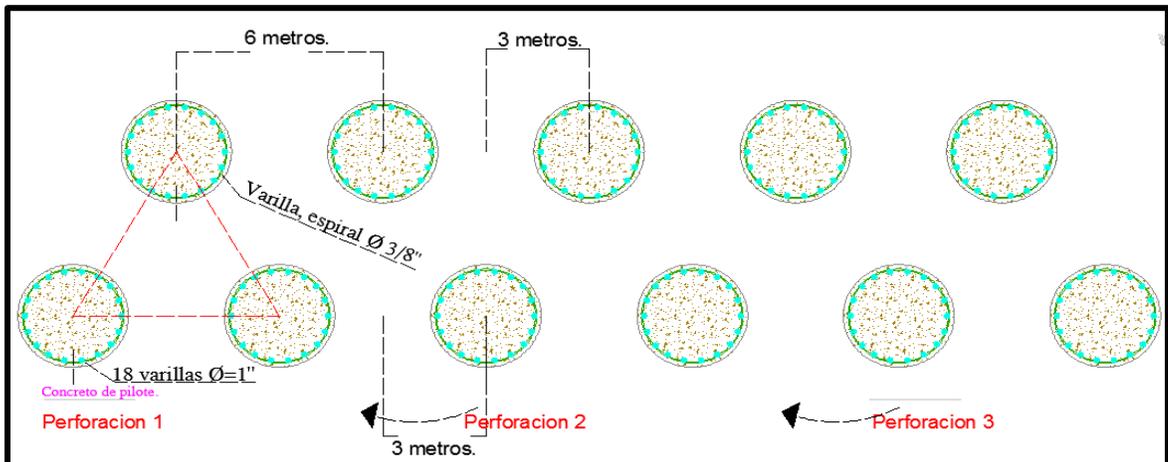


Figura 1.6 Método de triangulación para la perforación de pilotes

Al terminar de perforar el primer pozo se procedió con la segunda perforación, pero a 12 metros de longitud del primer pozo, esto debido a que si se continuaba conforme marca la separación entre pilotes, podría ocasionarse el derrumbe de la estructura, ya que son materiales no consolidados. Cabe mencionar que la perforación de los pilotes se realizó a cada 12 metros pero, una vez terminada, se procedió a la construcción de los pilotes a cada 6 metros.

La excavación en este sitio se realizó mediante el uso de barrenas de hélice corta para la superficie, la cual presentaba boleos al inicio del pilotaje hasta una profundidad de 9 metros.

Una vez presentado en nivel freático en la perforación se tuvo que cambiar el implemento de la pilotera, colocando el dado o bucket, a fin de facilitar la extracción de lodos presentes en el acuífero superficial. Este implemento ayudó a culminar la perforación del pilote hasta la longitud deseada como se presenta en la figura 1.7. Paso 1.

Posteriormente se limpió el fondo del pilote y se procedió a introducir la armadura de acero con la ayuda de un equipo auxiliar o grúa. (Figura 1.7. Paso 2).

El armado debe de ser de acero y estuvo conformado por 18 varillas de una pulgada, que son las que se encuentran verticales en el pilote, también se conformó por una estructura en forma de anillos de orientación horizontal y teniendo una separación de 30 cm entre ellos como se presenta en la figura 1.6.

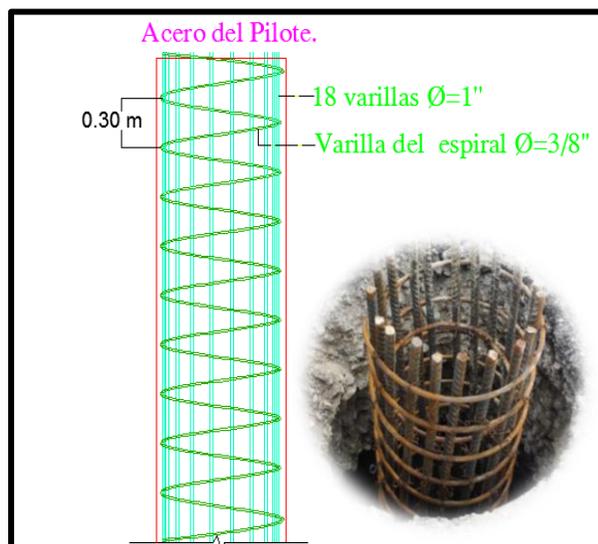


Figura 1. 7 Acero que conforma un pilote "IN SITU"

Para garantizar el recubrimiento del acero en el pilote se levantó el ademe 20 cm sobre el fondo de la excavación y se colocaron separadores para su correcto centrado. Después de colocar la armadura se comenzó con la aplicación de concreto, el cual contenía un aditivo de la marca (KIM®), comúnmente conocido como acelerante. Este producto ayudó al secado rápido, evitando que el agua causara daños en el cemento del pilote ayudando a la vez a vencer las fuerzas hidrostáticas que ejerce el agua en el acuífero al realizar esta obra civil.

El concreto se aplicó con la ayuda un tubo tremie el cual permite que se distribuya uniforme en el pilote como se muestra en la (Figura 1.7. Paso 3). Este tubo se introdujo por dentro de la armadura hasta alcanzar el fondo de la perforación.

Enseguida, conforme avanzó la fase del concreto se fue subiendo simultáneamente el ademe y el tubo tremie, (Figura 1.8. Paso 4), teniendo la precaución de mantenerlo siempre, unos 2 metros introducido en el concreto fresco.

Cuando este alcanzó la cota de la rasante del terreno se concluyó la aplicación (Figura 1.8. Paso 5.)

Centrado de pilote

A partir del punto de replanteo, se usaron estacas en el centro geométrico del pilote. Se marcaron tres puntos equidistantes del centro que sirvieron para centrar la entubación y comprobar el proceso de excavación de las desviaciones en la planta.

Excavación con entubación recuperable

Los pilotes se excavaron con auxilio de una entubación recuperable, cuidando especialmente la inclinación del ademe durante su introducción. La entubación se introdujo en el terreno acompañando la excavación.

Preparación y colocación de armaduras

Se colocó un ademe perdido o tubo metálico de un espesor entre 3 y 6 mm con la misión de garantizar el fraguado del concreto, ya que está en presencia constante de corrientes de agua. La camisa perdida se unió a la armadura del pilote, dejándose un hueco mínimo de 3 cm, en todo el contorno entre el ademe perdido y el recuperable para facilitar la posterior extracción del ademe recuperable.

Las armaduras se colocaron limpias, exentas de pintura, grasa o cualquier otra sustancia perjudicial. Se colocaron separadores apropiados, para garantizar los recubrimientos especificados, y se dispuso de un sistema firme para impedir que la armadura se moviera durante el proceso del concreto.

Tubería tremie

La tubería tremie se fue introduciendo por tramos hasta llegar a la lutita que es un cuerpo consolidado. La tubería se colocó en una jaula porta tubos apropiada para evitar la suciedad en las uniones y cada vez que se extrajo un tubo, se limpió en el momento con agua abundante a fin de evitar fraguar la lechada de cemento.

La tubería tremie nunca se apoya en el fondo, por este motivo se dejó suspendida en un útil apropiado, para tal fin. Durante el proceso del concreto la tubería estuvo introducida a un mínimo de 3 metros en la masa del concreto.

Aditivo de concreto

Aditivo impermeabilizante de concreto. Membrana Interna Krystol™ (KIM®).

El KIM (Membrana Interna Krystol) es un aditivo hidrofílico en polvo para proteger las estructuras contra la migración de humedad, corrosión del acero de refuerzo y ataque químico en lugar de las membranas superficiales aplicadas por el exterior.

Cuando se agrega el KIM a la mezcla de concreto, la tecnología única Kryton, reacciona con las partículas no hidratadas del cemento para formar millones de cristales en forma de agujas. Durante un período de semanas o meses, estos cristales crecen rellenando todos los poros y conductos capilares del concreto, bloqueado permanentemente la entrada de agua y de contaminantes hidrosolubles.

Más adelante, si se forman grietas debido al asentamiento o contracción, el agua que se filtra por ellas activará el proceso de cristalización formando cristales que crecerán y sellarán las grietas garantizando la herramienta de la estructura. Además de rellenar los poros y conductos capilares de la matriz del concreto con cristales, KIM mejora el proceso natural de hidratación intensificando y prolongando la hidratación de los materiales cementantes.

Lo anterior reduce el tamaño y la cantidad de los poros capilares en la matriz del concreto, haciendo considerablemente menos poros e incrementando su resistencia y durabilidad.

Características

- Kim es un aditivo reductor de permeabilidad para condiciones de presión hidrostática
- Reemplaza los usos de membranas exteriores poco confiables, mantos asfálticos y recubrimientos
- Se añade directamente al camión de concreto premezclado o en la planta concreta
- Auto sella fisuras de hasta 0.5 mm
- Se reactiva en presencia de humedad
- Efectivo contra presión hidrostática de hasta 140 mts presión columna de agua
- Impermeabiliza desde cualquier dirección (lado positivo o negativo)
- Impenetrable al daño físico o deterioro
- Aprobado para el contacto con agua potable, certificado por NSF de acuerdo al Estándar 61 NSF/ANSI Componentes del Sistema de Agua Potable – Efectos en la Salud
- Reduce la contracción y el agrietamiento
- Provee excelente resistencia a los químicos hidrosolubles
- Compatible con el concreto auto compactable (AC)

Beneficios

- Impermeabiliza el concreto permanentemente
- Incrementa la confiabilidad y el control de calidad
- Reduce el costo de impermeabilización hasta en un 40%
- Ahorra semanas en el programa constructivo
- Reduce el costo de mantenimiento y reparación
- Incrementa la rentabilidad al maximizar el área constructiva

A continuación se presentan 2 figuras del procedimiento de construcción de un pilote “IN SITU” CPI-4.

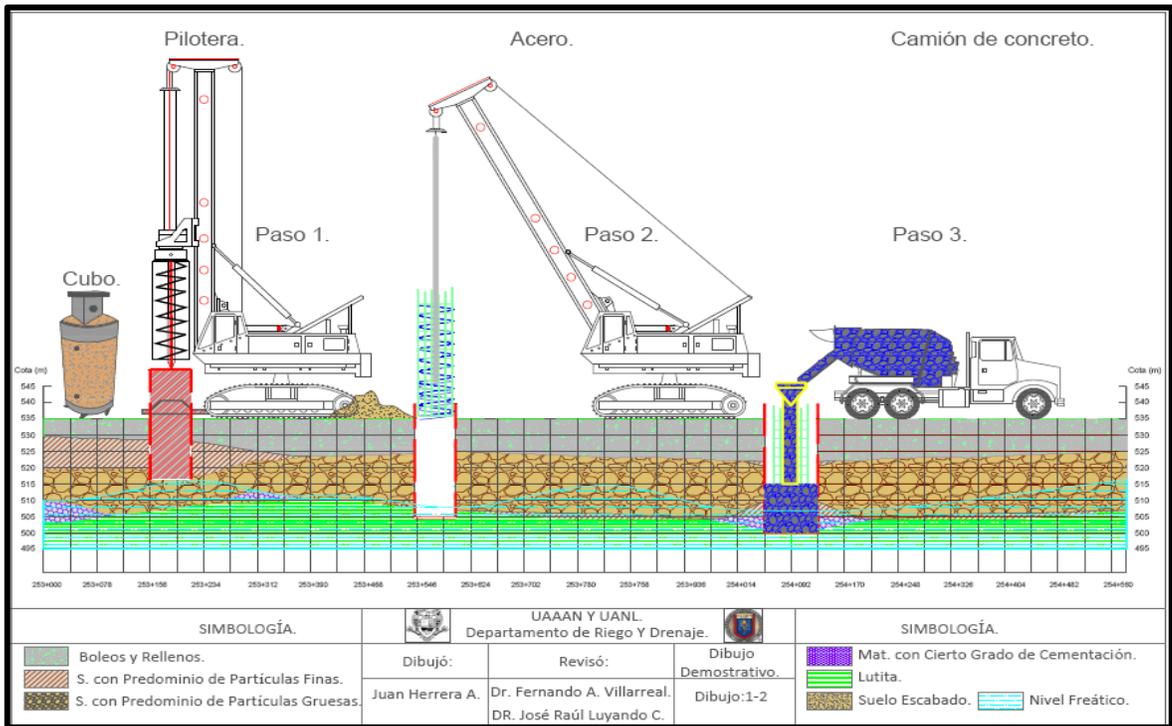


FIGURA 1.8 Procedimiento de pilotaje CPI-4 con entubación recuperable paso 1, 2 y 3

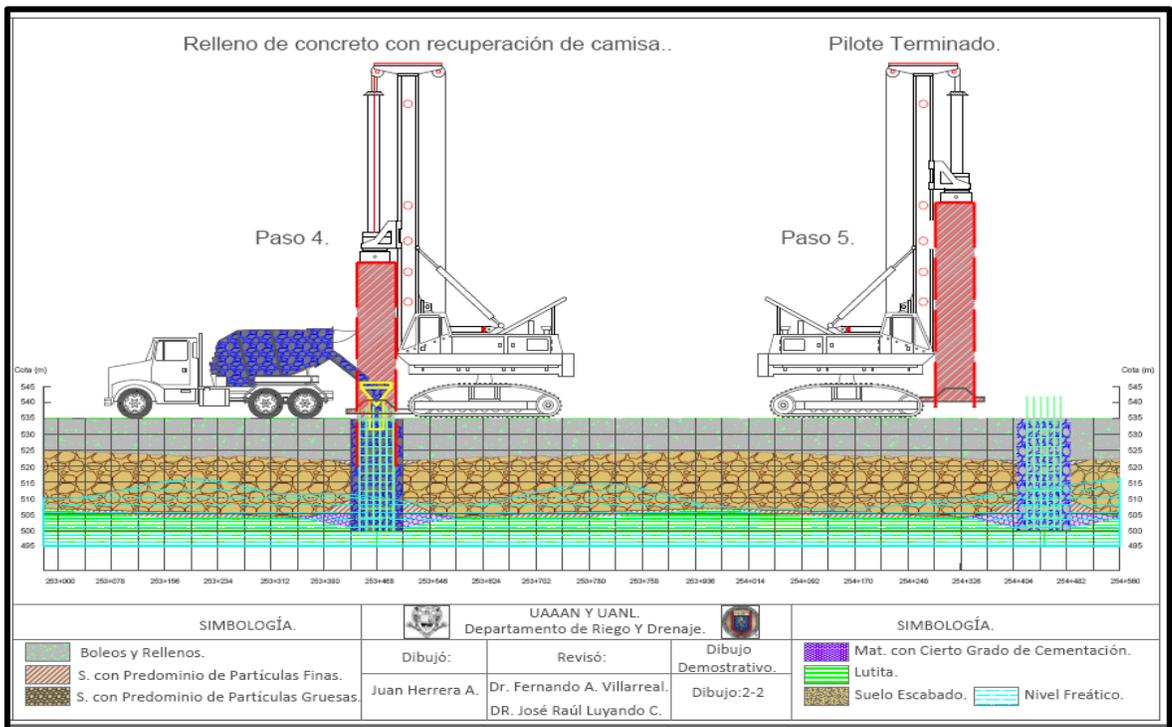


FIGURA 1.9 Procedimiento de pilotaje CPI-4 con entubación recuperable paso 4 y 5

ANTECEDENTES DE ESTUDIOS TÉCNICOS

Planta topográfica de estructuras existentes

Del 21 de octubre al 18 de diciembre del 2010, fueron geoposicionados 109 puntos a lo largo del cauce del río Santa Catarina para enmarcar los planos de referencia de cada uno de los puentes que tienen un efecto de obstrucción del cauce natural del río. Los planos de referencia sirvieron para georreferenciar la nube de puntos X, Y, Z de 24 obstrucciones que fueron escaneados con el sistema Intelligent Laser Ranging and Imaging de Optech, (ILRIS por sus siglas en inglés).

La resolución es de 5cm (± 2 cm) en la mayoría de los casos. Esta información servirá para tener un registro del esqueleto de cada puente, conocer más a fondo su estructura y ubicarla en el contexto del cauce a manera de obstrucción del flujo natural. Los datos sobre dimensiones de las obstrucciones permitirán enriquecer el modelo hidráulico y entender un poco más sobre el efecto que tuvieron durante el huracán Alex.

Geotecnia

Como parte de los trabajos del estudio para la construcción de obras de protección del río Santa Catarina, la Comisión Nacional del Agua – Organismo de Cuenca Río Bravo solicitó al ITESM elaborar un estudio geotécnico en el tramo del río que se encuentra dentro de la zona urbana de la ciudad de Monterrey. El objetivo principal del estudio es determinar las condiciones existentes en el subsuelo para diseñar las obras de protección recomendadas. Se realizaron dos tipos de muestreos: pozos a cielo abierto y sondeos.

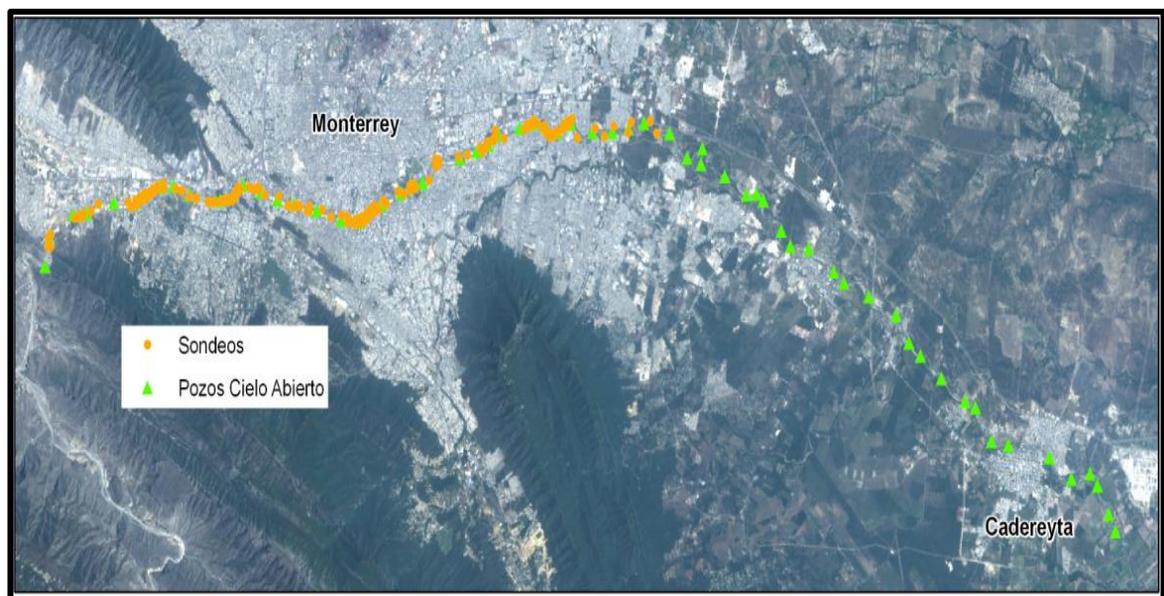


FIGURA 1.10 Estudios realizados por el ITESM, en el río Santa Catarina

Pozos a cielo abierto

En los meses de octubre y noviembre del 2010, de acuerdo con la propuesta del ITESM, se realizaron los pozos a cielo abierto a tres metros de profundidad con una separación aproximada de un kilómetro sobre el eje del río. En cada pozo se tomaron muestras alternadas a cada metro, es decir, hasta tres muestras por pozo. Las muestras se analizaron en el laboratorio para su clasificación y para establecer parámetros de diseño.

Sondeos

Los trabajos de campo se iniciaron en octubre del 2010 y finalizaron en mayo 2011. Los sondeos perforados con equipo rotatorio se programaron en las márgenes del río a cada 500 metros alternados a “tresbolillo”. Para la perforación se utilizaron máquinas perforadoras con brocas tipo bulldog de 4 ½ pulgadas de diámetro y barrenos helicoidales sólidos de 4 pulgadas de diámetro y en algunos casos se colocaron ademes. La profundidad máxima de los sondeos fue de 20 metros aunque, generalmente el estrato de roca se localizó a menor profundidad, el estudio se realizó en las calles (Morones Prieto y Constitución)

Hidrología

Se realizó el estudio hidrológico de la cuenca del río Santa Catarina, definida hasta la estación hidrométrica Cadereyta para determinar las avenidas de diseño para los períodos de retorno de 5, 10, 20, 50, 100, 500 y 1000 años en los sitios correspondientes a la presa Rompe picos; a la entrada de la zona conurbada; en los sitios definidos por las estaciones hidrométricas Monterrey, Los Lermas y Cadereyta. Los períodos de retorno para calcular las avenidas de diseño fueron convenidos y autorizados por el personal de la CONAGUA Organismo de Cuenca Río Bravo.

Se calcularon los gastos o avenidas de diseño para los períodos de retorno de 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 y 1000 años, mediante la modelación del proceso lluvia escurrimiento, para lo cual se delimitó la cuenca del río Santa Catarina, hasta la confluencia con el río Pesquería.

Cabe resaltar que los resultados obtenidos fueron calculados en base a las condiciones actuales de uso de suelo de la cuenca. Cualquier modificación importante de esta condición de la cuenca puede producir diferentes resultados. Para el cálculo de las avenidas para los diferentes períodos de retorno por medio de la modelación lluvia-escurrimiento, se realizó un análisis de frecuencias de lluvias máximas anuales en 24

horas, resultando que la mejor función de distribución de probabilidad que se ajustó a los registros de todas las estaciones climatológicas es la Gumbel Doble (LasSIG-ITESM, 2008).



FIGURA 1.11 Inundaciones del río Santa Catarina con períodos de retorno de 10, 20, 100, 500 y 1000 años

Análisis Histórico

Para esta fase del estudio se emplearon principalmente fotografías aéreas históricas de la Ciudad de Monterrey, se localizaron 4 vuelos con datos adecuados, tres de ellos en los archivos históricos de la Compañía Mexicana de Aerofoto y el último en los archivos del INEGI.



FIGURA 1.12 Vista aérea del centro de Monterrey en el año 1942. Al centro-fondo se observa el Palacio Federal y en primer plano la planicie de inundación del río de Santa Catarina

Los datos de foto se interpretaron para identificar los límites de la planicie de inundación del río y los polígonos obtenidos se sobrepusieron para identificar y cuantificar los cambios.

Límites del cauce del río Santa Catarina, P. Suarez/Cuauhtémoc – Condominios

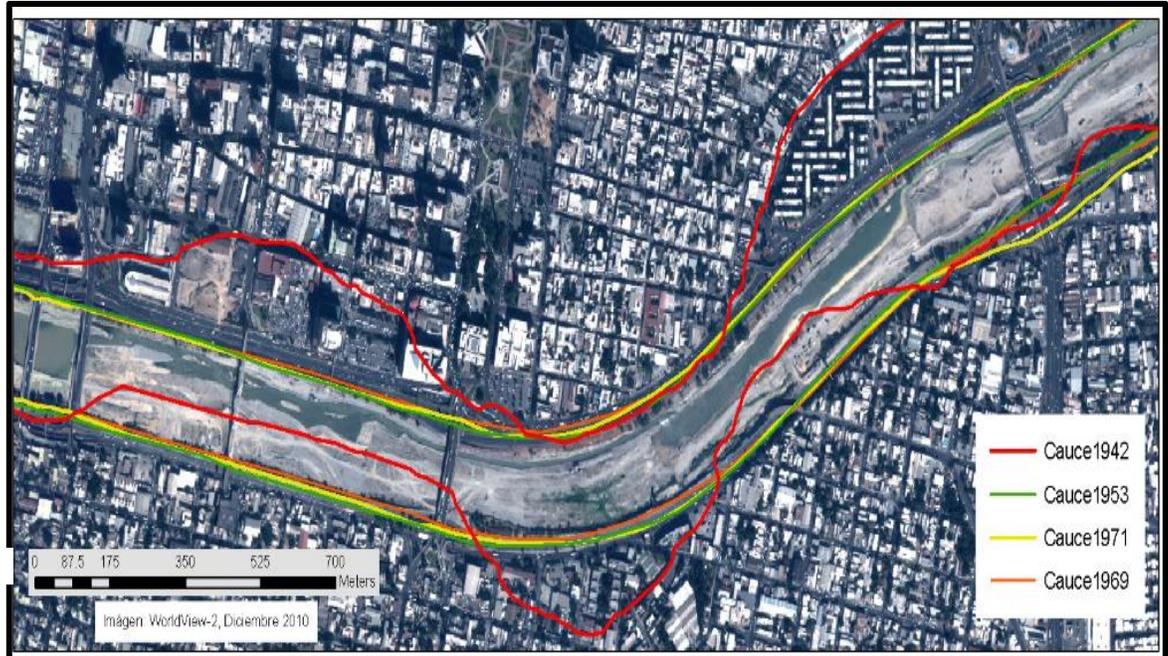


FIGURA 1.13 Planicies de inundación en las cuatro fechas estudiadas

Fisiografía

El área de estudio se encuentra en la provincia de la Sierra Madre Oriental, constituida por una serie de plegamientos con dirección Norte- Noroeste a Sur-Sureste, los cuales sufren una flexión hacia Oeste-Suroeste de Monterrey, Nuevo León, hasta Teziutlán Puebla. Al Oeste de Monterrey, la Sierra Madre Oriental sufre una flexión Este-Oeste y llega al sur de Torreón. A su vez, pertenece a la subprovincia de la gran sierra plegada que se inicia inmediatamente al este de Saltillo, Coah., se flexiona con la integración de un gran arco al sur de Monterrey, N.L. y se prolonga hacia el sur hasta la altura de Ciudad Valles, San Luis Potosí, de tal manera que abarca territorios de los estados mencionados y parte de Tamaulipas. La variación altitudinal fluctúa desde 700 msnm., hasta los 3,400 msnm. En ella dominan las capas plegadas de calizas y lutitas, con prominentes ejes estructurales de anticlinales y sinclinales. La región que se encuentra al este de Saltillo y al sur de Monterrey, se conoce como anticlinorio de Arteaga (INEGI, 1986).

Geología

Las rocas más antiguas de la Sierra Madre Oriental son esquistos del precámbrico. Hay afloramientos de arenisca y asociaciones de areniscas y lutitas intercaladas, pertenecientes al triásico. Del jurásico superior hay afloramientos masivos de calizas de yeso y de yeso asociado con caliza. Además afloran lutitas y varias asociaciones de calizas y lutitas areniscas.

Los cuerpos de rocas ígneas intrusivas (ácidas e intermedias) que afectan a rocas sedimentarias mesozoicas son del terciario. También pertenecen a esta edad los conglomerados que se encuentran a las márgenes de la Sierra Madre Oriental. Además, hay depósitos de conglomerados y rellenos aluviales del cuaternario. Las principales estructuras de la Sierra Madre Oriental están constituidas por pliegues anticlinales y sinclinales, afectados por grandes fallas de tipo normal y numerosas fallas inversas (cabalgaduras) que han trocado las secuencias normales de depósito. Además, hay varios cuerpos de depósito instructivos que han afectado a las secuencias mesozoicas de la Sierra Madre Oriental en diversos puntos (Murillo Sánchez, 2002).

Hidrología Subterránea

Debido al gran desarrollo industrial y urbano que ha ocurrido en la zona metropolitana de Monterrey existe actualmente una gran demanda de agua para consumo industrial y humano. Este recurso es de escasa disponibilidad en Nuevo León debido a sus condiciones climáticas y a la irregularidad de la temporada de lluvias, lo que resulta en una reducida recarga de acuíferos. La ciudad de Monterrey efectúa la explotación de agua subterránea más importante de la región hidrológica Río Bravo. El monumento natural “El Cerro de la Silla” está compuesto casi en su totalidad por materiales consolidados con bajas posibilidades de producción de agua, con base en la cartografía del INEGI; los otros dos tipos de materiales son los consolidados con posibilidades medias y los no consolidados con posibilidades altas.

Hidrogeología

El sistema acuífero de Monterrey es relativamente sencillo donde intervienen varias unidades hidrológicas de diferentes ambientes de depósitos que interactúan, para conformar, bajo el esquema actual de explotación una sola unidad hidrogeológica que

funciona como un acuífero libre. En toda la zona el sistema está constituido por un acuífero contenido de lutitas alteradas, conglomerados y sedimentos aluviales que funcionan como libre y que tienen como base de lutitas sana.

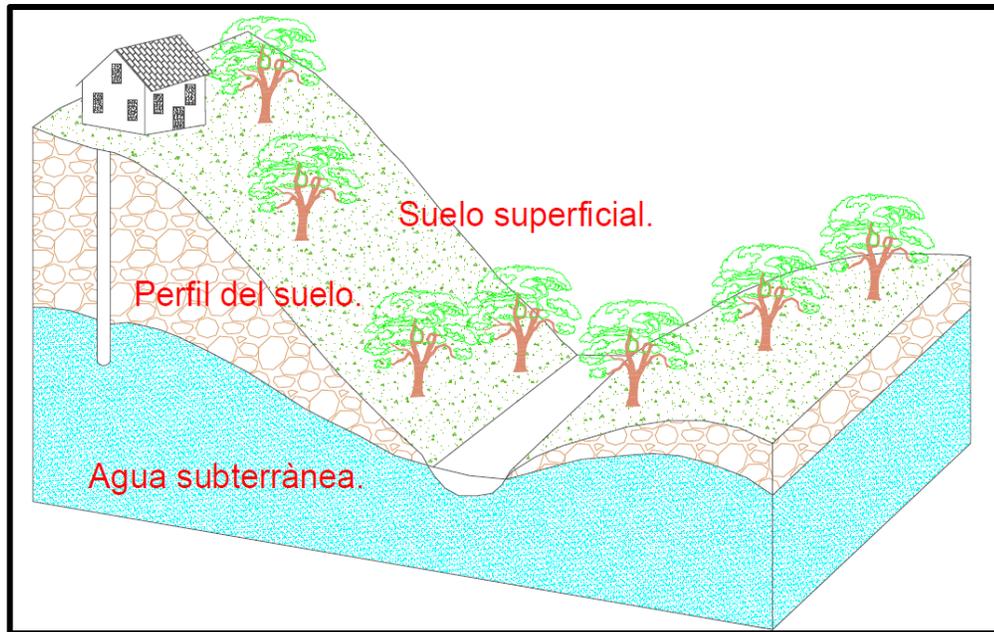


FIGURA 1.14 Acuífero no confinado o libre

Sedimentos Aluviales

Los sedimentos aluviales están constituidos por tres unidades: sedimentos fluviales de llanuras de inundación y suelos residuales que cubren las partes topográficamente más bajas del valle. Los sedimentos fluviales están principalmente constituidos por gravas y arenas depositados a lo largo de las corrientes principales del río Santa Catarina, Topo Chico, Pesquerías y Salinas.

Los depósitos de llanura de inundación están constituidos por sedimentos arcillo-arenoso, los suelos residuales están compuestos por arcillas de color café y negro, producto de la alteración de las lutitas del cretácico superior, se presentan en pequeños espesores que varían de un m a cinco m.

Cálculo de caudal máximo

Cálculo de la velocidad y gasto que conduce el río Santa Catarina con la ecuación de Manning y Chezy.

Ecuación de Chezy

$$V = C\sqrt{RS} \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Donde:

V: velocidad en m/s

C: factor de resistencia de Chezy

R: radio hidráulico m

S: pendiente del canal m/m

Ecuaciones utilizadas

Estimación del factor de resistencia de Chezy, se obtuvieron en forma experimental algunas ecuaciones que permiten estimar el valor de la **C de Chezy** entre la ecuación de Basin y Manning.

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \quad \text{Ecuación 1.2 Manning.}$$

Donde:

n; Coeficiente n de Manning (rugosidad).

R: radio hidráulico m

La siguiente tabla nos da valores de “n” estimados, estos valores pueden ser refutados, con investigaciones y manuales, sin embargo no dejan de ser una referencia para el diseño.

Tabla 1. 5 Valores de rugosidad "n" de Manning

n	Superficie
0.010	Muy lisa, vidrio, plástico, cobre
0.011	Concreto muy liso
0.013	Madera suave, metal, concreto frotachado
0.017	Canales de tierra en buenas condiciones
0.020	Canales naturales de tierra, libres de vegetación
0.025	Canales naturales con alguna vegetación y piedras esparcidas en el fondo
0.035	Canales naturales con abundante vegetación
0.040	Arroyos de montaña con muchas piedras

Fuente: Autoridad Nacional del Agua, 2010.

Ecuación para calcular R (radio hidráulico)

$$R = \frac{A}{P} \quad \text{Ecuación 1.3}$$

Donde.

A: Área hidráulica en m²

P: Perímetro de mojado en m

Ecuación Área

$$A = bd + md^2 \quad \text{Ecuación 1.4}$$

Donde:

b: base m

d: altura m

m: talud

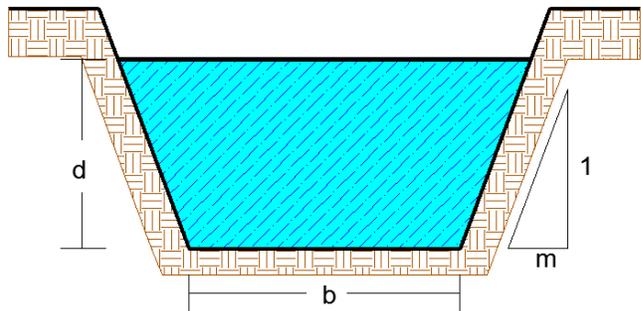


FIGURA 1. 15 Simbología de canal Trapezoidal.

Ecuación para calcular p (perímetro de mojado)

$$P = b + 2d\sqrt{1 + m^2} \quad \text{Ecuación 1.5}$$

Donde:

b: base en m

d: altura en m

Cálculos de gasto máximo y velocidad del río Santa Catarina

La pendiente (S) se calculó bajo el siguiente modelo:

Perfil del terreno

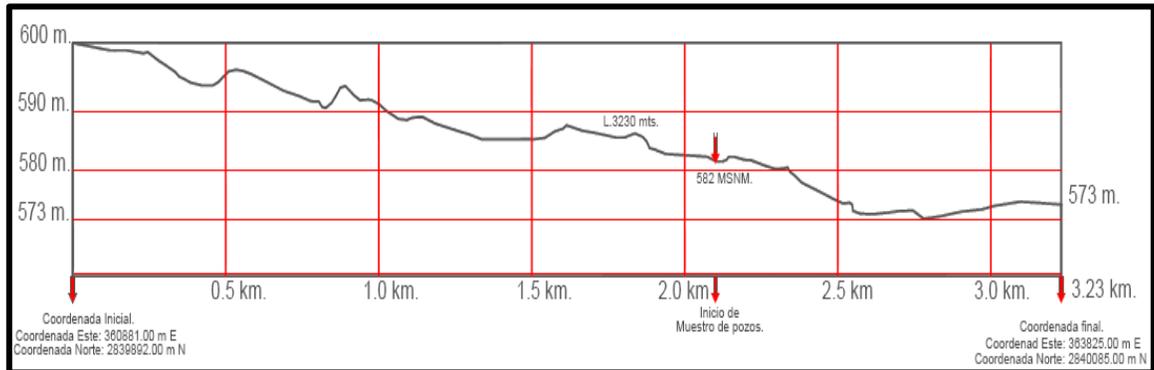
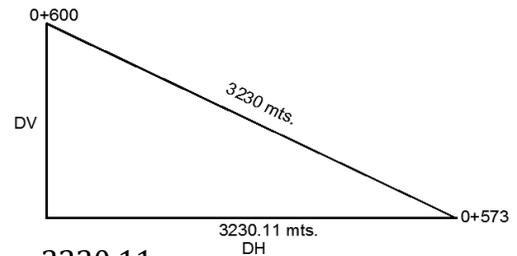


FIGURA 1.16 Perfil del terreno de estudio, se consideró 2000 mts, aguas arriba para calcular una pendiente que representara el cauce del río Santa Catarina

Fórmula para sacar la pendiente

$$S = \frac{Dv}{Dh} \text{ Ecuación 1.6}$$



$$DH: \sqrt{(3230)^2 + (27)^2} = 3230.11 \text{ m}$$

$$DV: 600 - 573 = 27 \text{ m}$$

Pendiente del terreno

$$S = \frac{27}{3230.11} = 0.00835$$

Cálculo de área hidráulica

$$A = 75 * 6 + 2(6)^2 = 522 \text{ m}^2$$

En la siguiente figura se muestran los datos recabados en campo con GPS, a lo ancho del río, la medida promedio fue de 75 m, de ancho con una altura media de 6 m. La figura muestra una longitud de 167 m pero esos datos son hasta donde anteriormente se encontraba el cauce, debido a la mancha urbana cada vez se va reduciendo el ancho del cauce.



FIGURA 1.17 Perfil de ancho del río Santa Catarina

Nota: Los datos (d y b) fueron tomados en el río Santa Catarina con GPS, lo que hace que se presente una desviación en la exactitud. Son valores aproximados.

Cálculo de perímetros de mojado

$$P = 75 + 2(6)\sqrt{1 + (2)^2} = 101.83 \text{ m}$$

Cálculo de radio hidráulico

$$R = \frac{522}{101.83} = 5.12 \text{ m}$$

Cálculo de C de Chezy

$$C = \frac{1}{0.025} (5.12)^{\frac{1}{6}} = 52.51$$

Ver **Tabla 1.3** valores de rugosidad página 41. $n=0.025$

Velocidad del agua en el canal Santa Catarina, Monterrey Nuevo León

$$V = 52.51\sqrt{(5.12) * 0.00835} = 10.85 \text{ m/s}$$

Cálculo de gasto del Río Santa Catarina, por la fórmula de Manning

$$Q = \frac{1}{n} * S^{\frac{1}{2}} * R^{\frac{2}{3}} * A \quad \text{Ecuación 1.7}$$

$$Q = \frac{1}{0.025} * 0.00835^{\frac{1}{2}} * 5.12^{\frac{2}{3}} * 522 = 5672.34 \text{ m}^3/\text{s}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la construcción de esta obra se crearon las condiciones para poder reducir el grado de erosión que genera el cauce del río.

El Muro tipo Berlín anclado en materiales consolidados protege la infraestructura urbana aledaña a los márgenes del río, así mismo disminuye la velocidad del agua y el impacto que ésta genera al tener contacto con la avenida Morones Prieto y la avenida Constitución (Figura 1.49).

Como resultado de este proyecto y apoyado en los 21 sondeos que realicé en el río Santa Catarina en las coordenadas anteriormente descritas deduzco que:

- El perfil superficial 0-13 m lo conforman materiales no consolidados como gravas, arcillas y material de acarreo en general.
- Se encuentra un acuífero superficial libre a una profundidad de 13 a 19 m.
- El perfil del suelo es un material no consolidado.
- En el tercer perfil se encuentra un material consolidado que, dado al grado de dureza y sus análisis podría deducir que es una lutita calcárea como se muestra la figura 1.42

La infraestructura hidráulica de Monterrey constantemente se ve amenazada como ya lo describí en la revisión de literatura cada 5 o 10 años, y cada vez que se presentan daños por escorrentía se ve afectada la estructura ocasionando que se inviertan millones de pesos para su rehabilitación. La metodología no es nueva, sin embargo no se había efectuado porque no existían las tecnologías para generar anclajes en medio saturado no consolidado ni los concretos con aditivos impermeables y de rápido secado.

Dicha estructura está preparada para soportar el peso de la masa de agua de $5528 \text{ m}^3/\text{s}$ a una velocidad promedio de 10 m/s como máxima avenida en un cambio de dirección de 164 grados en el inicio de la primera curva, posteriormente presenta un cambio de dirección más brusco a 500 m con un Angulo de 53 grados de dirección, como se presenta en la figura 1.61 al término de este trabajo no se ha presentado debido a que la frecuencia de ocurrencia es de 20 años.

Es fundamental este tipo estudio ya que se puede aplicar a todas las obras hidráulicas para riego como la construcción de un talud de bombeo en las orillas de los ríos.

Por otro lado, el tipo de perforación no puede ser una perforación de soplado con fluidos, sino que tiene que ser una perforación pilotoera. Dado al resultado de mis puntos de observación:

- Se requiere perforar casi penetrado por que los materiales que conforman el perfil del río no presentan resistencia mecánica.
- La perforadora pilotoera antes no existía, se comenzó a utilizar desde 1932 para hacer las bases de los edificios pero era una máquina de percusión la que realizaba dicha labor.
- En la actualidad se utiliza la pilotoera con dado y espiral donde el peso de la máquina recarga sobre el Kelly, aplicándole el peso sobre el espiral también llamado tornillo, en materiales no consolidados.
- Los materiales presentes en el acuífero se extraen adecuadamente con un dado debido a que la presión de rotación es menor a las 3000 libras por pulgada cuadrada.
- La velocidad de perforación con este sistema es muy alta ya que se requieren grandes diámetros de hasta 40 pulgadas y pueden operar los dados o ademes para el vaciado del concreto.

Dadas las figuras que muestro en el anexo (Figura 1.18 a 1.41), describo el perfil del suelo que existe en el acuífero que encontré y en base a eso, concluyo que es necesario hacer una obra civil hidráulica en medio saturado y en medio no consolidado el cual se conforma sólo por rellenos como bolos, gravas, arenas, limos y arcillas, los cuales son considerados como material anular, tal como se muestra en cada uno de los sondeos que efectué.

CONCLUSIONES

Se evaluó la resistencia de concreto y la estructura por el método de resonancia magnética dando un valor máximo al del material donde se fijó la estructura 1730 Bar.

Es una obra de protección de infraestructura, con una hipótesis de funcionamiento que podrá ser evaluado al 100 % de su poder erosivo de la velocidad de la afluyente cuando este se presente 3/20 años.

El diseño de este monolito cumplió con la especificación de amarre y sostén, los concretos actuaron en contra de la presión hidrostática del acuífero y el material impermeable evitó la disolución del portland.

En base a la estratificación del suelo y su consistencia, como se muestra en la figura 1.20 y 1.43, anteriormente era imposible estructurar un cuerpo rígido de esta naturaleza en un medio saturado, y actualmente la construcción de pilotes “IN SITU” son un medio adecuado y seguro de darle resistencia a un muro que enfrente el impacto por encima de las 1500 Bar (como se muestra la tabla 1.4).

La geología presentada en el área de estudio del río Santa Catarina, exhibe una estructura no consolidada, que oscila entre los 13 y los 20 metros de profundidad, motivo principal de este estudio.

Esta obra civil hidráulica empleada como protección de la infraestructura urbana (calles, puentes y edificios etc.), servirá para el sostenimiento de un talud de canal trapezoidal en un medio saturado. Se concluye que el método utilizado es adecuado porque el concreto fraguó y la obra se estructuró con resistencia suficiente y de forma adecuada.

Este procedimiento o mecanismo de construcción es lo último en tecnología en perforación y fluidos de concreto.

RECOMENDACIONES

Los ingenieros agrónomos con la especialidad en irrigación no estamos exentos de la de ingeniería civil hidráulica, ya que en este trabajo aprendí que somos capaces de inferir en dicha área. Por esta razón, y dada la problemática de que, en los distritos de

riego el 70 % de su infraestructura sólo es montada en suelos compactados (CONAGUA 2014), sobre materiales no consolidados y en donde lo único que se presenta estructurado es la cortina, generando enormes gastos económicos recomendando que se hagan estudios y perforaciones más profundas, a fin de crear estructuras más rígidas y de menor mantenimiento en canales trapezoidales para reducir costos tanto en los distritos de riego como en el área de pequeña irrigación.

Considero que en las materias optativas de nuestra especialidad es necesario que se actualice el diagrama de flujo del aprendizaje, ya que las herramientas y métodos que se han generado en los últimos 20 años (perforadoras piloteras y fluidos de concreto), son fundamentales, no solamente de agua potable ni agua para riego, sino perforaciones de pozos con fines de obra hidráulica civil que nos pueden abrir la puerta a un área más grande como irrigadores, para dar lugar a la construcción de obras más interesantes como presas y canales de mayor resistencia en el área agrícola.

LITERATURA CITADA

- Autoridad Nacional del Agua. (2010) 1 edición pag. 13. Lima. Disponible en <http://www.ana.gob.pe/media/389716/manual-dise%c3%B1os-1.pdf>
- Auvinet G. y Romo (1998) Deep Excavation in México City soft Clay, Invited Presentation, ASCE, Boston. 1998.
- Auvinet, G., Notas del seminario de elementos finitos para ingenieros geotécnicos, división de estudios de posgrado, facultad de ingeniería, UNAM. México 1997.
- Berga, L. (2007), El papel de las presas en la mitigación de las inundaciones, Revista Ingeniería civil, edición N°144, p.7-13 (accesos 6 de enero 2017) disponible en: http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_articulo/Ingcivil/2006_144_1.pdf
- Berry. P.L y Reid. D (1993). Mecánica de Suelos. Mc Graw-Hill, México 1993 disponible en <https://es.scribd.com/doc/106256748/mecanica-de-suelos-peter-berry>
- Bielza F., A., manual de técnicas de mejora del terreno, edit. Carlos López Jimeno, Madrid, España, 1999.
- Bustamante, M. y Frank, R. (1999), “Current French Practice for Axially Loaded Piles”, Ground Engineering, March, 38-44.
- CENAPRED 2010. Centro Nacional Para Prevención de Desastres, México.
- Chávez Rodrigo. D. (1988). Control de comportamiento de edificios cimentados con pilotes de control. Licenciatura. Instituto tecnológico de la construcción. Disponible en: http://infonavit.janium.net/janium/TESIS/Licenciatura/Chavez_Rodriguez_David_44650.pdf
- Ciencia FCI. Revista de Divulgación Científica y Tecnológica, Facultad de Ingeniería Civil. (2010) 1 ed. Monterrey, Nuevo León, México. Pedro Leobardo Valdez Tamez y Gerardo Fajardo San Miguel. P. 6 disponible en: <http://fic.uanl.mx/wp-content/uploads/2013/07/Ciencia-FIC-1004.pdf> (acceso 10 feb. 2017)
- Cimentaciones especiales. (2010) CIMENTATEC. Recuperado 28 de febrero 2017, disponible en: http://www.cimentatec.com/serv_pilotes_01.html
- CONAGUA. C. (2007). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, 1 edición Coyoacán, México, D.F. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales Acceso (28-01-2017)
- CONAP, (2014) Monumento Natural el Cerro de la Silla. México D.F. Comisión Nacional de Área Naturales Protegidas. PP. 20-21.

COVITUR, manual de diseño geotécnico V-1, departamento de distrito federal, COVITUR, 1987.

Ejercicios de canales. Es. Slideshare. Net. Obtenido el 2 de abril del 2017, de <https://es.slideshare.net/leodanrey/ejercicios-de-canales-canales>

FODEN. (2012) El Fondo de Desastres Naturales de México.

González, G. R. (1973). La lluvia en Monterrey, Nuevo León. Estudio cronológico y probabilístico, Boletín Bimestral de la división de Ciencias Agropecuarias y Marítimas de ITSM.

Guerrero Aguilar A. (2010). Historia de las lluvias y el rio Santa Catarina, (Blog) Cronista de la ciudad de Santa Catarina disponible en <http://ciencias1.aprenderapensar.net/?p=624> (acceso 12 feb. 2017.)

INEGI, Síntesis geográfica del Estado de Nuevo León, México, Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Informática, 1986.

Informes de la Construcción Vol. 13 # 121 (1960). Consejo superior de Investigaciones Científicas 1 ed., 1-3. Obtenido de [file:///C:/Users/Hp/Downloads/5187-9036-1-PB%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Hp/Downloads/5187-9036-1-PB%20(1).pdf)

Juárez Badillo J. Y Rico Rodríguez A. Mecánicas de suelos, segunda edición LIMUSA Editores, Tomo II, Teoría y aplicación de la mecánica de suelos, México D.F. 1993.

Lab SIG-ITESM. (2008).Albers.mty.itesm.mx. Obtenido 18 de marzo del 2017, de <http://albers.mty.itesm.mx/proyectos/riosantacatarina/indexstacatarina.html>

Martínez Loen. R. (2000) Estudio Hidrológico de la cuenca Arroyo Guaymas con énfasis en el desarrollo urbano, licenciatura universidad de sonora.

Murillo Sánchez. M. (2002) Estudio del efecto del cambio de uso de suelo en el escurrimiento en la subcuenca 24 Bf. "Monterrey" Aplicando un sistema de información Geográfica. Maestro en ciencias. INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY. DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.

Yepes Piqueras, V. (2015). Pilotes Perforados de camisa recuperable. Pilote CPL-4, Poliblogs. Disponible en. <http://victoryepes.blogs.upv.es/2015/01/30/pilotes-perforados-decamisa-recuperable-pilote-cpi-4/> acceso (30-01-2017).

Yepes Piqueras. V. (2015) Pilote CPI-4, Poli Blogs. Obtenido de <http://victoryepes.blogs.upv.es/tag/pilote-cpi-4/>

ANEXOS

Tabla 1.6 Perforación de petróleo y de gas natural. E. M. SOLOVIOV Editorial Moscú.

Clasificación de las rocas según su dureza												
Categorías de las rocas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
DUREZA Mpa	Menor de 100	100 - 250	250 - 500	500 - 1000	1000 - 1500	1500 - 2000	2000 - 3000	3000 - 4000	4000 - 5000	5000 - 6000	6000 - 7000	Mayor de 7000

Mpa = MEGA PASCALES = 10^6 Pascales
 1 MCA = 9806.65 Pascales
 MPA = 101.97 MCA = 145 Psi
 La categoría Número 1 rompe a 14,500 psi
 La categoría número 12 rompe a 1'015,000 psi = 71,330 kg/Cm²

Tabla 1.7 Clasificación de los materiales para perforación y su presión de corte.

Material	Presión de corte (Bar)
Suelo	50
Rudaseas	200
Yeso	500
Arenisca	1000
Caliza Roca Sedimentaria	1500
Esquisto Pizarra Roca Metamórfica	2000
Granito Roca ígnea Plutónica (Feldespatos y Mica)	2500
Cuarcita Roca Metamórfica Cuarzo	3000
Mineral de Hierro o Roca Férrica	4000
Diamante	5000

1000 Bar = 1 tonelada /cm²



FIGURA 1.18 Perfil en Google Earth del área de estudio considerando 2000 mts aguas arribas

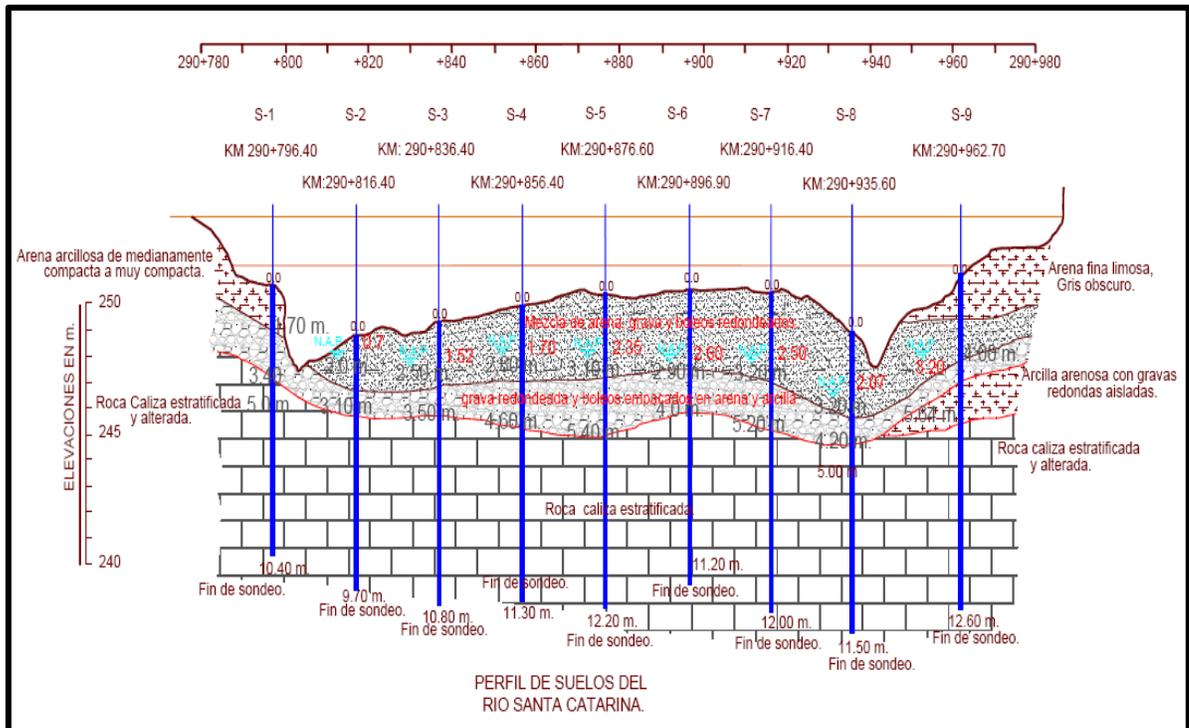


FIGURA 1.19 Perfil de suelo río Santa Catarina año 1965. Propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil, por Bernardo Flores Salazar Tesis profesional

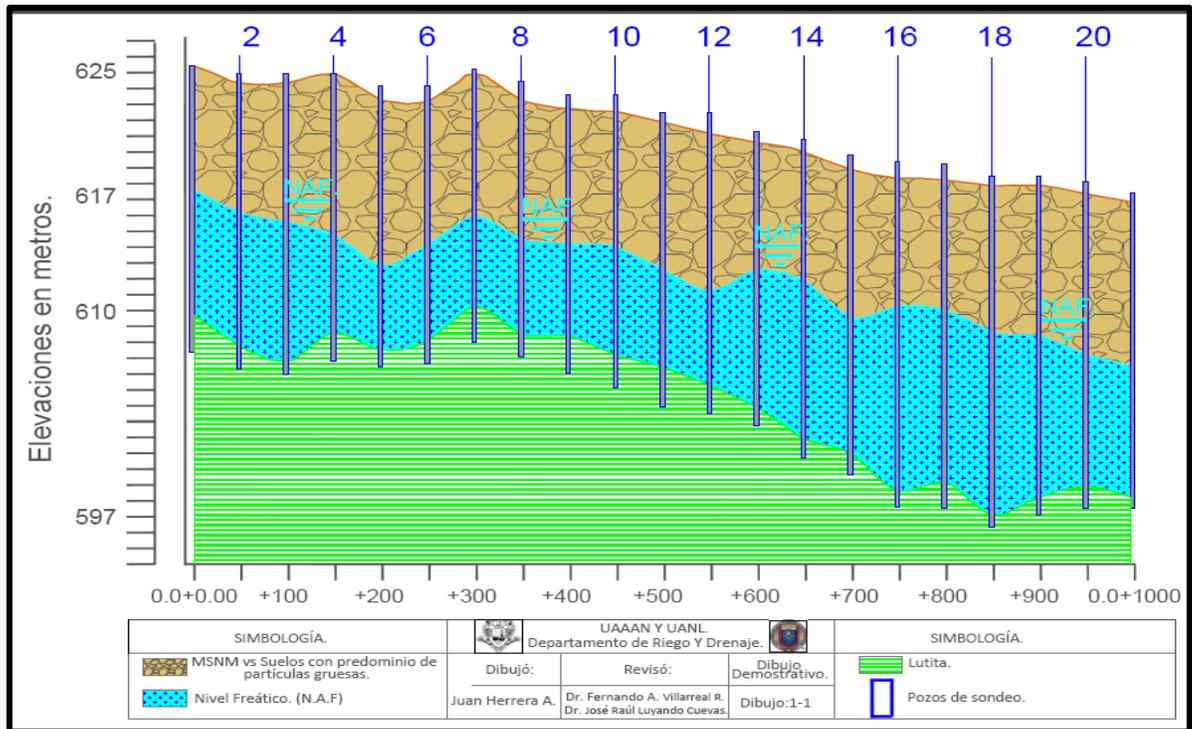


FIGURA 1.20 Perfil de suelo del río Santa Catarina año 2016, propiedad de Universidad Autónoma de Nuevo León y Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por Juan Herrera Aguilar

Sondeos. Realizados en una longitud de 1000 m a cada 50 m en el río Santa Catarina con un total de 21 pozos.

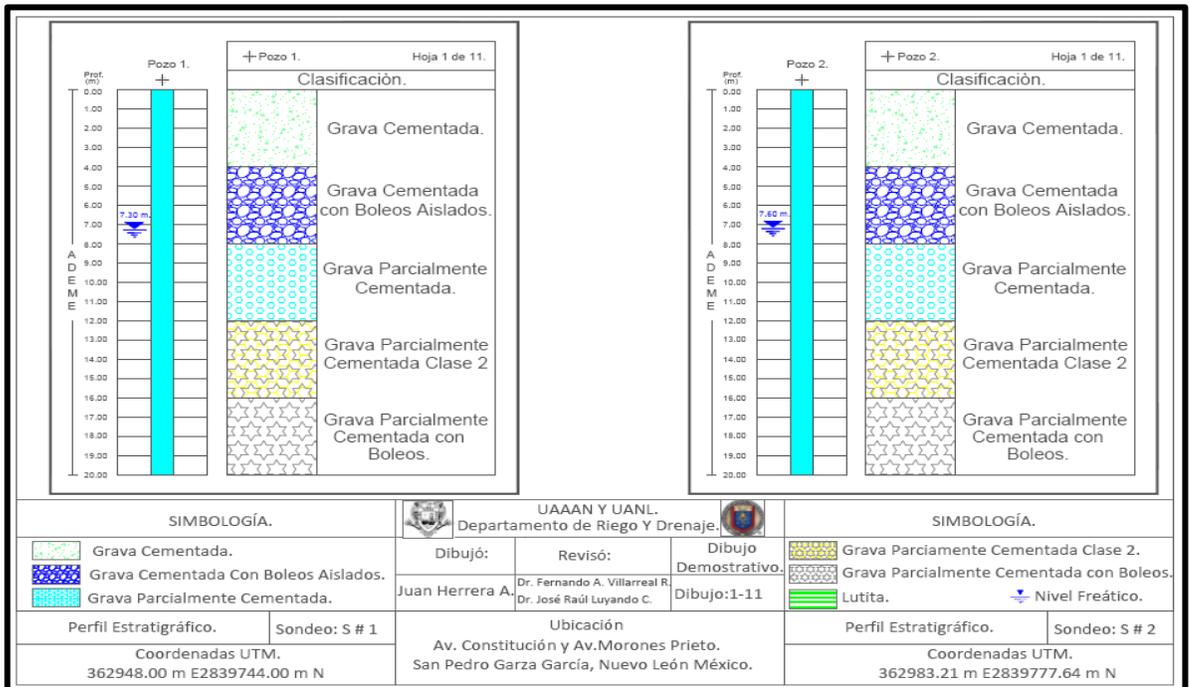


FIGURA 1.21 Sondeo 1 y 2 del río Santa Catarina

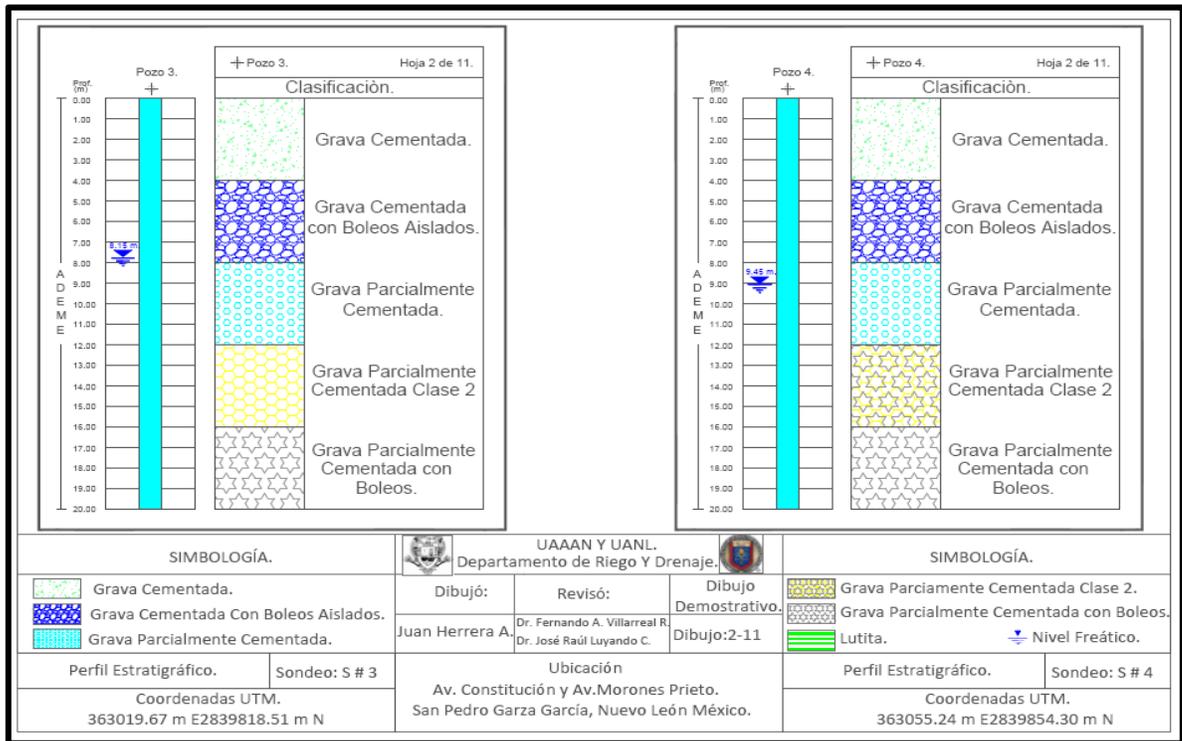


Figura 1.22 Sondeo 3 y 4 del río Santa Catarina

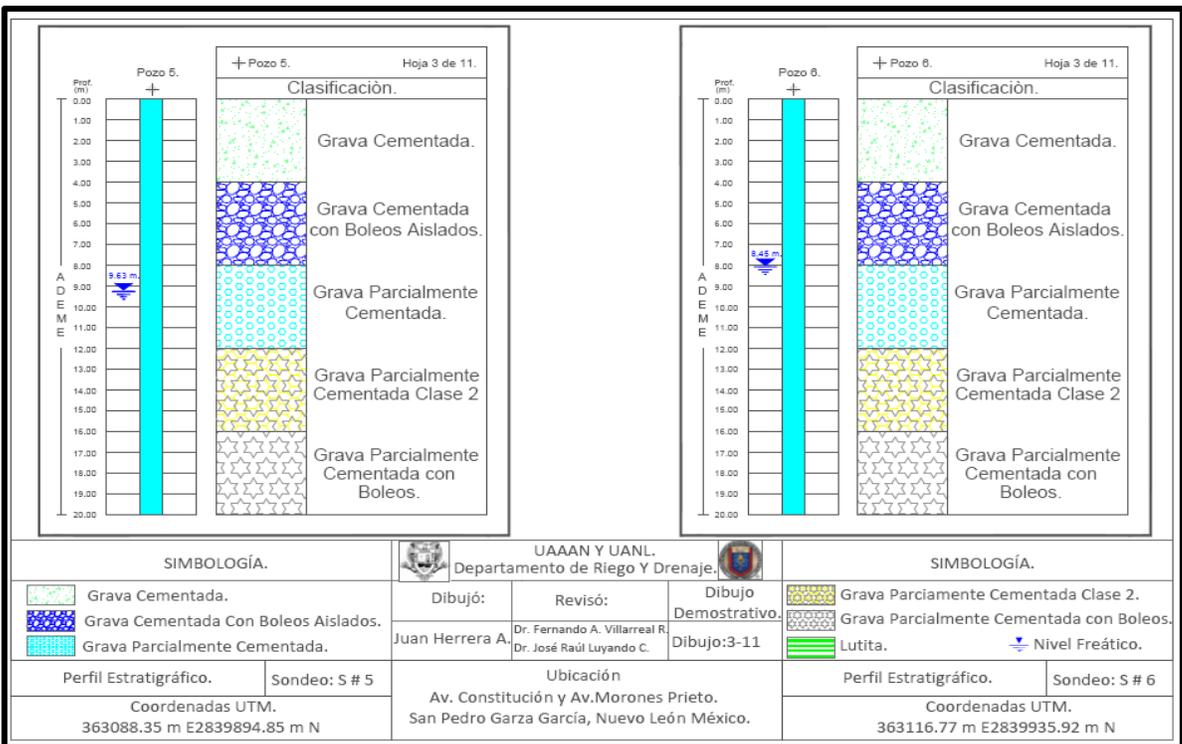


Figura 1.23 Sondeo 5 y 6 del río Santa Catarina

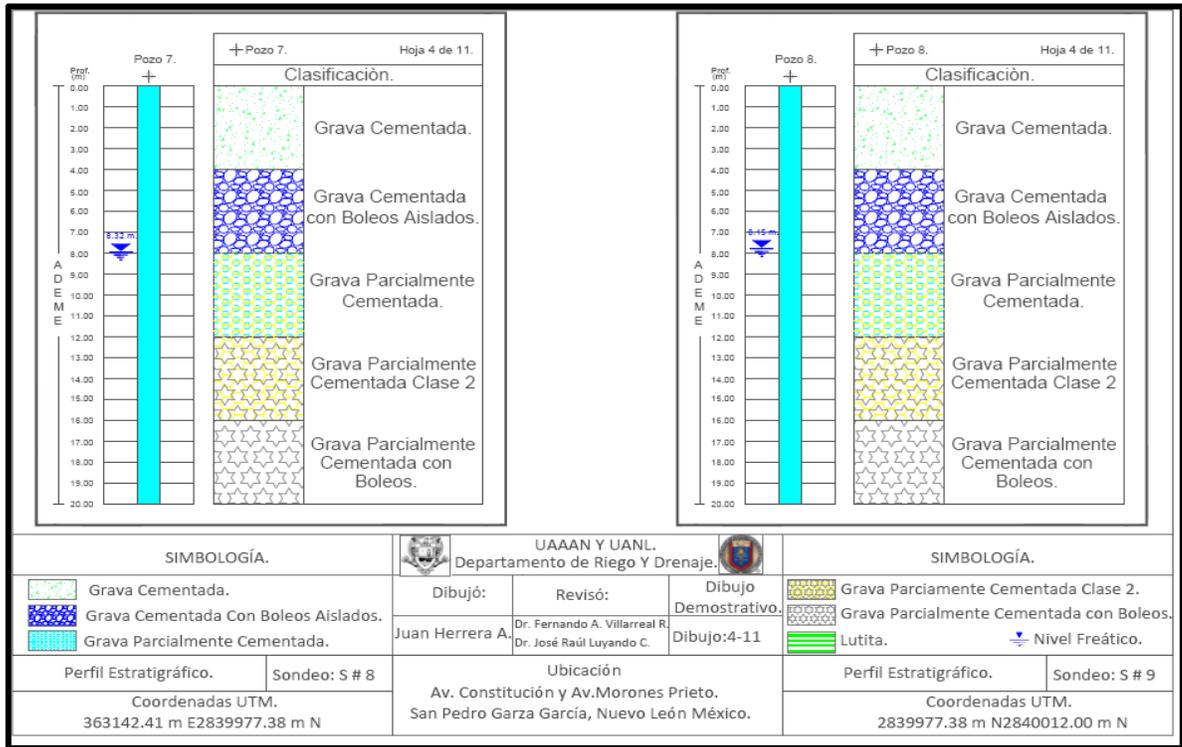


Figura 1.24 Sondeo 8 y 9 del río Santa Catarina

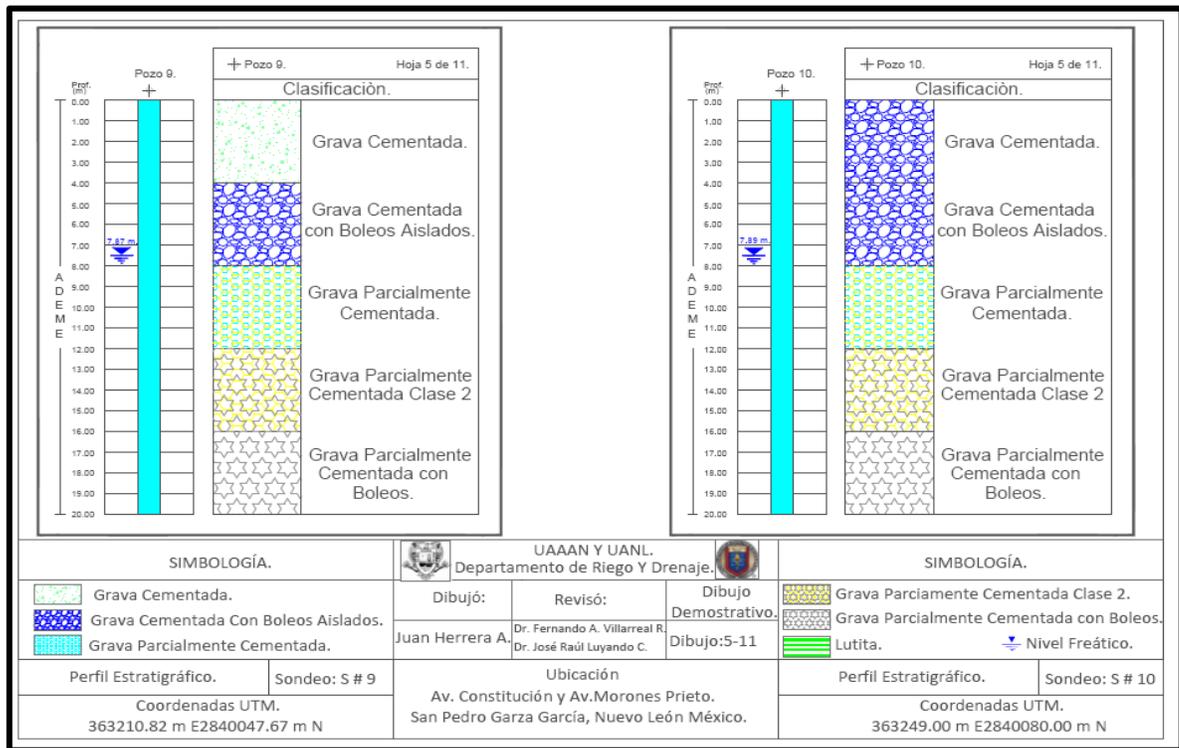


Figura 1.25 Sondeo 9 y 10 del río Santa Catarina

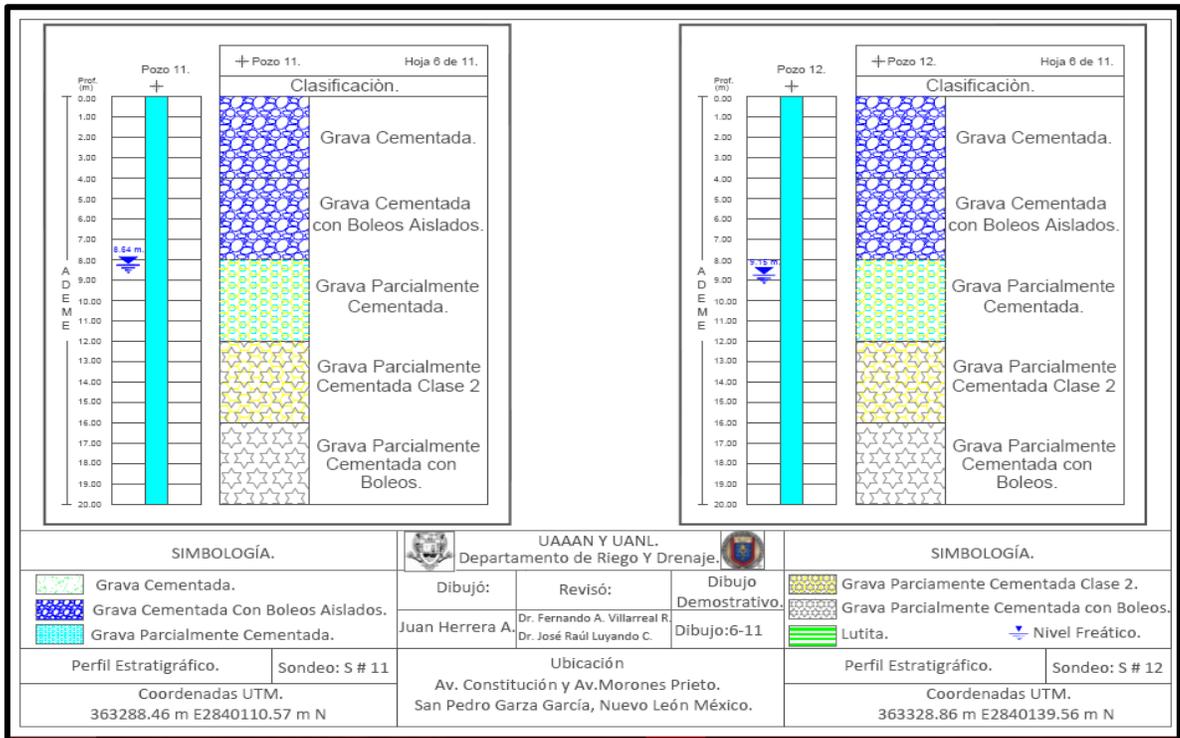


Figura 1.26 Sondeo 11 y 12 del río Santa Catarina

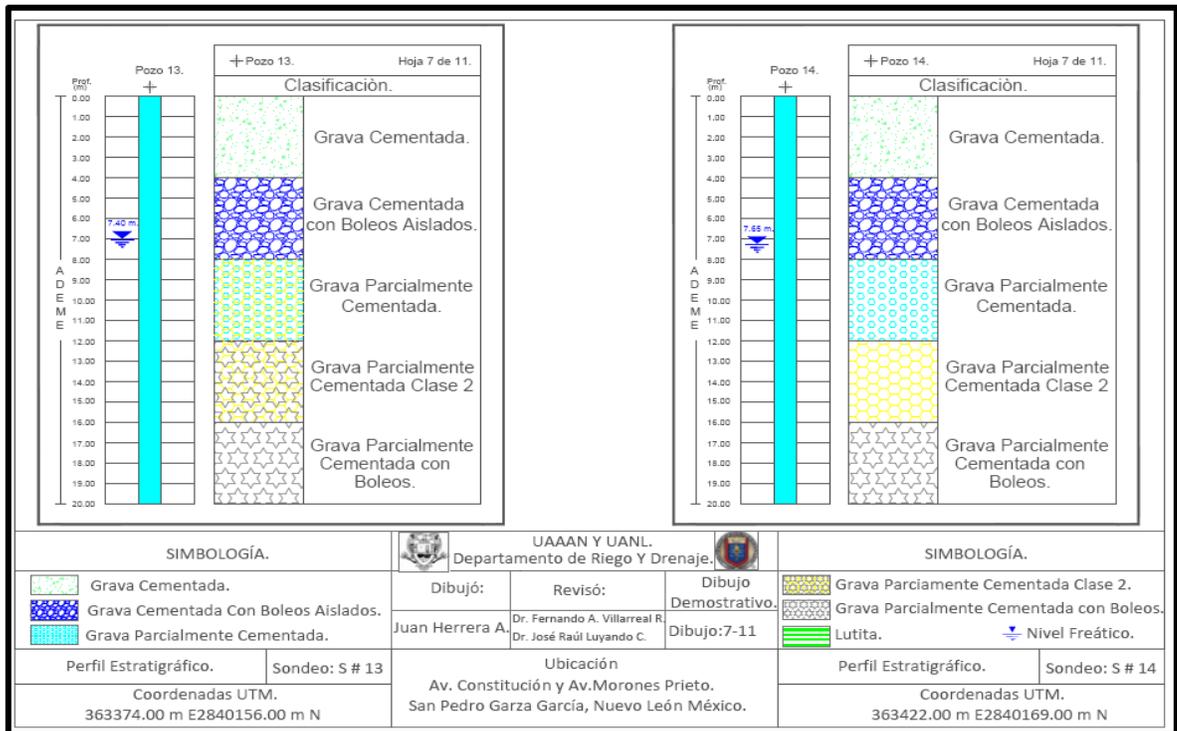


Figura 1.27 Sondeo 13 y 14 del río Santa Catarina

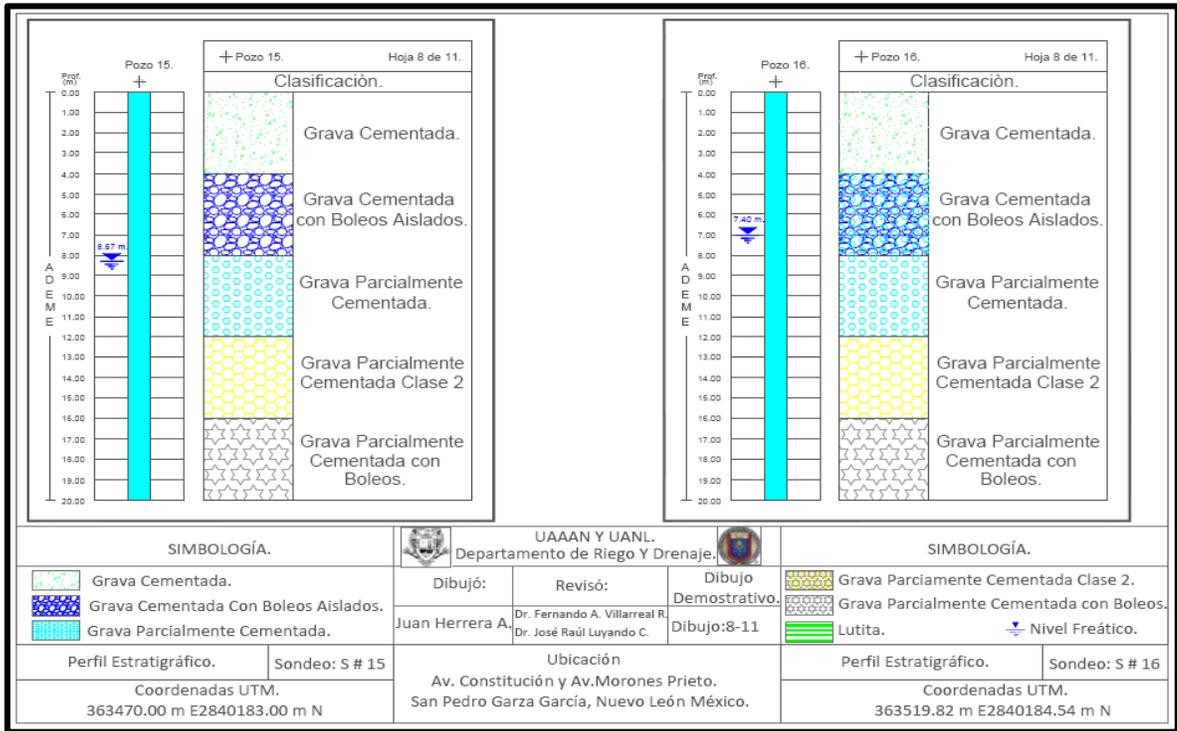


Figura 1.28 Sondeo 15 y 16 del río Santa Catarina

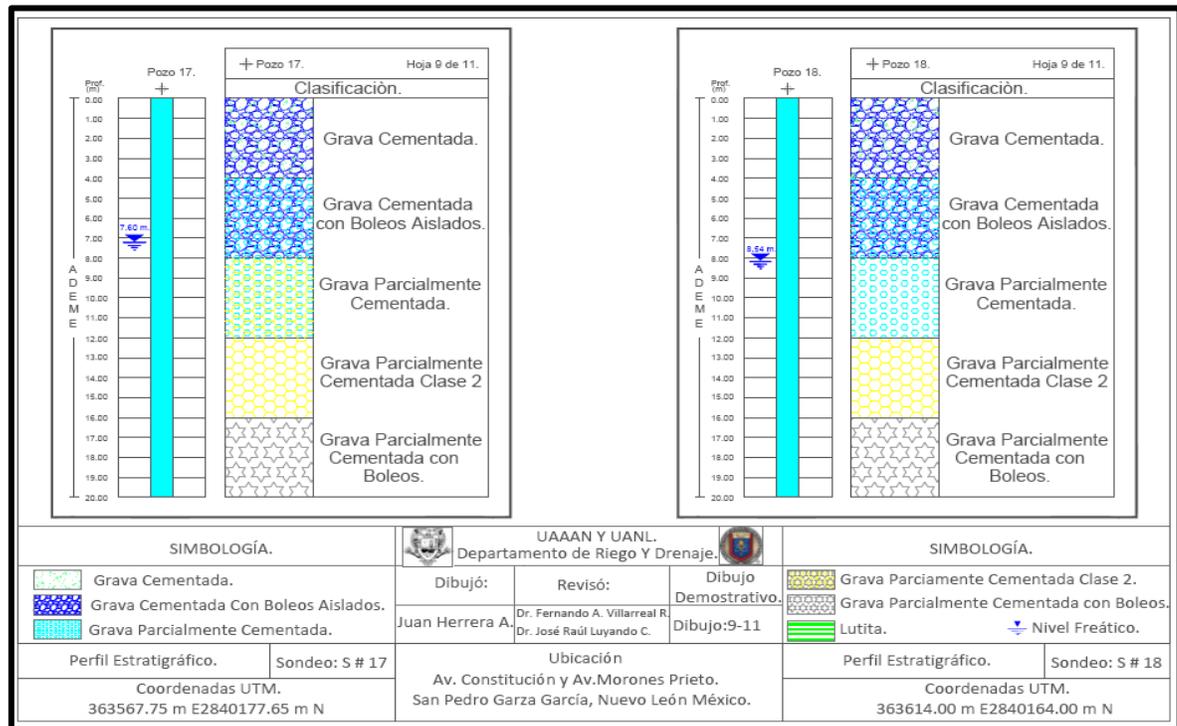


Figura 1.29 Sondeo 17 y 18 del río Santa Catarina

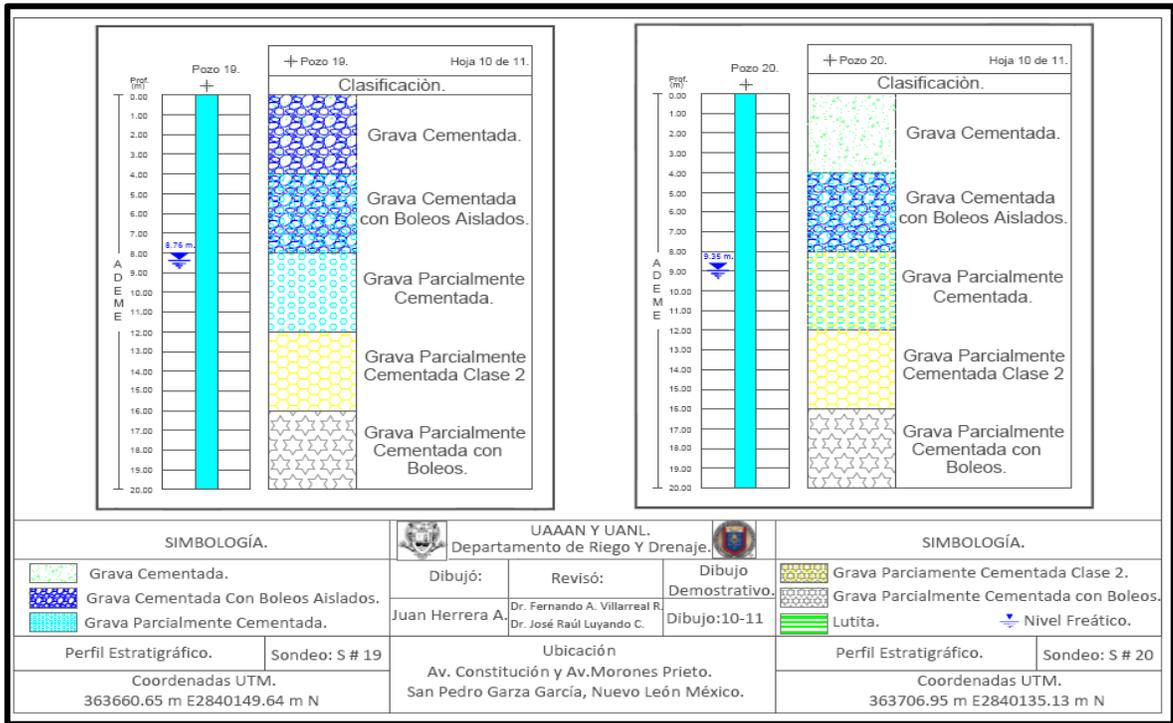


Figura 1.30 Sondeo 19 y 20 del río Santa Catarina

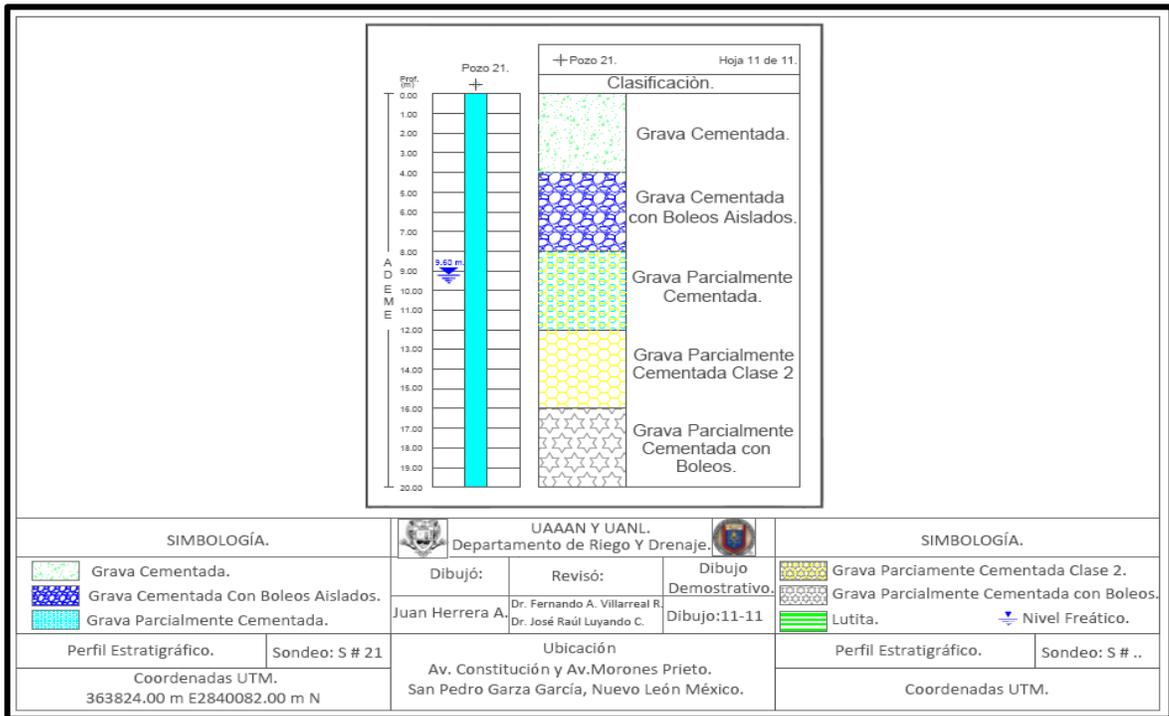


Figura 1.31 Sondeo 21 del río Santa Catarina

SPM Presiones Menard

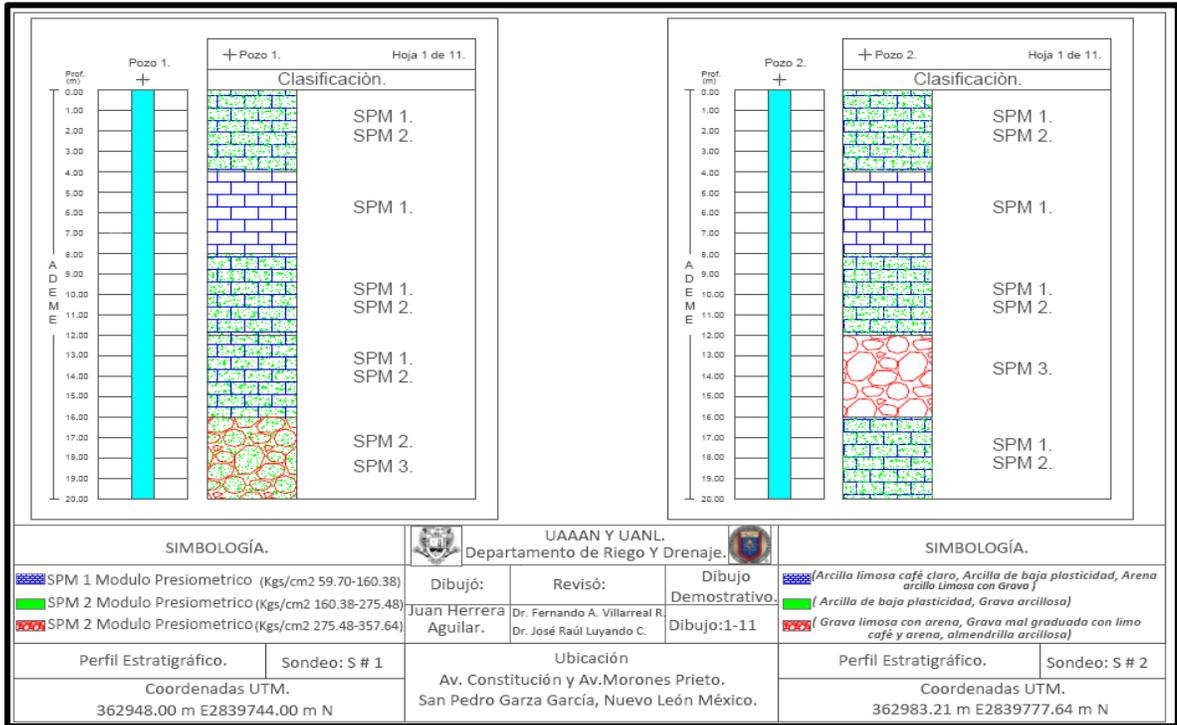


Figura 1.32 Presiones realizadas en el área de estudio. Por el método de Menard pozo 1 y 2

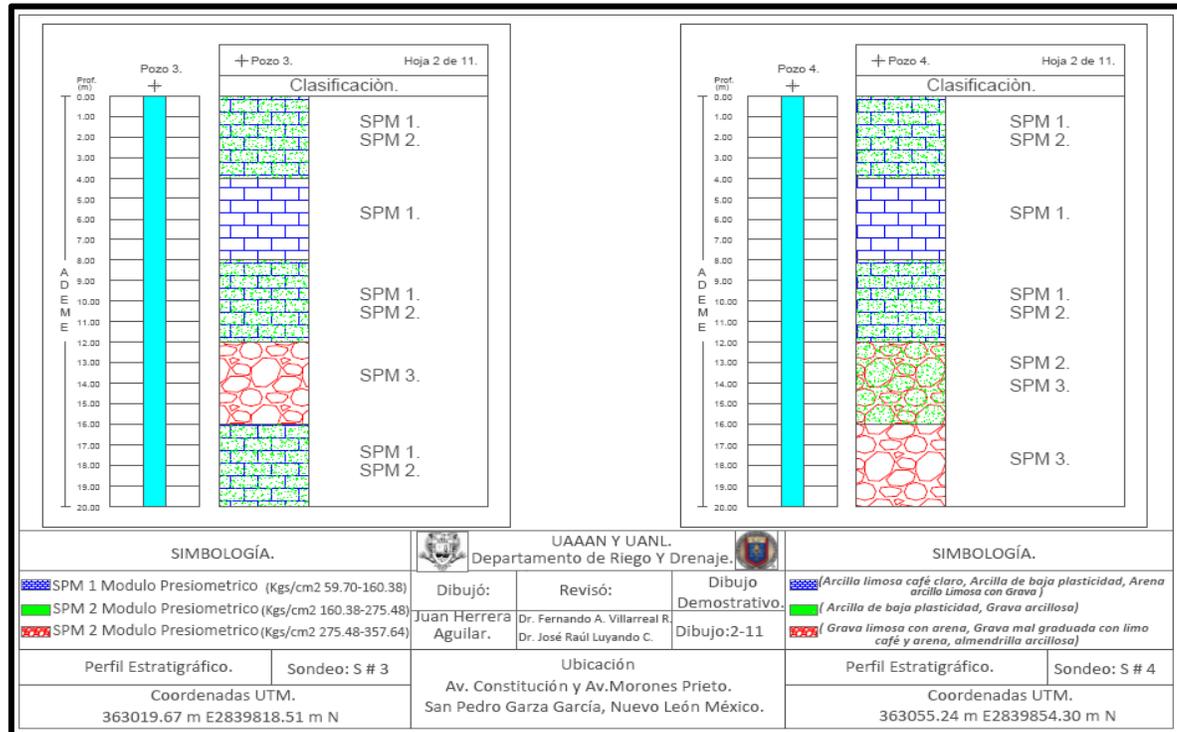


Figura 1.33 Presiones realizadas en el área de estudio. Por el método de Menard pozo 3 y 4

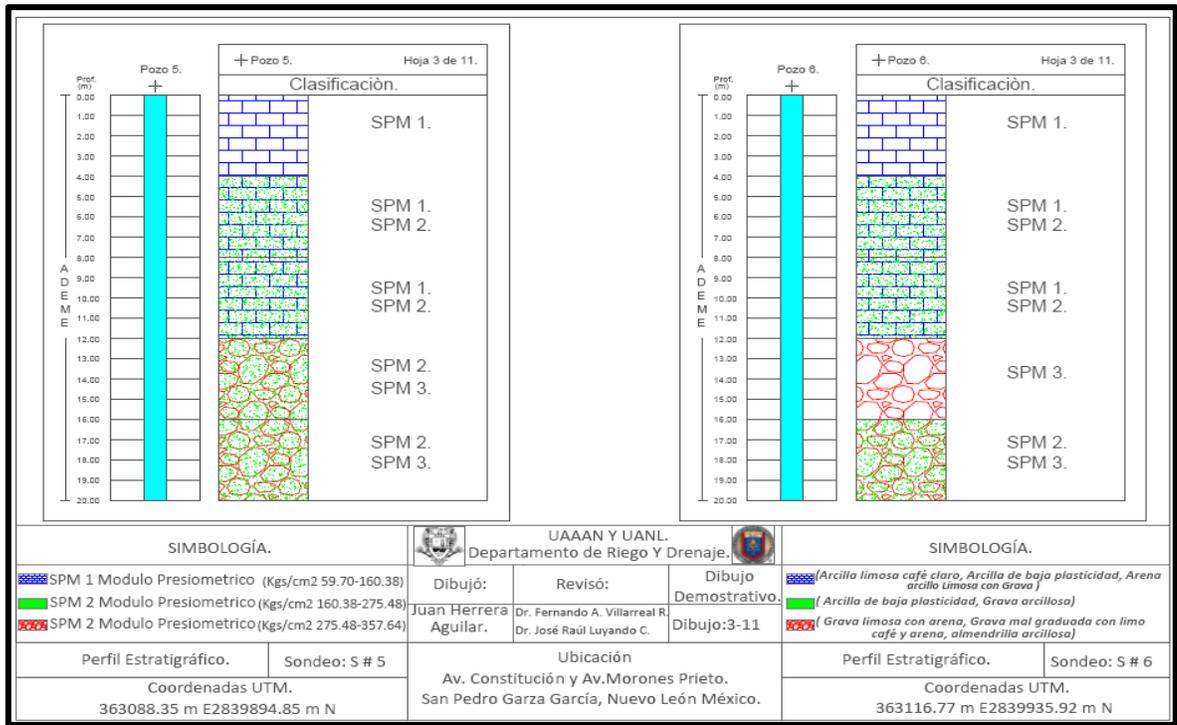


Figura 1.34 Presiones realizadas en el área de estudio por el método de Menard pozo 5 y 6

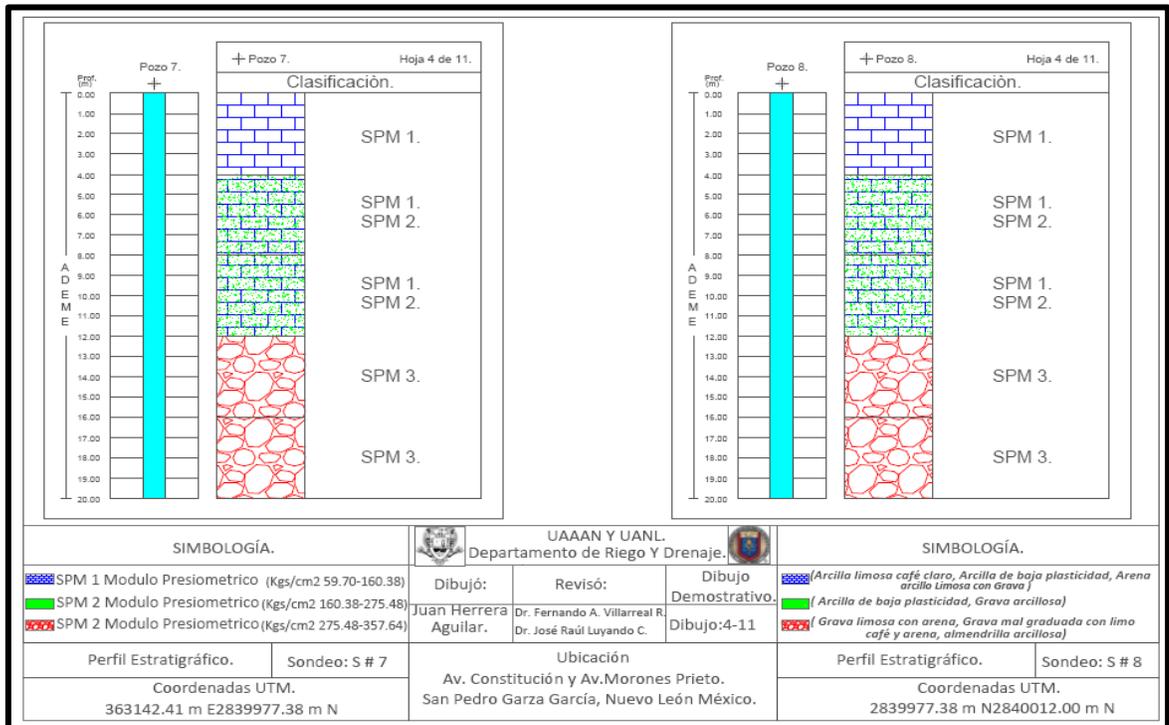


Figura 1.35 Presiones realizadas en el área de estudio por el método de Menard pozo 7 y 8

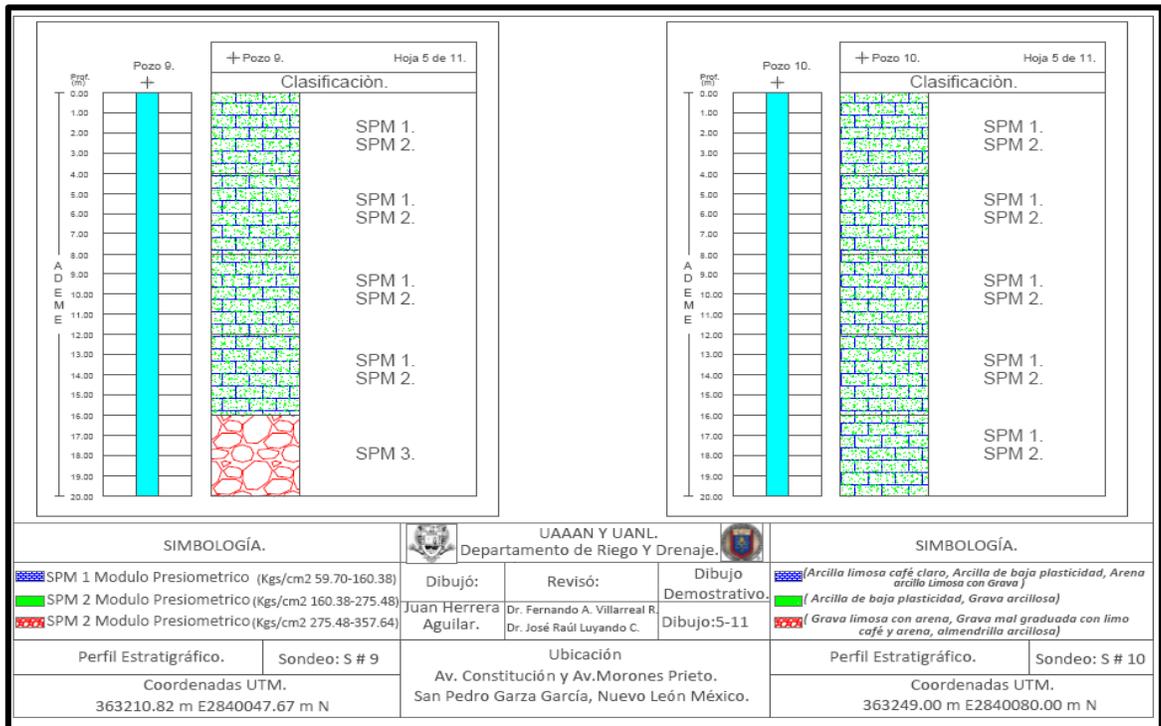


Figura 1.36 Presiones realizadas en el área de estudio por el método de Menard pozo 9 y 10

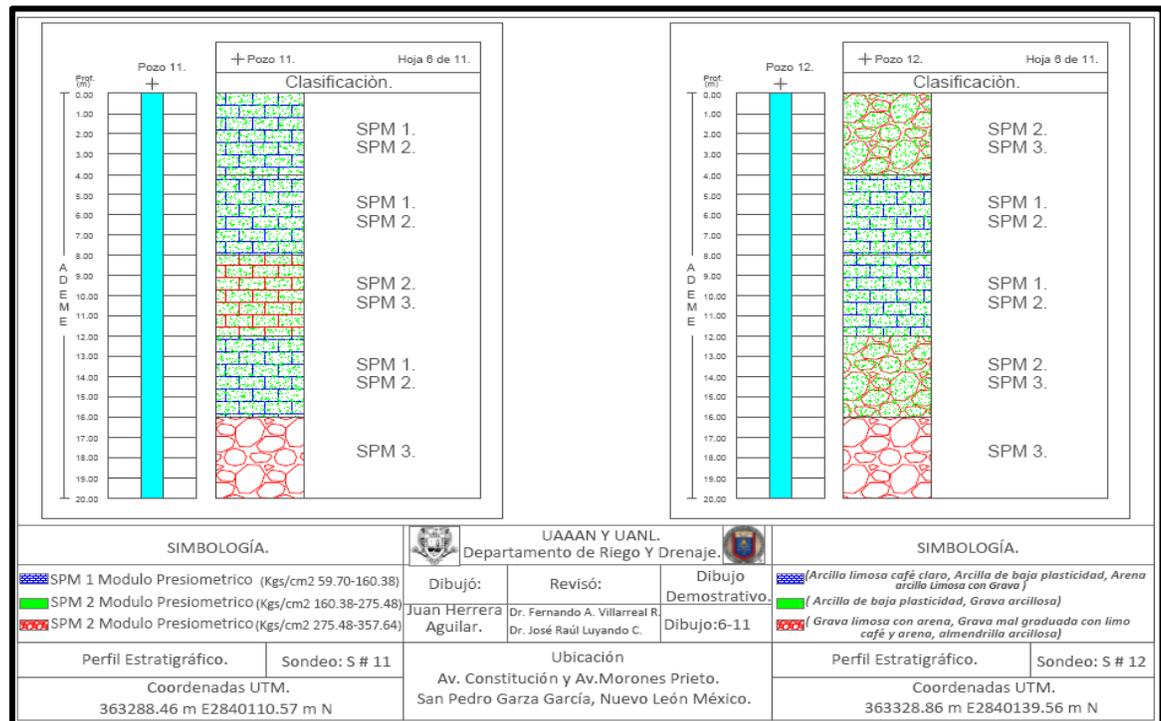


Figura 1.37 Presiones realizadas en el área de estudio por el método de Menard pozo 11 y 12



Figura 1.38 Presiones realizadas en el área de estudio por el método de Menard pozo 13 y 14

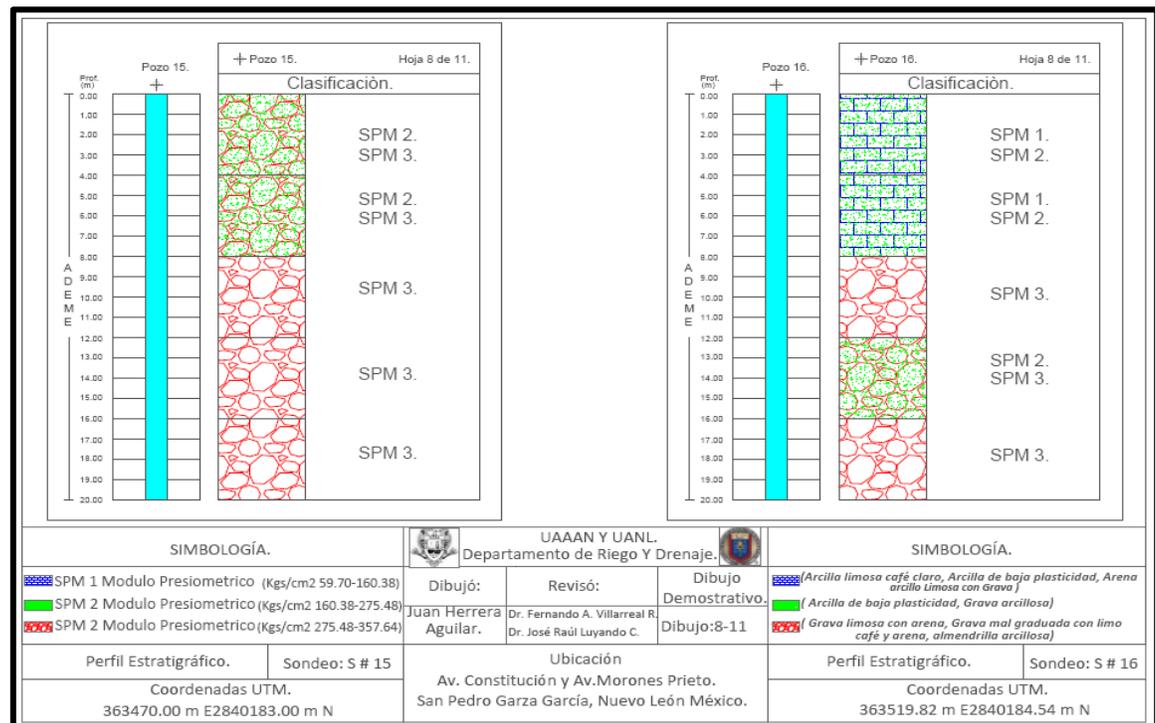


Figura 1.39 Presiones realizadas en el área de estudio por el método de Menard pozo 15 y 16

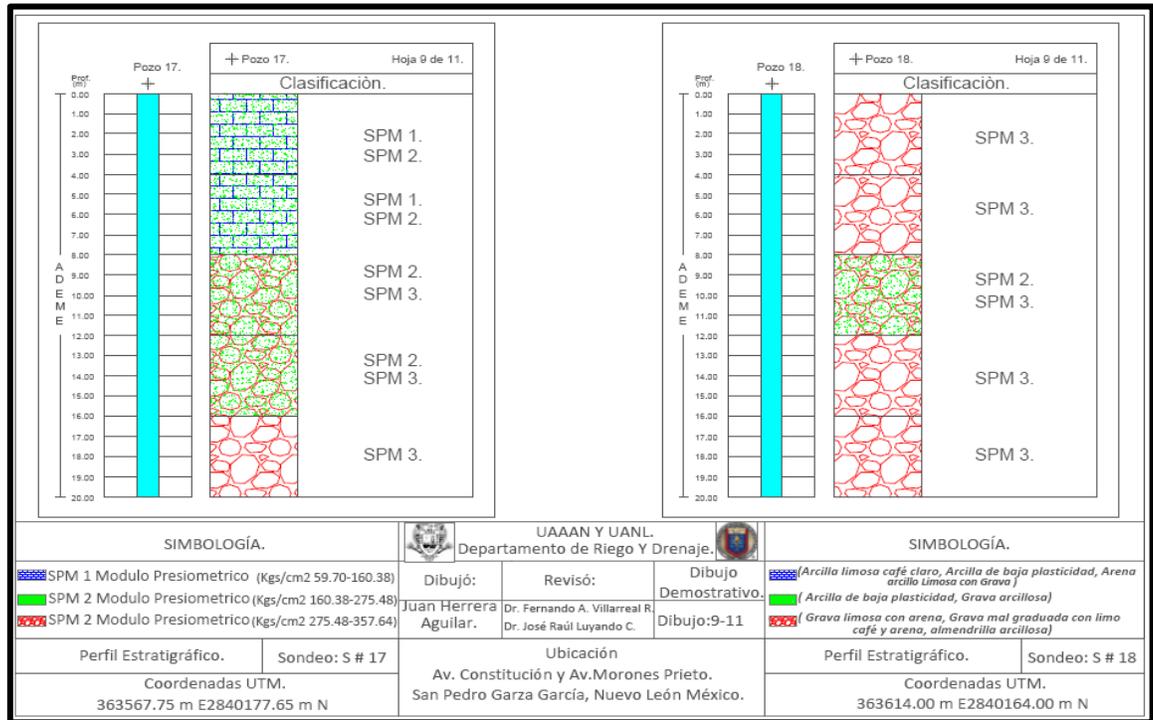


Figura 1.40 Presiones realizadas en el área de estudio por el método de Menard pozo 17 y 18

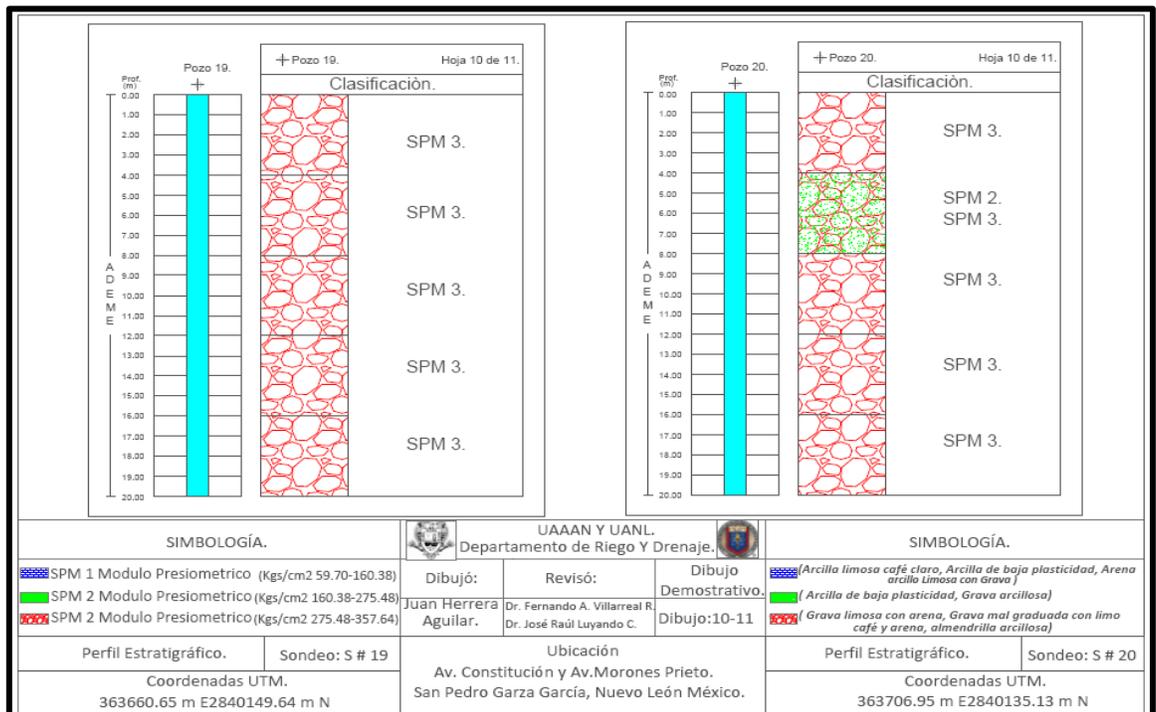


Figura 1.41 Presiones realizadas en el área de estudio por el método de Menard pozo 19 y 20

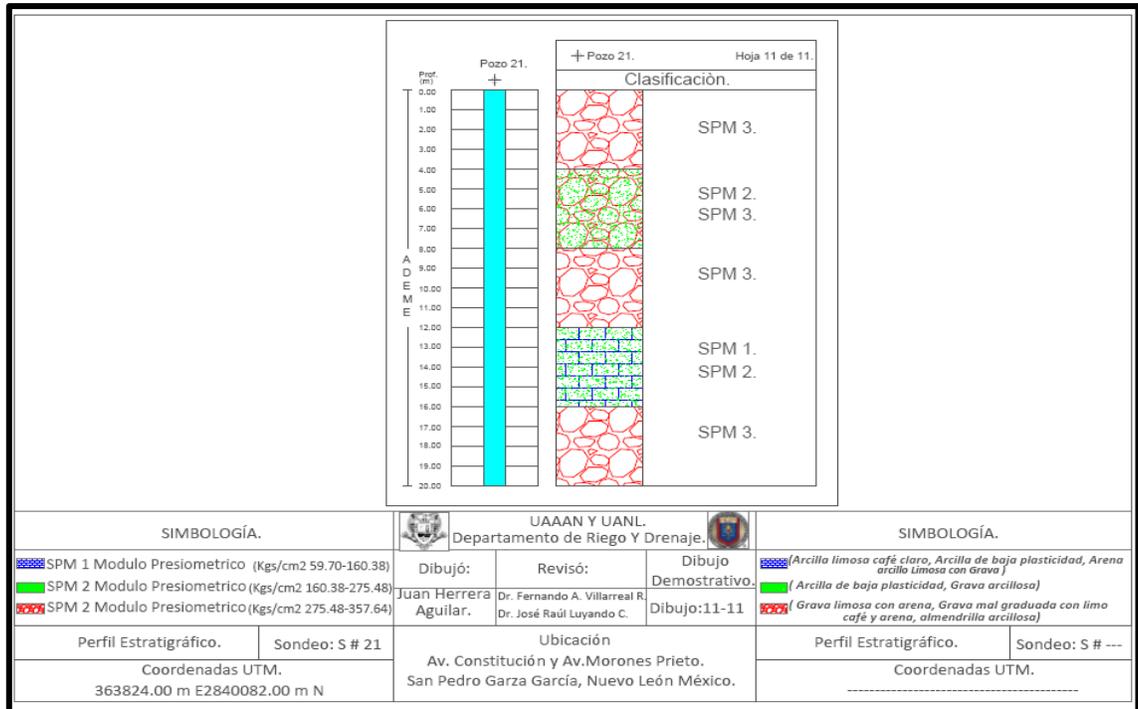


Figura 1.42 Presiones realizadas en el área de estudio por el método de Menard pozo 21

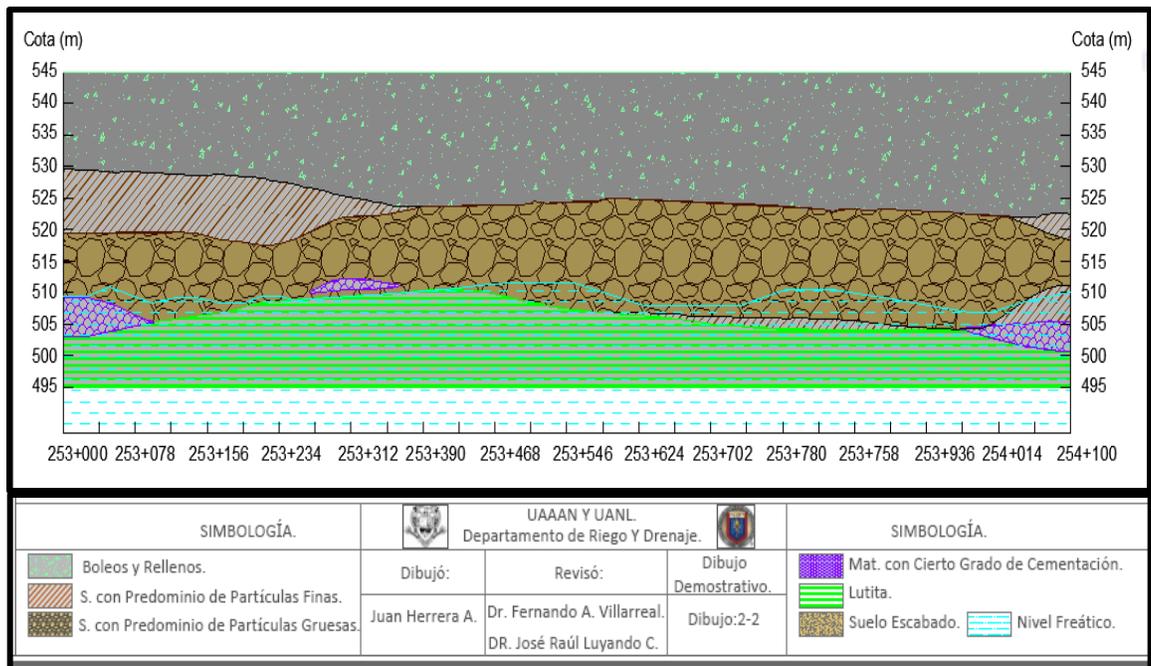


Figura 1.43 Perfil de suelo en el río Santa Catarina presentando un suelo consolidado como es la lutita y a la vez suelos no consolidados como son boleos y rellenos

Modelación de Pilote IN SITU en 3 D

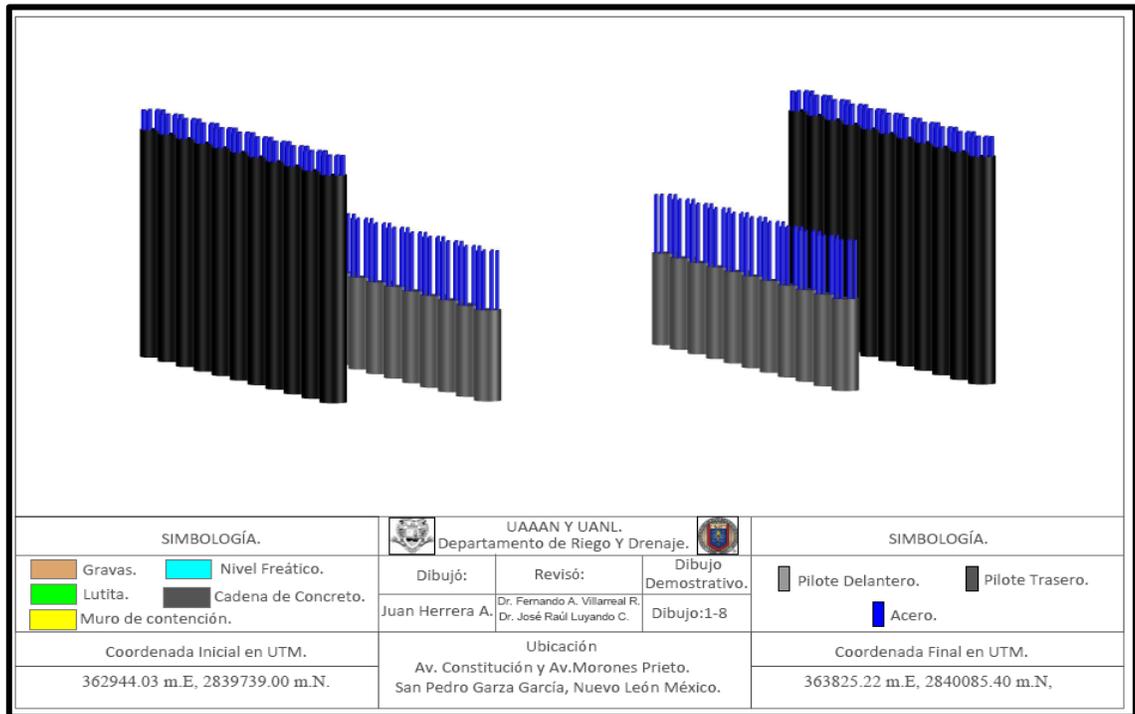


Figura 1.44 Modelación de pilote con acero

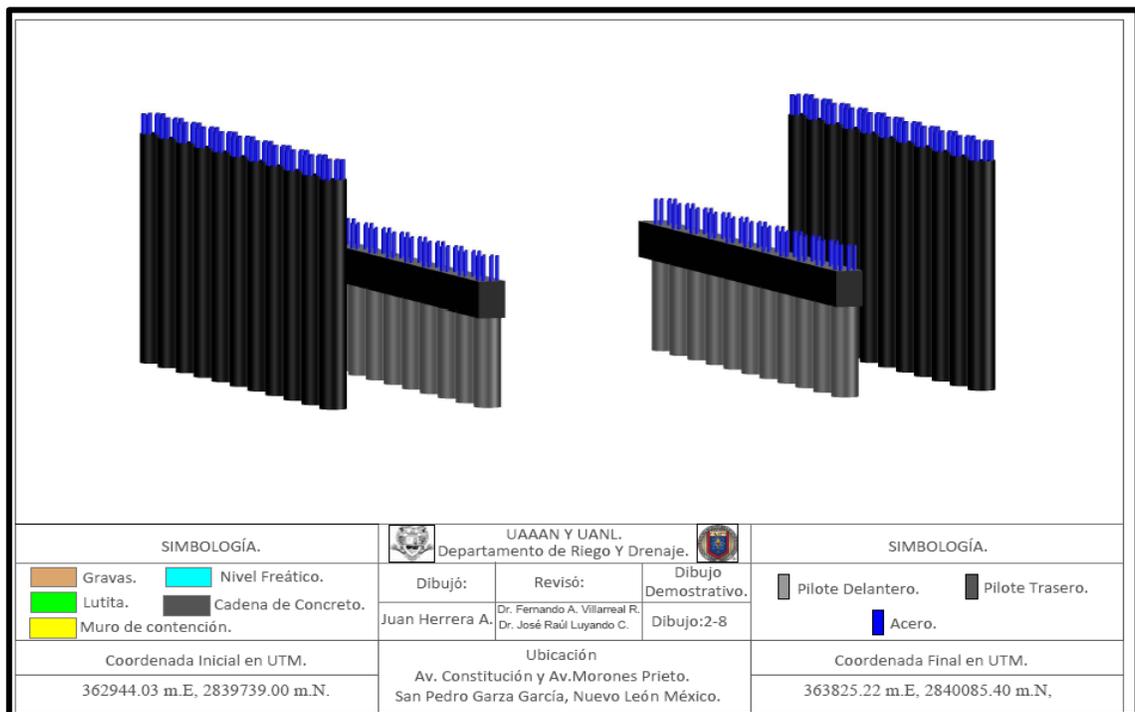


Figura 1.45 Modelación de pilote con acero y cadena

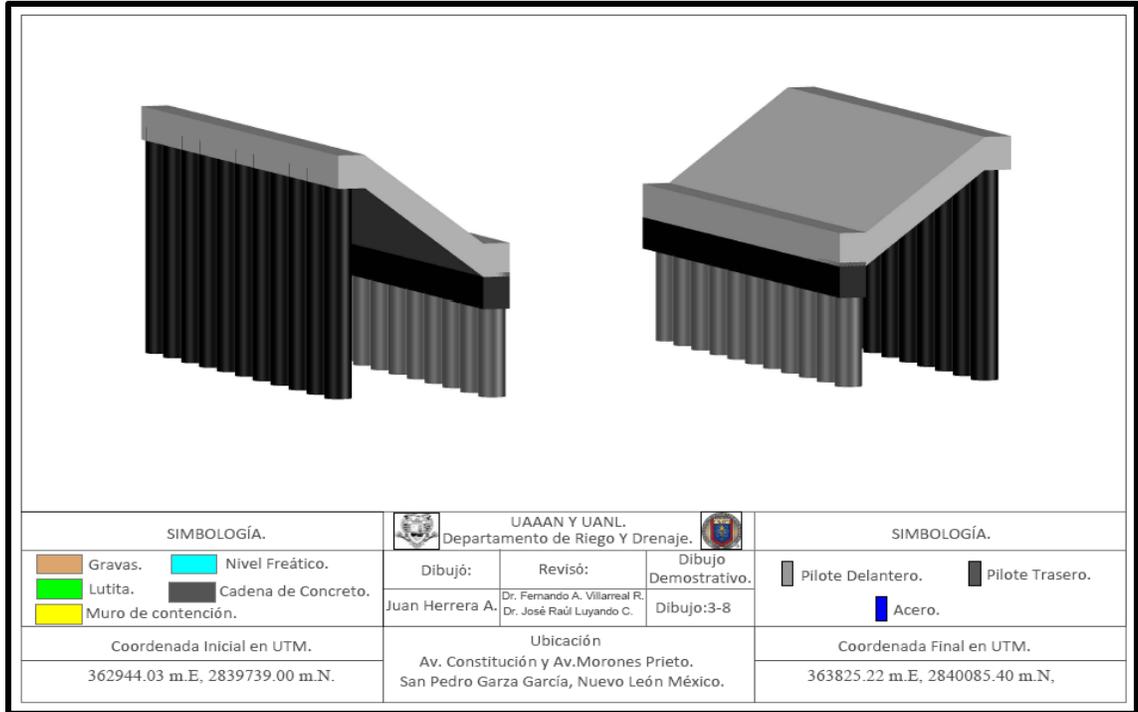


Figura 1.46 Modelación de pilotes, acero, cadena y talud.

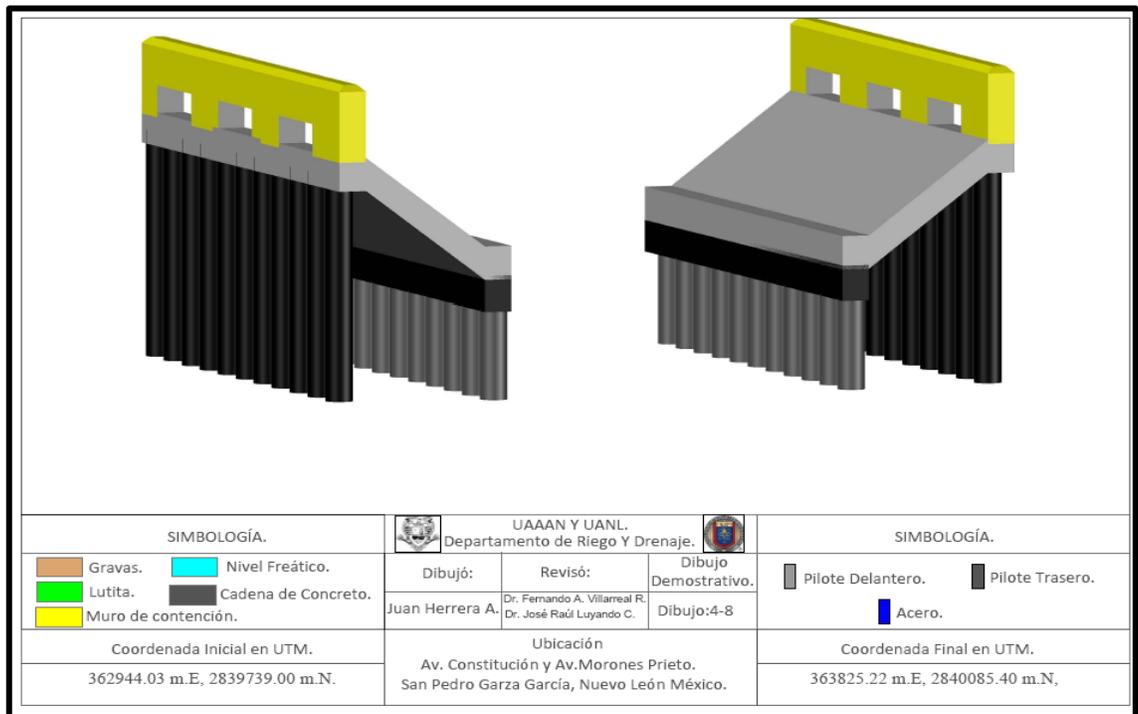


Figura 1.47 Modelación de pilotes, acero, cadena y Muro Berlín

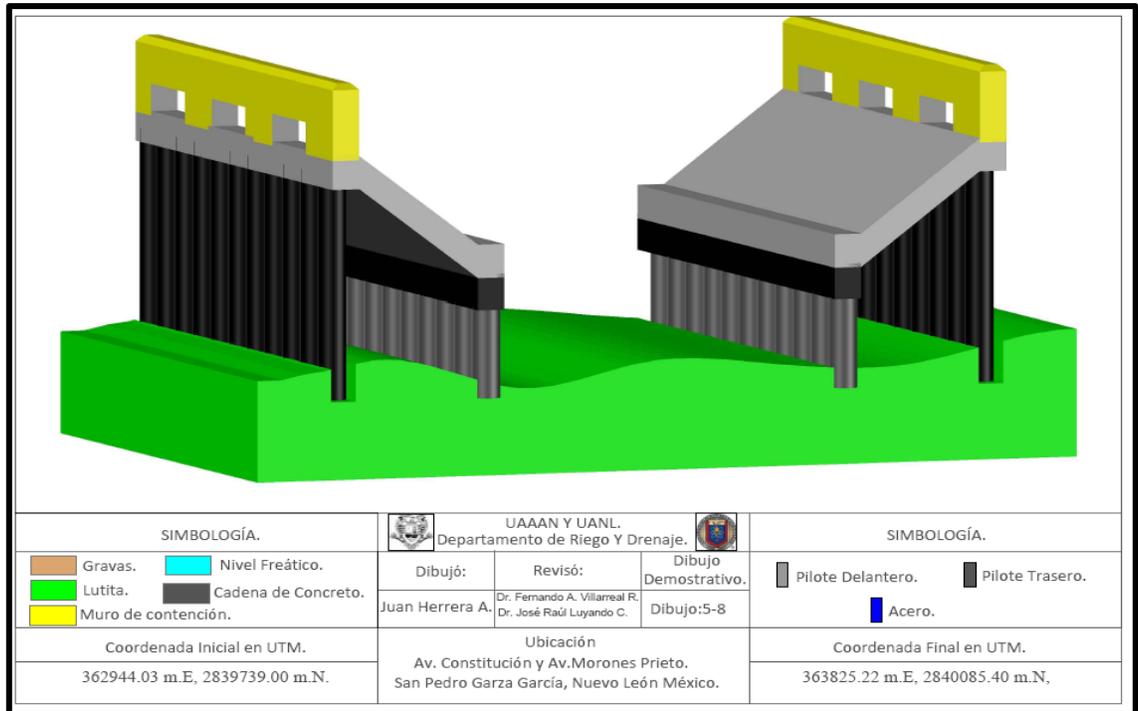


Figura 1.48 Modelación de pilotes, acero, cadena, Muro Berlín y lutitas

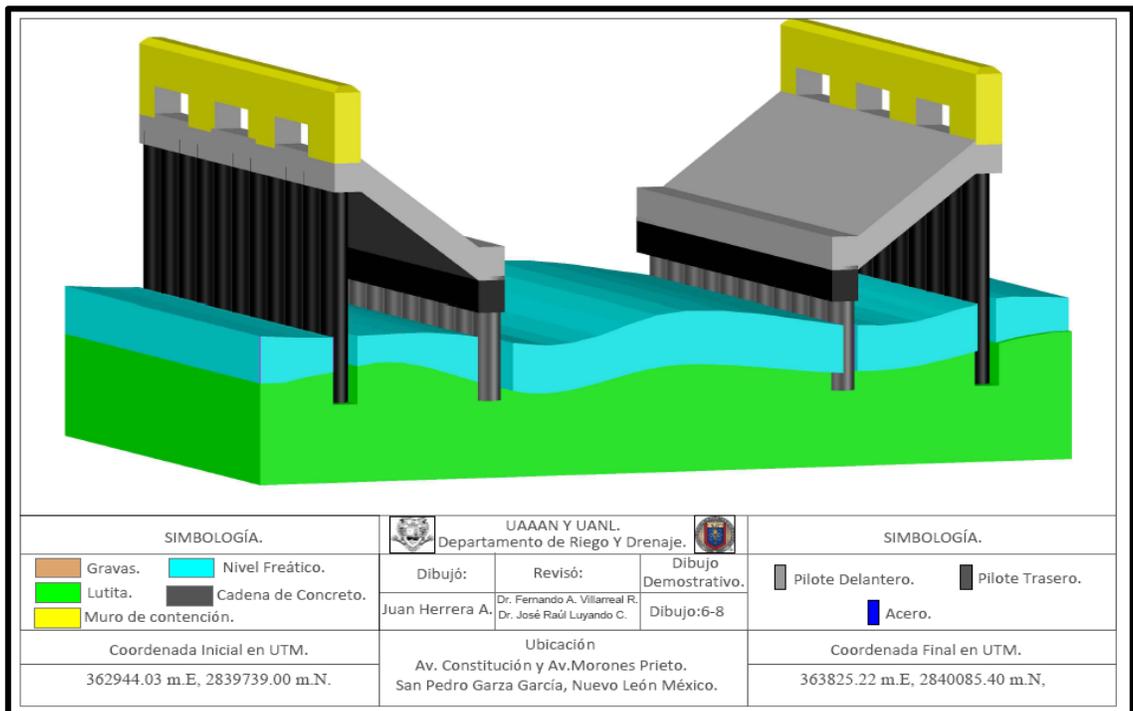


Figura 1.49 Modelación de pilotes, acero, cadena, Muro Berlín, lutitas y acuífero

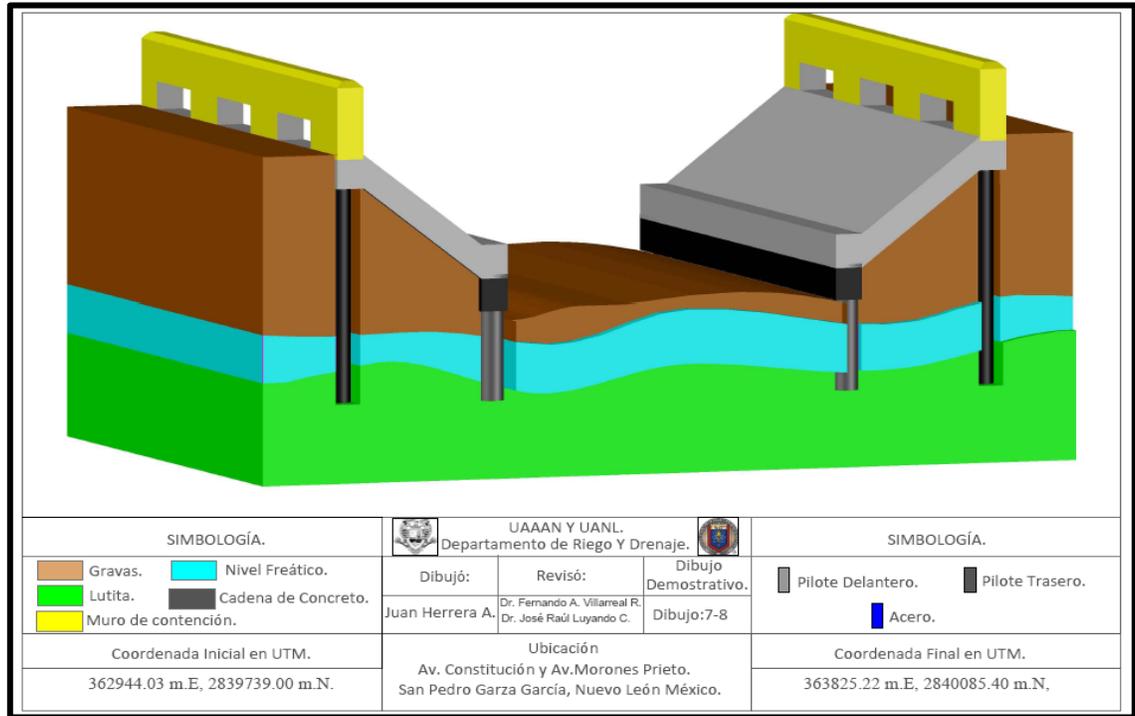


Figura 1.50 Modelación de pilotes, acero, cadena, Muro Berlín, lutitas, acuífero y acarrees no consolidados

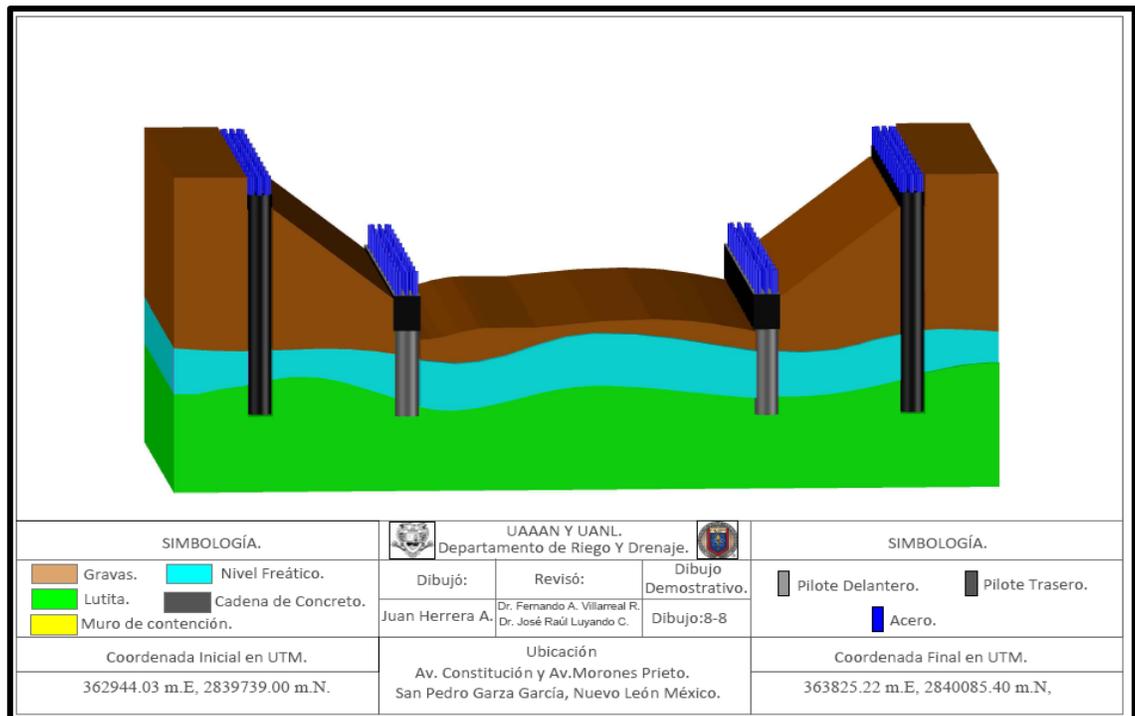


Figura 1.51 Modelación de pilotes, acero, cadena, lutitas, acuífero y acarrees no consolidados



Figura 1.52 Ángulos de cambio de dirección de flujo en el río Santa Catarina.