

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

ESCUELA DE POST GRADO

MAESTRIA EN INGENIERIA CIVIL CON MENCIÓN EN GEOTECNIA



**CONOCIMIENTO DEL SUELO DEL PARQUE DEL NIÑO Y SU
COMPORTAMIENTO PARA GARANTIZAR LA VIDA ÚTIL, MOQUEGUA
2016**

TESIS

Presentado por:

Ing. Patricia Genoveva Mejía Becerra

Asesor:

Dr. Dante Ulises Molaes Cabrera

Para obtener el Grado Académico de:

MAGISTER EN INGENIERIA CIVIL CON MENCIÓN EN GEOTECNIA

TACNA – PERU

2018

Agradecimientos

Gracias a Dios mi creador, porque con él todo es posible.

A mis profesores y asesores quienes hicieron posible la ejecución de la presente.

Dedicatoria

A mis papitos porque siempre me impulsaron a seguir adelante.

A mi esposo, y a mis hijos Leo y Cielo por su cariño y su tiempo.

INDICE DE CONTENIDOS

Agradecimientos	II
Dedicatoria	III
Índice de contenidos	IV
Índice de tablas	VII
Índice de cuadros	VIII
Índice de Gráficos	IX
Índice de imágenes	X
Índice de figuras	XI
Resumen	XII
Abstract	XIV
Introducción	16
CAPITULO I	
1. El problema y objetivos	17
1.1 Planteamiento del problema	17
1.2 Formulación del problema	18
1.3 Justificación de la investigación	19
1.4 Objetivos de la investigación	21
CAPITULO II	
2. Fundamento teórico científico	22
2.1 Antecedentes de la investigación	22

2.2	Introducción de la geotécnica	27
2.3	Importancia del conocimiento de los suelos	29
2.4	Conocimiento del suelo	32
2.4.1	Propiedades físicas del suelo	32
2.4.2	Humedad	39
2.4.3	Peso específico sólido	41
2.4.4	Límites de consistencia o límites de Atterberg	41
2.4.5	Norma E050 suelos y cimentaciones	43
2.5	Comportamiento del suelo y recomendaciones para garantizar la vida útil	50
2.5.1	Clasificación de los suelos	50
2.5.2	Comportamiento los suelos expansivos	51
2.5.3	Ejecución de drenajes para combatir la presencia de humedad	55
2.5.4	Mejoramiento de suelos	57
Capítulo III		
3.	Marco Metodológico	61
3.1	Hipótesis	61
3.1.1	Hipótesis específicas	62
3.2	Variables e indicadores	62
3.3	Tipo de investigación	65
3.4	Ámbito de estudio	65
3.5	Unidades de estudio y muestra	65
3.6	Recolección y técnicas de la investigación	66
3.7	Metodología experimental	68
CAPÍTULO IV		
4.	Presentación de resultados	77

4.1 Características del suelo de cimentación	78
4.2 Conocimiento de las características del suelo durante la ejecución de la obra	79
4.3 Resultados de los ensayos	87
4.3.1 Características y tipo de suelo	87
4.3.2 Estudio tomográfico	91
4.3.3 Análisis Sísmico	99
4.4 Culminación de la vida útil	115
CAPÍTULO V	
Conclusiones	121
CAPÍTULO VI	
Recomendaciones	123
Bibliografía	119
Anexos	126

INDICE DE TABLAS

TABLA N°	DESCRIPCION	N° pag.
1	Tipos de estructuras de suelo	34
2	Métodos de mejoramiento de suelos	58
3	Contenido de agua y peso específico, típicos para algunos suelos.	63
4	Áreas programadas del proyecto	70
5	Resultados de los ensayos de laboratorio	88
6	Clasificación de suelos expansivos	89
7	Relaciones geo eléctricas en la exploración geotécnica	92

INDICE DE CUADROS

CUADRO N°	DESCRIPCION	N° pag.
1	Resultados de los estudios realizados en el Centro de Salud San Antonio.	22
2	Permeabilidad por tipo de suelo	37
3	Permeabilidad por tipo de estructura	37
4	Potencial de expansión según el Incide Plástico.	53
5	Potencial de expansión según el Límite Líquido	54
6	Grado de expansión según el Límite de contracción	54
7	Presupuesto total del proyecto	116

INDICE DE GRAFICOS

GRAFICOS	DESCRIPCION	N° pag.
N°		
1	Esquema del sistema de drenaje	75
2	Esquema del sistema de almacenamiento del drenaje	76
3	Canal de drenaje	84

INDICE DE IMAGENES

IMAGEN N°	DESCRIPCION	N° pag.
1	Fallas estructurales en muros del Centro de Salud San Antonio	23
2	Edificio Málaga en construcción	30
3	Edificio Málaga en construcción	30
4	Edificio Málaga luego del derrumbe	31
5	Edificio Málaga luego del derrumbe	31
6	Área construida	87
7	Característica del suelo calicata 1	100
8	Espectro de aceleraciones sismo 2001	104
9	Análisis del suelo a través del programa Proshake	105
10	Aceleración espectral	106
11	Velocidad espectral resultante luego del análisis en el programa Proshake	109
12	Desplazamiento resultante luego del análisis en el programa Proshake	109
13	Foto satelital del terreno donde se ejecutó el parque del niño – 2006	119
14	Foto satelital del terreno del parque del niño durante su ejecución – año 2009	119
15	Foto satelital del parque del niño culminado – año 2011	120
16	Foto satelital del parque del niño sin uso– año 2016	120

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°	DESCRIPCION	N° pag
1	Relaciones peso – volumen	40
2	Definición de los límites de Atterberg	42
3	Modelo de secciones y forma de resultados obtenidos	92

RESUMEN

El presente estudio tiene por finalidad formar conciencia respecto al conocimiento del suelo de fundación, y la importancia que éste tiene para la estabilidad de la estructura y garantizar la inversión efectuada.

En ese sentido, se ha tomado como antecedente los trabajos efectuados en el Parque del Niño ubicado en el Centro Poblado San Antonio, del Distrito de Moquegua, provincia Mariscal Nieto, región Moquegua, proyecto de inversión pública que fue ejecutado en el período 2008-2011, advirtiendo la pérdida de gran parte de la inversión toda vez que se evidencia la presencia de fisuras, asentamientos y deformaciones de la infraestructura construida; siendo que para el presente trabajo, se ha empleado la inspección visual, revisión de documentos técnicos para tomar conocimiento de los acontecimientos principales durante la ejecución, finalmente se han efectuado ensayos de campo en el suelo de fundación.

Por tanto, en el primer capítulo presento el problema central y la importancia que reviste investigar y analizar el suelo de fundación, para seguidamente hablar del marco teórico relacionado con el estudio de mecánica de suelos y la normativa técnica aplicable para introducirnos en el tema; luego se tiene los alcances de la investigación describiendo y analizando las situaciones que revisten la ejecución del Parque del Niño y luego la presentación de los resultados que nos permitió conocer el suelo sobre el cual se ejecutó el citado parque; para finalmente presentar las conclusiones y recomendaciones.

ABSTRACT

The purpose of this study is to raise awareness about the knowledge of the foundation soil and its importance for the stability of the structure and guarantee the investment made.

In this sense, the work carried out in the Parque del Niño located in the San Antonio Village Center, in the Moquegua District, Mariscal Nieto province, in the Moquegua region, was a public investment project executed in the period 2008-2011 , noting the loss of much of the investment, since there is evidence of cracks, settlements and deformations of the built infrastructure; being that for the present work, the visual inspection, revision of technical documents to become aware of the main events during the execution, has been done field tests in the ground of foundation

Therefore, in the first chapter I present the central problem and the importance of investigating and analyzing the foundation soil, to then talk about the theoretical framework related to the study of soil mechanics and the applicable technical regulations to introduce us to the subject; Then we have the scope of the investigation describing and analyzing the situations that involve the execution of the Park of the Child and then the presentation of the results that allowed us to know the ground on which the park was executed; To finally present the conclusions and recommendations.

INTRODUCCION

El conocimiento del suelo involucra una serie de procedimientos técnicos, ensayos, análisis de los resultados y conocimiento de la normativa técnica para con todo ello aplicarla en el desarrollo de cualquier proyecto de inversión.

El Centro Poblado San Antonio, de acuerdo al Plan Director, tiene un suelo con características arcillosas, es así que el Parque del Niño, ubicado en dicho Centro Poblado, fue ejecutado en el periodo 2008-2011, presentando luego de su apertura fisuras en la infraestructura ejecutada, que a la fecha lo hacen inutilizable.

Luego de los estudios técnicos realizados, se tiene que el suelo presenta características expansivas, además humedad, siendo que a pesar de ser “bajo” el porcentaje de expansión, los daños fueron graves; asimismo, se tiene que los resultado de aceleración espectral en la superficie del suelo hacen predecir que las fallas serían considerables frente a un eventual evento sísmico, en la infraestructura aledaña al Parque del Niño.

Siendo importante destacar que los profesionales responsables de la construcción, estudien, analicen y efectúen estudios técnicos necesarios conforme la normativa técnica para conocer las características del suelo de fundación, antes y previo a su ejecución, y de ésta manera garantiza su vida útil.

CAPITULO I

1. EL PROBLEMA Y OBJETIVOS

1.1 Planteamiento del problema

En ingeniería, el conocimiento del suelo de fundación para el planteamiento de una estructura resulta importante e imprescindible, toda vez que a través de ello se toma conocimiento de las características y propiedades del mismo. Para ello el Reglamento Nacional de Edificaciones en la norma técnica E 050 Suelos y Cimentaciones, plantea una serie de consideraciones que se deben tomar en cuenta para la presentación de un estudio de mecánica de suelos.

Hay que tener en cuenta, que el suelo es un elemento básico para la construcción estructuras, toda vez que representa un elemento estructural de base, de lo que se construya encima.

La falta de estudios detallados del suelo en la mayoría de casos, no permite tener el conocimiento de las características y propiedades del suelo para su control, así como, para comprender y entender su comportamiento, y finalmente tomar las decisiones más adecuadas y garantizar la vida útil de la inversión.

En ese sentido, se tiene que durante el año 2007, se formuló el expediente técnico para la ejecución del proyecto de inversión pública: “Construcción del Parque del Niño y de la Familia en el Centro Poblado de San Antonio, Provincia Mariscal Nieto – Moquegua”, iniciando su ejecución el 2 de enero de 2008, y culminado el mismo el 15 de octubre del 2010 con una inversión de S/. 7 282 369,99.

Luego de su puesta en funcionamiento en el año 2011, se advirtió fisuras en la estructura construida, y que a la fecha han generado que la misma no pueda ser utilizada; ello se debería a un inadecuado conocimiento del tipo de suelo y su comportamiento, a fin de establecer adecuados procedimientos constructivos que permitan garantizar la estabilidad de la obra ejecutada.

1.2 Formulación del problema

El suelo del Centro Poblado de San Antonio, en el distrito de Moquegua, según los estudios de caracterización de suelo (Plan director) presenta un suelo que contiene altos porcentajes de arcilla, en ese sentido cuando se pretenda ejecutar y/o construir una estructura en dicho lugar es importante realizar estudios específicos que permitan conocer las propiedades definidas del suelo de fundación como, peso específico, clase de suelo por estratos, densidades, resistencia, entre otros; así como, advertir la presencia

de sales y agua, siendo importante éste último aspecto, teniendo en cuenta que la arcilla en presencia de agua se expande, lo que podría conllevar a asentamiento, deformaciones por tanto fisuras y hasta la inutilización de la inversión.

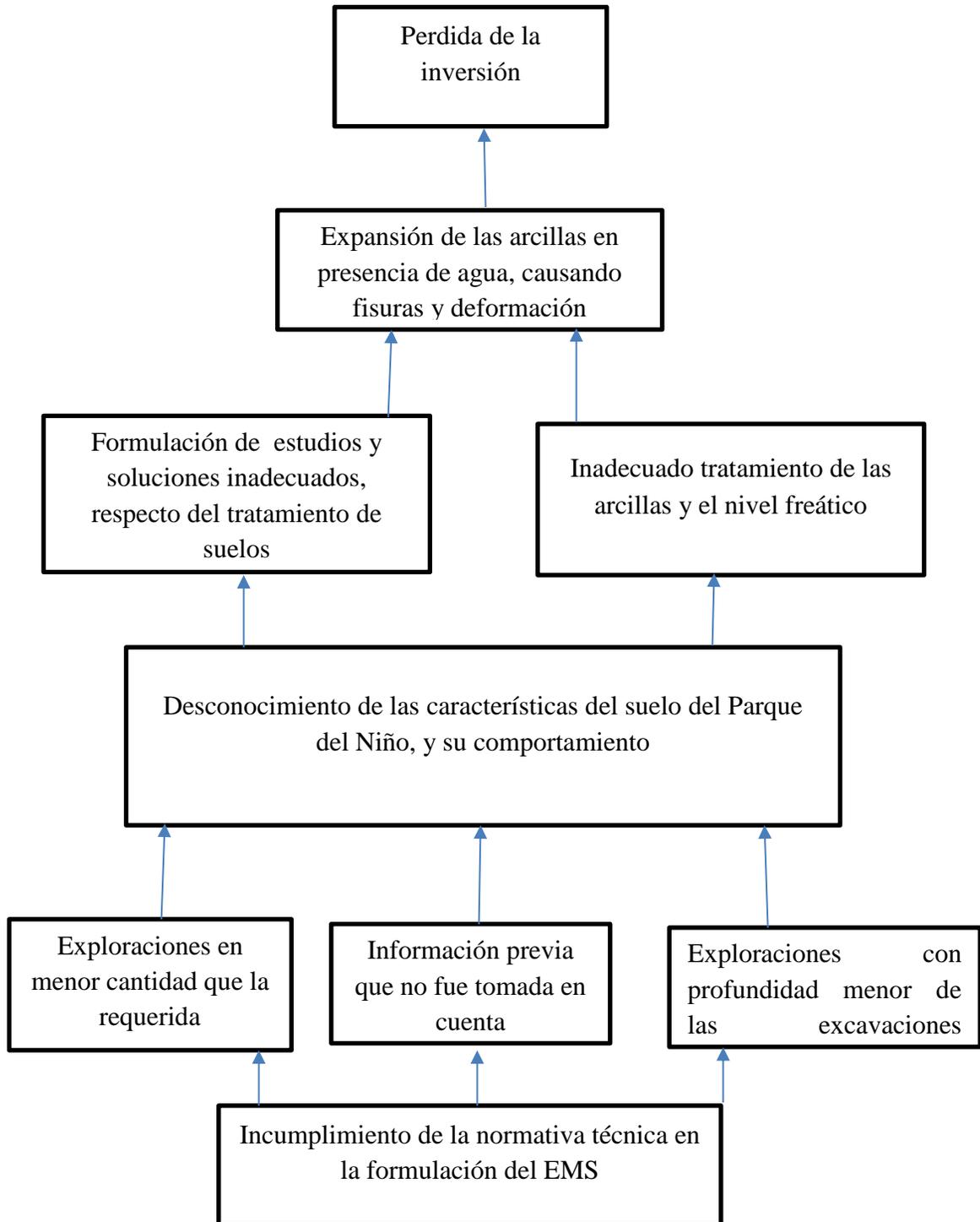
En ese sentido, considerando el estado actual del Parque del niño: ¿Era importante conocer las características del suelo, y determinar su comportamiento para garantizar la vida útil del Parque del Niño?

1.3 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACIÓN

Considerando los antecedentes del suelo de fundación del Centro Poblado de San Antonio, respecto a la presencia de arcilla, que de por si tiene un efecto expansivo, es importante, conocer los problemas que éste tipo de suelo causa en las infraestructuras construidas si no se realiza los estudios previos a nivel competente y conforme lo indicado en la norma; a efectos que los profesionales responsables de la formulación de los proyectos y los ejecutores tengan la suficiente información que les permita efectuar los diseños y tomar las medidas preventivas para proteger la inversión.

En ese orden de ideas resulta importante que salga a la luz los problemas que se pueden tener en los proyectos de inversión, si no se tiene conocimiento del suelo de fundación.

En tal sentido, a continuación se presenta un esquema de causas y efectos respecto del desconocimiento de las características del suelo de fundación y su comportamiento.

ESQUEMA DE CAUSAS - EFECTOS

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo General

Establecer la importancia del conocimiento de las características del suelo y determinar su comportamiento para garantizar la vida útil del Parque del Niño.

1.4.2 Objetivo Específico

- Determinar las características del suelo de fundación y agentes externos como presencia de agua sobre el cual se ejecutó el Parque del Niño, y establecer la importancia de su conocimiento para garantizar su útil.
- Determinar el comportamiento del suelo de fundación sobre el cual se construyó el Parque del Niño y establecer la importancia de su conocimiento para garantizar su vida útil

CAPITULO II

2. FUNDAMENTO TEÓRICO CIENTÍFICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

Luego del sismo del año 2001, el ingeniero Zenon Aguilar Bardales, en su estudio denominado “Suelos expansivos en Moquegua”, concluyó que suelo encontrado en el Centro Poblado San Antonio, tiene un alto potencial de expansión, y que las cargas de control de expansión son bastante elevadas para ser compensadas con el peso de las edificaciones, estudio que resulta de suma importancia, siendo que los resultados de los ensayos realizados en el 2001, fueron los siguientes:

Cuadro N° 1
Resultados de los estudios realizados en el Centro de Salud San Antonio.

Calicatas	Muestras	Profundidad	Calsificación SUCS	Expansión	Carga de Control
EP-2	M-1	1.40 - 1.58	CL	7.91%	4.35 kg/cm ²
	M-1	1.40 - 1.58	CL	1.31%	3.68 kg/cm ²
	M-1	1.40 - 1.58	CL	0.19%	2.60 kg/cm ²
C-1	M-3	1.13 - 2.63	CL	9.62%	
C-3	M-2	1.48 - 1.75	CH	18.11%	
C-6	M-3	2.10 - 4.00	CL	15.43%	
C-5	M-6	2.20 - 3.00	CL	14.52%	

Nota: Recuperado de “Suelos expansivos en Moquegua”, Aguilar Z. 2001



Imagen N° 01. Fallas estructurales en muros del Centro de Salud San Antonio

Siendo algunas de las principales conclusiones las siguientes:

- Los suelos expansivos son altamente destructivos para las edificaciones cimentadas sobre ellos, sin un adecuado diseño.
- El suelo de cimentación encontrado en el C.P.M. San Antonio, en la ciudad de Moquegua, posee un alto potencial de expansión. Las cargas de control de expansión son bastante elevadas para ser compensadas con el peso de las edificaciones.
- Las ecuaciones empíricas desarrolladas para estimar el potencial de expansión no predicen adecuadamente el comportamiento de estos suelos.
- Se requiere una investigación más detallada para caracterizar el comportamiento de estos suelos, considerando la teoría de suelos parcialmente saturados. (Aguilar Bardales, 2001, p46)

Asimismo, el citado profesional Doctor ingeniero Zenon Aguilar Bardales, en el estudio denominado “Zonificación geotécnica sísmica de la ciudad de Moquegua”, realizado en el año 2002, permitió determinar cuatro zonas geotécnicas en la ciudad de Moquegua, de acuerdo a las características físico mecánicas y dinámicas de los suelos de fundación, siendo que para el caso específico del centro poblado de San Antonio, luego de efectuar la zonificación para la presentación de resultados, en el numeral 6.2, se precisó lo siguiente:

Que la Zona III, se encontró suelos con presencia de características expansivas, encontrándose principalmente en el Centro Poblado menos San Antonio, abarcando parte de Cerro El Siglo y Mariscal Nieto, asimismo, para diferencias el comportamiento de suelo, se dividió en dos subzonas denominadas Zona III A y B.

- Zona III-A: Conformada por parte de la ladera del cerro El Siglo, el AA.HH. Mariscal Nieto y la zona central del CPM San Antonio, y está constituido por material granular, predominantemente grava limosa y arenas arcillosas, de compacidad media a suelta y baja humedad.

Los espesores varían desde 1.10 m a más de 4.00 m. Subyaciendo a este material se encontró estratos alternados de arcillas limosas, arenas limosas y arenas arcillosas de baja plasticidad y baja humedad. Siendo que tales materiales presentaron un potencial de expansión bajo en la zona del cerro El Silo y el AA.HH. Mariscal Nieto y moderado a alto en el CPM San Antonio.

Asimismo, señaló que las sales solubles y cloruros presentes en este suelo se encuentran con concentraciones bajas, y los sulfatos alcanzan concentraciones que podrían generar ataques leves a moderados al concreto de la cimentación.

También se determinó que la capacidad de carga admisible para viviendas de interés social varía de 1.0 a 1.5 kg/cm² a una profundidad de cimentación de 1.00 m, haciendo principal distinción que en esta zona era necesario considerar los efectos de la expansión del suelo. Además que **en el sector de San Antonio era necesario efectuar un diseño especial de la cimentación para evitar los daños que podría generar el cambio volumétrico del suelo.**

- La Zona III-B, estaba conformado por la zona periférica de CPM San Antonio, conformado principalmente por las áreas próximas a las laderas de los cerros, advirtiendo afloraciones del material arcilloso denominado moro moro, que corresponde a la formación Moquegua Inferior.

Respecto del suelo de ésta zona, señaló que el perfil estratigráfico de esta zona presentó estratos alternados de arcillas limosas, arenas arcillosas y arenas limosas de baja a mediana plasticidad, muy rígidas y de baja humedad. Además que las arcillas limosas, que constituye el terreno de fundación para las edificaciones construidas en esta zona, presenta un grado de expansión moderado a alto en contacto con el agua, representando un problema para las construcciones.

De otro lado, revelo, que los estudios realizado en el **Centro de Salud San Antonio, que fue cimentado sobre material con presencia de arcilla, se encontró que el potencial de expansión libre de la arcilla limosa alcanzó el 18%, generando presiones de hinchamiento mayores de 4.6 kg/cm², dañando seriamente la estructura generando su inhabitabilidad.**

Y siendo que el comportamiento del suelo resultó bastante complejo, al encontrar que las estructuras en contacto con el agua presentan asentamiento moderados, para luego ocasionar expansiones, resultaba necesario diseñar cimentaciones especiales.

Señalando adicionalmente que: La capacidad admisible para viviendas de interés social varía de 0.8 a 1.0 kg/cm² en condiciones saturadas. **El problema de expansión de suelos es más notorio en las edificaciones existentes en esta zona, debido a que éstas están cimentadas directamente sobre el material expansivo.** (Aguilar Bardales, 2002, p 86)

Advirtiendo desde ese entonces que el suelo del CPM San Antonio, correspondía a un suelo arcilloso conformado por estratos de arcilla limosa y arena arcillosa, presentando un alto potencial de expansión, por lo que se debe considerar tal efecto para el diseño de las cimentaciones, situación que fue materia de recomendación en el citado estudio, según como sigue:

3.En las zonas donde se presentan los suelos con características expansivas (Zona III predominantemente), se requiere diseñar una cimentación que transmita una carga lo suficientemente

elevada para controlar en parte la carga de expansión pero cuidando de no sobrepasar la resistencia cortante del terreno. Además la estructura deberá ser lo suficientemente flexible para soportar ciertas deformaciones sin sufrir daños de consideración. Se recomienda orientar a la población sobre el comportamiento de este tipo de suelo y las consideraciones que debe tener para la construcción de sus viviendas. (Aguilar Bardales, 2002, p99)

Bajo éste contexto, es importante conocer que existen estudios técnicos que señalan que el suelo del CPM San Antonio, presenta características de expansión por la presencia de arcillas, situaciones que deben ser verificadas previa a la ejecución de cualquier edificación a efectos de tomar las medidas preventivas y proteger la inversión.

2.2 INTRODUCCION A LA GEOTÉCNIA

De la búsqueda de información referida a la geotécnica, hemos encontrados que antiguamente, a la geotecnia se la identificaba como el estudio de la mecánica de suelos y mecánica de rocas; ampliándose posteriormente temas relacionados con la ingeniería sísmica, mejoramiento de las características del suelo, interacción suelo-estructura y otros, encontrando además que dicha rama sigue evolucionando al encontrar nuevos estudios científicos y con el crecimiento de la tecnología creación de aparatos para obtener los resultados en menores plazos y a mayores profundidades. Respecto de ello, se considera a Karl Terzaghi como el padre de la ingeniería geotécnica y la mecánica de suelos.

De otro lado se ha encontrado que la **Ingeniería Geotécnica** o simplemente **Geotecnia** es la rama de la Geología aplicada que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales provenientes del medio geológico, aplicadas a las obras de ingeniería civil.

Por su parte se tiene que la mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la física y las ciencias naturales a los problemas que involucran las cargas impuestas a la capa superficial de la corteza terrestre.

Asimismo, hay que tener en cuenta que todas las obras de ingeniería civil se apoyan sobre el suelo de una u otra forma, y muchas de ellas, además, utilizan la parte del suelo como elemento de construcción para la ejecución de terraplenes, diques y rellenos en general; por lo que, en consecuencia, la estabilidad y comportamiento funcional y estético de tales construcción serán determinados, entre otros factores, por el desempeño del suelo de fundación llamado también material de asiento.

En consecuencia, el suelo como elemento de cimentación y construcción ha de ser siempre un tema que debe ser respaldado por un estudio de mecánica de suelos, lo cual permitirá tomar decisiones adecuadas respecto al tratamiento que se realizara para garantizar la inversión.

2.3 IMPORTANCIA DEL CONOCIMIENTO DE LOS SUELOS

Muchos pensamos que construir un edificio o una casa es simplemente cuestión de escoger el terreno o el lugar que económicamente nos conviene o que por cercanía a algún lugar específico nos satisface, contar con los materiales y con alguien que se encargará de la construcción; sin pensar en los estudios técnicos necesarios para ello.

Un estudio de mecánica de suelos es el que nos permitirá conocer las características físicas, químicas y geológicas del mismo, desde la secuencia litológica, las diferentes capas y su espesor, la profundidad del nivel del agua, la capacidad de resistencia del suelo o de una roca.

Asimismo, nos permite determinar y conocer el tipo de cimentación más adecuado para el tipo de obra a construir, así como establecer el comportamiento de la estructura en relación al peso que va a soportar, en ese sentido, resulta de suma importancia realizar este estudio para evitar problemas en el proceso de construcción o incluso luego de la culminación de la obra.

Sobre el particular se ha encontrado por ejemplo el derrumbe del edificio Málaga en Bolivia, en el año 2011, la misma que cuando la obra se encontraba en construcción sufrió un derrumbe, dejando varios muertos. Siendo que los principales investigadores en su momento, señalaron que existirían problemas de suelo, así como fallas de cálculo.



Imagen N° 02 : Edificio Málaga en construcción



Imagen N° 03 : Edificio Málaga en construcción



Imagen N° 04 : Edificio Málaga luego del derrumbe



Imagen N° 05: Edificio Málaga luego del derrumbe

2.4 CONOCIMIENTO DEL SUELO

2.4.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

Normalmente conocemos como suelo, a la capa de la estructura de la corteza terrestre, pero desde el punto de vista ingenieril, encontramos que el suelo es una mezcla de materiales sólidos, líquidos y gaseosos; siendo que la proporción de los diferentes componentes determina una serie de propiedades que se conocen como **propiedades físicas o mecánicas del suelo**: textura, estructura, color, permeabilidad, porosidad, drenaje, consistencia, profundidad efectiva, entre otros; propiedades¹ que se definen a continuación:

a) TEXTURA

La textura de un suelo es la proporción de los tamaños de los grupos de partículas que lo constituyen y está relacionada con el tamaño de las partículas de los minerales que lo forman y se refiere a la proporción relativa de los tamaños de varios grupos de partículas de un suelo.

Para el estudio de la textura del suelo, éste se considera formado por tres fases: sólida, líquida y gaseosa.

¹ Las propiedades de los suelos, se ha tomado de la información que se encuentra publicada en <http://www.monografias.com/trabajos65/propiedades-suelo/propiedades-suelo.shtml#ixzz4JhnTnOO1>; y concordada con la bibliografía que se detalla en la parte correspondiente

Los nombres de las clases de textura se utilizan para identificar grupos de suelos con mezclas parecidas de partículas minerales.

Así por ejemplo encontramos que los suelos arenosos contienen un 70 % o más de partículas de arena, mientras que suelos arcillosos contienen más del 40 % de partículas de arcilla y dependiendo de la cantidad de arena que suelo ser hasta 45 % de arena y 40 % en el caso de limo, toman el nombre arcillo-arenosos o arcillo-limosos.

Los suelos arcillosos, son por lo general compactos cuando están secos y pegajosos y plásticos cuando están húmedos.

b) ESTRUCTURA

La estructura es la forma en que las partículas del suelo se reúnen para formar agregados. De acuerdo a esta característica se distinguen suelos de estructura esferoidal (agregados redondeados), laminar (agregados en láminas), prismática (en forma de prisma), blocosa (en bloques), y granular (en granos).

La estructura del suelo se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla. Cuando las partículas individuales se agrupan, toman el aspecto de partículas mayores y se denominan **agregados**.

Clases y tipos de estructura del suelo

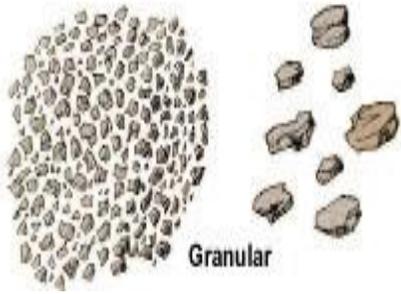
La **clase** de estructura describe el **tamaño medio de los agregados individuales**, pueden ser:

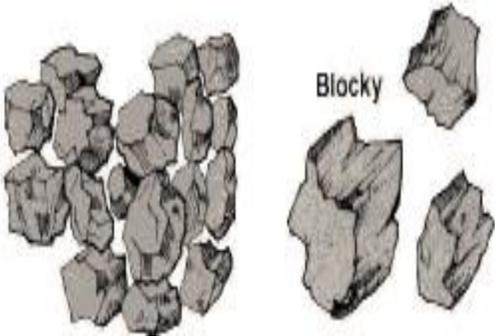
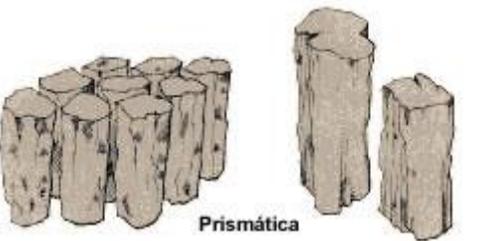
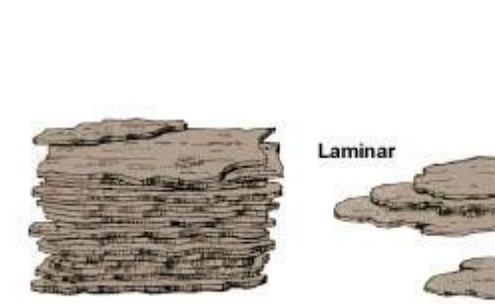
- **Muy fina o muy delgada;**
- **Fina o delgada;**
- **Mediana;**
- **Gruesa o espesa;**
- **Muy gruesa o muy espesa;**

El **tipo** de estructura describe la **forma o configuración de los agregados individuales**, y encontramos las siguientes:

Tabla 1

Tipos de estructuras de suelo

<p>1 Estructuras granulares y migajosas: son partículas individuales de arena, limo y arcilla agrupadas en granos pequeños casi esféricos. El agua circula muy fácilmente a través de esos suelos. Por lo general, se encuentran en el horizonte A de los perfiles de suelos;</p>	 <p>Granular</p>
--	--

<p>2 Estructuras en bloques o bloques subangulares: son partículas de suelo que se agrupan en bloques casi cuadrados o angulares con los bordes más o menos pronunciados. Los bloques relativamente grandes indican que el suelo resiste la penetración y el movimiento del agua. Suelen encontrarse en el horizonte B cuando hay acumulación de arcilla;</p>	 <p>The diagram shows two types of soil structures. On the left, a cluster of irregular, angular soil particles is labeled 'Blocky'. On the right, several vertical, columnar soil structures are shown, labeled 'Prismática'.</p>
<p>3 Estructuras prismáticas y columnares: son partículas de suelo que han formado columnas o pilares verticales separados por fisuras verticales diminutas, pero definidas. El agua circula con mayor dificultad y el drenaje es deficiente. Normalmente se encuentran en el horizonte B cuando hay acumulación de arcilla;</p>	 <p>The diagram shows several vertical, columnar soil structures, labeled 'Prismática', which are separated by small vertical cracks.</p>
<p>4 Estructura laminar: se compone de partículas de suelo agregadas en láminas o capas finas que se acumulan horizontalmente una sobre otra. A menudo las láminas se traslapan, lo que dificulta notablemente la circulación del agua. Esta estructura se encuentra casi siempre en los suelos boscosos, en parte del horizonte A y en los suelos formados por capas de</p>	 <p>The diagram shows a stack of horizontal, layered soil particles, labeled 'Laminar', with some overlapping between the layers.</p>

arcilla*	
----------	--

Nota: Recuperado de "Propiedades del suelo", de Herrera.J., 2011

c) COLOR

El color del suelo depende de sus componentes minerales y puede usarse durante las labores de campo, como una manera de identificar el tipo de suelos y/o las características que este presentaría. También se sabe que el color varía con el contenido de humedad. Por ejemplo se tiene que el color rojo indica contenido de óxidos de hierro y manganeso; mientras que el amarillo indica óxidos de hierro hidratado; el blanco y el gris indican presencia de cuarzo, yeso y caolín; y el negro y marrón indican materia orgánica.

c) PERMEABILIDAD

Permeabilidad es la propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua y el aire a través de los espacios vacíos que éste presenta; siendo que mientras más permeable sea el suelo, mayor será la filtración.

Un estudio de suelos que permita determinar de los perfiles de suelo, así como su consistencia, color, textura, nos permitirá tener la base para predecir el comportamiento de permeabilidad del mismo, así como decidir adicionalmente que tipo de estudios necesitamos.

De otro lado, resulta necesario conocer la permeabilidad del suelo, toda vez que dichos resultados van de la mano con el conocimiento de la tasa de filtración (movimiento del agua hacia dentro del suelo) y a la tasa de **percolación** (movimiento del agua a través del suelo).

Asimismo, encontramos que la textura guarda relación con la permeabilidad, toda vez que, mientras más fina sea la textura del suelo, más lenta será la permeabilidad:

Cuadro N°02
Permeabilidad por tipo de suelo

Tipo de suelos	Permeabilidad
Arenosos	5.0 cm/HR
Franco arenosos	2.5 cm/HR
Franco	1.3 cm/HR
Franco arcillosos	0.8 cm/HR
Arcilloso limosos	0.25 cm/HR
Arcilloso	0.05 cm/HR

Variación de la permeabilidad según la estructura del suelo

También se advierte que en el caso de la estructura del suelo, se relaciona con la permeabilidad de la siguiente manera:

Cuadro N° 03
Permeabilidad por tipo de estructura

Tipo de estructura		Permeabilidad
Laminar	- Gran traslapo	De muy lenta a muy rápida
	- Ligeramente traslapado	
En bloque		
Prismática		
Granular		

d) POROSIDAD

Como consecuencia de la textura y estructura del suelo tenemos su porosidad, es decir su sistema de espacios vacíos o poros.

Los poros en el suelo se distinguen en: macroscópicos y microscópicos.

Los primeros son de notables dimensiones, y están generalmente llenos de aire, en efecto, el agua los atraviesa rápidamente, impulsada por la fuerza de la gravedad. Los segundos en cambio están ocupados en gran parte por agua retenida por las fuerzas capilares.

Los terrenos arenosos son ricos en macroporos, permitiendo un rápido pasaje del agua, pero tienen una muy baja capacidad de retener el agua, mientras que los suelos arcillosos son ricos en microporos, y pueden manifestar una escasa aeración, pero tienen una elevada capacidad de retención del agua.

La porosidad puede ser expresada con la relación;

$$V = \frac{V_e}{V}$$

Dónde:

- V_e = volumen de espacios vacíos, comprendiendo los que están ocupados por gases o líquidos;

- V = volumen total de la muestra, comprendiendo sólidos, líquidos y gases.

En líneas generales la porosidad varía dentro de los siguientes límites:

- Suelos ligeros: 30 - 45 %
- Suelos **medios**: 45 - 55 %
- Suelos pesados: 50 - 65 %
- Suelos turbosos: 75 - 90 %

2.4.2 HUMEDAD

Se denomina humedad del suelo a la cantidad de agua por volumen de tierra que hay en un terreno.

Su medición exacta se realiza gravimétricamente, pesando una muestra de tierra antes y después del secado.

Para hallar el contenido de humedad, es importante identificar las tres fases del suelo, que son las partículas sólidas, agua y aire.

$$\text{Contenido de agua} = w(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

donde W_s = peso de sólidos

W_w = peso del agua

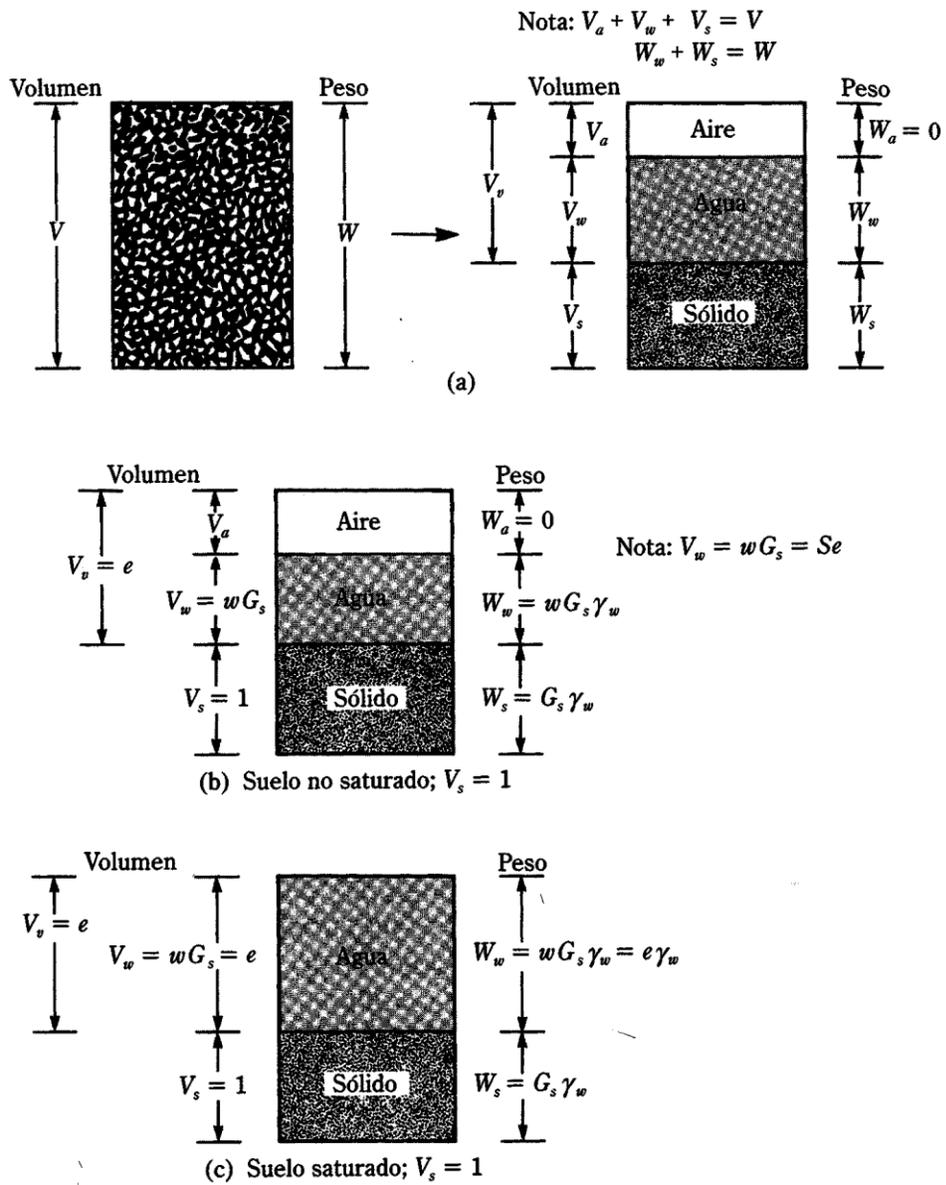


Figura N° 1. Relaciones peso – volumen (Braja M. Das, 2001, P8)

2.4.3 PESO ESPECÍFICO SÓLIDO

Se llama peso específico a la relación entre el peso de una sustancia y su volumen. Así tenemos:

$$\text{Peso específico húmedo} = \gamma = \frac{W}{V}$$

donde W = peso total del espécimen de suelo = $W_s + W_w$

El peso del aire, W_a , en la masa de suelo se supone insignificante.

$$\text{Peso específico seco} = \gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

2.4.4 LIMITES DE CONSISTENCIA O LIMITES DE ATTERBERG

Cuando un suelo arcilloso se mezcla con una cantidad excesiva de agua, éste puede fluir como un semilíquido. Si el suelo es secado gradualmente, se comporta como un material plástico, semisólido o sólido, dependiendo de su contenido de agua. Éste, en por ciento, con el que el suelo cambia de un estado líquido a un estado plástico se define como límite líquido (LL). Igualmente, los contenidos de agua, en por ciento, con el que el suelo cambia de un estado plástico a un semisólido y de un semisólido a un sólido se define como límite plástico (PL) y el límite de contracción (SL), respectivamente. Estos se denominan límites de Atterberg.

- El límite líquido de un suelo es determinado por medio de la copa de Casagrande (Designación de Prueba D-4318 de la ASTM) y se define como el contenido de agua con el cual se cierra una ranura de 1/8" (12.7 mm) mediante 25 golpes.

- El límite plástico se define como el contenido de agua con el cual el suelo se agrieta al formarse un rollito de ½" (3.18 mm) de diámetro (Designación de prueba D-4318 de la ASTM)
- El límite de contracción se define como contenido de agua con el cual el suelo no sufre ningún cambio adicional de volumen con la pérdida de agua (Designación de Prueba D-417 de la ASTM).

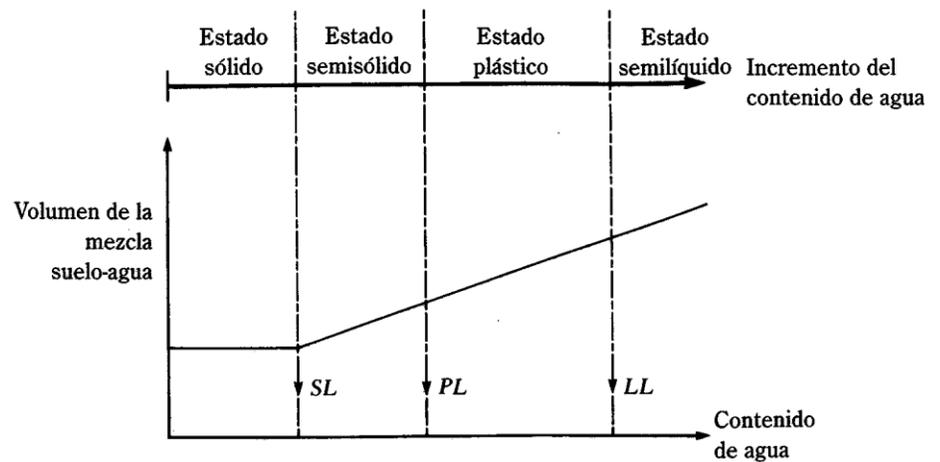


Figura 2. Definición de los límites de Atterberg (Braja M. Das, 2001, P15-16)

La diferencia entre el límite líquido y el plástico de un suelo se define como índice de plasticidad (PI). (Braja M. Das, 2001, P15-16)

$$PI = LL - PL$$

2.4.5 NORMA E050 SUELOS Y CIMENTACIONES

La Norma Técnica Peruana E-050 Suelos y cimentaciones, forma parte del Reglamento Nacional de Edificaciones aprobado mediante Decreto Supremo n.º 11-2006-VIVIENDA vigente desde el 9 de junio de 2006.

La citada norma técnica, tiene como objetivos establecer los requisitos para la ejecución de los Estudios de Mecánica de Suelos (EMS), con fines de cimentación y otras obras, con la finalidad de asegurar la estabilidad y permanencia de las obras para promover la utilización racional de los recursos.

En la citada norma, señala aspectos importantes referidos a: obligatoriedad de los estudios, alcances de los EMS, responsabilidad del profesional responsable, información previa que debe emplearse para su desarrollo de técnicas de investigación de campo, entre otros necesarios para garantizar, como bien se señala en el párrafo anterior garantizar el uso de los recursos.

Al respecto es importante detallar algunos de los puntos importantes para el desarrollo de los EMS, tales como:

Artículo 3.- OBLIGATORIEDAD DE LOS ESTUDIOS

3.1. Casos donde existe obligatoriedad

Es obligatorio efectuar el **EMS** en los siguientes casos:

- a) Edificaciones en general, que alojen gran cantidad de personas, equipos costosos o peligrosos, tales como: colegios, universidades, hospitales y clínicas, estadios, cárceles, auditorios, templos, salas de espectáculos, museos, centrales telefónicas, estaciones de radio y televisión, estaciones de bomberos, archivos y registros públicos, centrales de generación de electricidad, subestaciones eléctricas, silos, tanques de agua y reservorios.
- b) Cualquier edificación no mencionada en a) de uno a tres pisos, que ocupen individual o conjuntamente más de 500 m² de área techada en planta.
- c) Cualquier edificación no mencionada en a) de cuatro o más pisos de altura, cualquiera que sea su área.
- d) Edificaciones industriales, fábricas, talleres o similares.
- e) Edificaciones especiales cuya falla, además del propio colapso, represente peligros adicionales importantes, tales como: reactores atómicos, grandes hornos, depósitos de materiales inflamables, corrosivos o combustibles, paneles de publicidad de grandes dimensiones y otros de similar riesgo.
- f) Cualquier edificación que requiera el uso de pilotes, pilares o plateas de fundación.

g) Cualquier edificación adyacente a taludes o suelos que puedan poner en peligro su estabilidad.

En los casos en que es obligatorio efectuar un **EMS**, de acuerdo a lo indicado en esta Sección, el informe del **EMS** correspondiente deberá ser firmado por un **Profesional Responsable (PR)***.

En estos mismos casos deberá incluirse en los planos de cimentación una transcripción literal del «Resumen de las Condiciones de Cimentación» del **EMS** (Ver Artículo 12 (12.1a)).

* Ver Glosario

3.2. Casos donde no existe obligatoriedad

Sólo en caso de lugares con condiciones de cimentación conocida, debidas a depósitos de suelos uniformes tanto vertical como horizontalmente, sin problemas especiales, con áreas techadas en planta menores que 500 m² y altura menor de cuatro pisos, podrán asumirse valores de la Presión Admisible del Suelo, profundidad de cimentación y cualquier otra consideración concerniente a la Mecánica de Suelos, las mismas que deberán figurar en un recuadro en el plano de cimentación con la firma del **PR** que efectuó la estimación, quedando bajo su responsabilidad la información proporcionada. La estimación efectuada deberá basarse en no menos de 3 puntos de investigación hasta la profundidad mínima «p» indicada en el Artículo 11 (11.2c).

El **PR** no podrá delegar a terceros dicha responsabilidad.

En caso que la estimación indique la necesidad de usar cimentación especial, profunda o por platea, se deberá efectuar un **EMS**.

Artículo 6.- RESPONSABILIDAD PROFESIONAL POR EL EMS

Todo **EMS** deberá ser firmado por el **PR**, que por lo mismo asume la responsabilidad del contenido y de las conclusiones del informe. El **PR** no podrá delegar a terceros dicha responsabilidad.

Artículo 9.- INFORMACIÓN PREVIA

Es la que se requiere para ejecutar el **EMS**. Los datos indicados en los Artículos 9 (9.1, 9.2a, 9.2b y 9.3) serán proporcionados por quien solicita el **EMS** (El Solicitante) al **PR** antes de ejecutarlo. Los datos indicados en las Secciones restantes serán obtenidos por el **PR**.

9.1. Del terreno a investigar

- a) Plano de ubicación y accesos
- b) Plano topográfico con curvas de nivel. Si la pendiente promedio del terreno fuera inferior al 5%, bastará un levantamiento planimétrico. En todos los casos se harán indicaciones de linderos, usos del terreno, obras anteriores, obras existentes, situación y disposición de

acequias y drenajes. En el plano deberá indicarse también, la ubicación prevista para las obras. De no ser así, el programa de Investigación (Artículo 11), cubrirá toda el área del terreno.

c) La situación legal del terreno.

9.2. De la obra a cimentar

a) Características generales acerca del uso que se le dará, número de pisos, niveles de piso terminado, área aproximada, tipo de estructura, número de sótanos, luces y cargas estimadas.

b) En el caso de edificaciones especiales (que transmitan cargas concentradas importantes, que presenten luces grandes, alberguen maquinaria pesada o que vibren, que generen calor o frío o que usen cantidades importantes de agua), deberá contarse con la indicación de la magnitud de las cargas a transmitirse a la cimentación y niveles de piso terminado, o los parámetros dinámicos de la máquina, las tolerancias de las estructuras a movimientos totales o diferenciales y sus condiciones límite de servicio y las eventuales vibraciones o efectos térmicos generados en la utilización de la estructura.

c) Los movimientos de tierras ejecutados y los previstos en el proyecto.

d) Para los fines de la determinación del Programa de Investigación Mínimo (**PIM**)* del **EMS** (Artículo 11 (11.2)), las edificaciones serán calificadas, según la Tabla N° 1, donde **A**, **B** y **C** designan la importancia relativa de

la estructura desde el punto de vista de la investigación de suelos necesaria para cada tipo de edificación, siendo el **A** más exigente que el **B** y éste que el **C**.

TABLA N° 1 TIPO DE EDIFICACIÓN					
CLASE DE ESTRUCTURA	DISTANCIA MAYOR ENTRE APOYOS* (m)	NÚMERO DE PISOS (Incluidos los sótanos)			
		≤ 3	4 a 8	9 a 12	> 12
APORTICADA DE ACERO	< 12	C	C	C	B
PÓRTICOS Y/O MUROS DE CONCRETO	< 10	C	C	B	A
MUROS PORTANTES DE ALBAÑILERÍA	< 12	B	A	-	-
BASES DE MÁQUINAS Y SIMILARES	Cualquiera	A	-	-	-
ESTRUCTURAS ESPECIALES	Cualquiera	A	A	A	A
OTRAS ESTRUCTURAS	Cualquiera	B	A	A	A
* Cuando la distancia sobrepasa la indicada, se clasificará en el tipo de edificación inmediato superior.					
TANQUES ELEVADOS Y SIMILARES		<input type="checkbox"/> 9 m de altura	> 9 m de altura		
		B	A		

* Ver Artículo 11 (11.2)

9.3. Datos generales de la zona

El **PR** recibirá del Solicitante los datos disponibles del terreno sobre:

- Usos anteriores (terreno de cultivo, cantera, explotación minera, botadero, relleno sanitario, etc.).
- Construcciones antiguas, restos arqueológicos u obras semejantes que puedan afectar al **EMS**.

9.4. De los terrenos colindantes

Datos disponibles sobre **EMS** efectuados

9.5. De las edificaciones adyacentes

Números de pisos incluidos sótanos, tipo y estado de las estructuras. De ser posible tipo y nivel de cimentación.

9.6. Otra información

Cuando el **PR** lo considere necesario, deberá incluir cualquier otra información de carácter técnico, relacionada con el **EMS**, que pueda afectar la capacidad portante, deformabilidad y/o la estabilidad del terreno.

2.5 COMPORTAMIENTO DEL SUELO Y RECOMENDACIONES PARA GARANTIZAR LA VIDA UTIL

2.5.1 CLASIFICACION DE LOS SUELOS

Para efectos de ingeniería, es necesario clasificar a los suelos, por lo que es usual diferenciarlos a través de sus propiedades, lo cual permitirá establecer el uso más adecuado para fundaciones o en materiales de construcción. Los sistemas modernos de clasificación se diseñan para permitir una fácil interpretación de las observaciones de campo a las predicciones básicas de propiedades.

Uno de los sistemas de clasificación más comunes es el Sistema de Clasificación de Suelo unificado, SUCS, el mismo que clasifica a los suelos según como sigue:

1. Suelos de grano grueso (por ejemplo, arenas y gravas): se distingue principalmente porque los granos son observables a simple vista.
2. Suelos de grano fino (por ejemplo, limos y arcillas): son buenos y algunos no almacenan agua, retienen agua mejor que los granos superiores.
3. Suelos altamente orgánicos (referidos como «turba»).

Ver Anexo N° 1

Otro sistema de clasificación pero usado con mayor frecuencia en el diseño de pavimentos es Sistema de Clasificación de Suelos AASHTO.

En ese sentido, resulta importante conocer para que infraestructura o con que fines se requiere se clasifique el suelo, siendo de responsabilidad del profesional responsable del proyecto, señalar al responsable del EMS, para que fines se requiere evaluar y clasificar el suelo.

2.5.2 COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS EXPANSIVOS

Los suelos expansivos son un tipo de arcillas que tienen las propiedades de incorporar moléculas de agua a su estructura. El cambio de contenido de humedad hace que estos materiales experimenten importantes cambios de volumen.

Este fenómeno depende principalmente del contenido mineralógico de las arcillas, siendo la motmorillonita el mineral con mayor potencial expansivo, especialmente cuando ésta se encuentra compuesta con iones sódicos.

Los suelos expansivos se caracterizan por tener el siguiente comportamiento mecánico:

- Contracción de la arcilla debido al secado.
- Expansión de la arcilla al humedecerse.
- Desarrollo de presiones de expansión cuando está confinada y no puede expandirse.
- Disminución de sus resistencia al corte y de su capacidad de soporte al expandirse.

MOVIMIENTO DE LOS SUELOS EXPANSIVOS

- Movimientos irreversibles.- Aquellos que provocan levantamientos progresivos de diferentes partes de la edificación. Logra un equilibrio final de expansión.
- Movimientos estacionales.- Tienen su origen en los cambio de clima lluvioso variación estacional. Son procesos cíclicos.

CAUSAS DE EXPANSIÓN

- Anegación localizada
- Ascensión capilar proveniente de un nivel freático
- Períodos concentrados de alta precipitación combinados con drenaje deficiente
- Presencia de vegetación próxima a las edificaciones
- Variación del contenido de humedad de la arcilla por construcción de una estructura sobre ella.

METODOS DE IDENTIFICACIÓN DE LOS SUELOS EXPANSIVOS

Las técnicas de identificación de los suelos expansivos más comúnmente usadas son:

ii. Identificación visual

- Los suelos que tienen arcillas expansivas tienen consistencia pegajosa al ser mojados y se caracterizan porque cuando son secados muestran grietas superficiales y una textura de “popcorn”.

- Verificar que en las calzadas, aceras y calles de losas de concreto, los empalmes están al mismo nivel.
- Observar si la superficie está ondulada.
- Observar la presencia de grietas diagonales de las paredes exteriores
 - Observar las grietas en las puertas y ventanas.
 - Observar el levantamiento del piso en el interior de las viviendas. (Aguilar Bardales, 2001, p13)

iii. Ensayos de laboratorio

- Ensayos edométricos
- Expansión libre
- Expansión con carga controlada

METODOS PARA CARACTERIZAR EL POTENCIAL DE EXPANSIÓN

i. Métodos indirectos

- Ensayos de límites de Atterber
Según el Índice plástico

Cuadro N° 4

Potencial de expansión según el Índice Plástico.

IP	Categorización
0-15	Bajo
10-35	Medio
20-55	Alto
35 o más	Muy alto

Según el límite líquido

Cuadro N° 5.
Potencial de expansión según el Límite Líquido

LL	Clasificación
0-20	No hay hinchamiento
20-25	Bajo hinchamiento
35-50	Medio
50-70	Alto
70-90	Muy alto
>90	Extremo

Según el límite de contracción

Cuadro N° 6.
Grado de expansión según el Límite de contracción.

Límite de contracción (%)	Contracción lineal (%)	Grado de expansión
> 12%	> 8	Crítica
10-12	5-8	Marginal
< 10%	0-5	No crítica

2.5.3 EJECUCIÓN DE DRENAJES PARA COMBATIR LA PRESENCIA DE HUMEDAD²

El drenaje de un suelo representa su mayor o menor rapidez o facilidad para evacuar el agua dentro de el por escurrimiento superficial y por infiltración profunda.

- Varios estudios han señalado que hay problemas de drenaje si **el suelo es arcilloso al existir particular más finas que impiden el adecuado pase del agua**
- **En áreas planas o cóncavas del suelo, se presentan problemas de drenaje.**
- **Al pie de pendientes**, que es donde llega toda el agua de escorrentía.
- Asimismo, en un **jardín cerrado** por paredes, que carezca de una salida natural del agua por superficie puede acumular más agua de lo conveniente, lo cual puede generar problemas en las estructuras adyacentes.

En ese sentido, ¿Cómo se mejora el drenaje?

Si no se presentan las condiciones para drenaje las aguas, se recomienda instalar una red de tuberías de drenaje. Si no es tan grave, también se recomienda efectuar trabajos que permitan escurrir el agua hacia una estructura conveniente, de tal manera que se impida la acumulación de agua en el suelo.

² Información recopilada de <http://www.monografias.com/trabajos65/propiedades-suelo/propiedades-suelo.shtml#ixzz4JhnTnOO1>; y concordada con la bibliografía que se detalla en la parte correspondiente

Tales trabajos que se pueden crear son los siguientes:

1. Crea pendientes

Moldea el terreno dando pendientes suaves al terreno para que escurra el agua hacia un lado y salga por allí o bien se recoja con una canaleta. Hay que "guiar" al agua de lluvia y riego hacia donde nos interese dando pendientes adecuadas. Esta labor es fundamental al construir el jardín



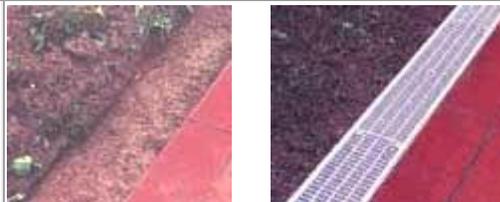
2. Nivelación

Nivela el terreno con el fin de suprimir las hondonadas o depresiones que acumulen agua.



3. Canaletas o zanjas

Coloca una canaleta o zanja al pie de una pendiente.



4. Drenes verticales

En el campo se usa a veces este sistema que consiste en abrir hoyos o pozos que llegan hasta un estrato poroso del subsuelo al que va a parar el agua de drenaje. Algunas veces se lo designa "pozo de drenaje o de infiltración".



5. Aporta arena y materia orgánica al suelo

En el momento de plantar, aporta una buena cantidad de **mantillo, compost, turba o estiércol** para esponjar el suelo y airearlo. Si además le echas arena de río, mezclándolo todo bien, mucho mejor.



2.5.4 MEJORAMIENTO DE SUELOS

Al respecto que en caso encontremos suelos especiales, se puede utilizar procedimientos constructivos tendentes a mejorar las características y propiedades, a ello en suelos se le denomina mejoramiento de suelos, siendo que el documento técnico N° 7 "Consideraciones sobre compactación de suelos en obras de infraestructura de transporte", señala lo siguiente sobre los diferentes métodos para ello:

Diferentes métodos para mejoramiento del comportamiento de suelos en obras lineales en el campo.

En rigor, la compactación es uno de los varios métodos de los que hoy se dispone para mejorar la condición de un suelo que haya de usarse en una obra de construcción pesada; es, además, sin duda uno de los más eficientes y de aplicación más universal; pero no es el único en que pueda pensarse.

La Tabla siguiente presenta un panorama más general sobre otras técnicas de utilización posible. (Rico y del Catillo³, 1992, p 8)

Tabla N° 2: Métodos de mejoramiento de suelos



Por su parte el ingeniero Brajam Das, en su libro “Principios de ingeniería de cimentaciones”, respecto del mejoramiento del suelo

³ Consideraciones sobre compactación de suelos en obras de infraestructura de transporte

y modificación del terreno, señalo que a veces encontramos suelos donde la construcción se hace difícil, requiriéndose procedimiento de mejoramiento del suelo para minimizar asentamiento, mejorar la resistencia cortante, incrementar la capacidad de carga, reducir la expansión, entre otros. Tal es el caso, que textualmente señalo lo siguiente:

El suelo en un sitio de construcción no será siempre totalmente adecuado para soportar estructuras como edificios, puente, carreteras y presas. Por ejemplo, en depósitos de suelo granular en suelo in situ tal vez esté muy suelto e indique un gran asentamiento elástico. En tal caso, tiene que ser densificado para incrementar su peso específico así como su resistencia cortante.

Algunas veces, las capas superiores del suelo no son adecuadas y deben retirarse y reemplazarse con mejor material sobre el cual pueda construirse una cimentación estructural. El suelo usado como relleno debe estar bien compactado para soportar la carga estructural deseada. Los rellenos compactados también requieren en área de poca altura para elevar el terreno donde se construirá una cimentación.

Estratos de arcilla blanda saturada a menudo se encuentran a poca profundidad debajo de las cimentaciones. Dependiendo de la carga estructural y de la profundidad de los estratos de arcilla, ocurren grandes asentamientos por consolidación,

requiriéndose entonces procedimientos especiales de mejoramiento del suelo para minimizar los asentamientos.

En el capítulo 11 mencionamos que las propiedades de los suelos expansivos se alteran considerablemente agregando agentes estabilizadores como la cal. El mejoramiento in situ de suelos por medio de aditivos se conoce como estabilización.

Varios procedimientos para el mejoramiento del suelo se usan para:

1. Reducir el asentamiento de las estructuras.
2. Mejorar la resistencia cortante del suelo e incrementar así la capacidad de carga de las cimentaciones superficiales.
3. Incrementar el factor de seguridad contra posibles fallas de los taludes de riberas y presas de tierra.
4. Reducir la contracción y expansión de suelos. (Braja M. Das, 2001, P 764)

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 HIPOTESIS

Durante el período 2008-2011, se ejecutó la obra: “Construcción del Parque del Niño y de la Familia en el Centro Poblado de San Antonio, Provincia Mariscal Nieto, Moquegua”, siendo que durante su puesta en funcionamiento, se ha evidenciado fisuras en las construcciones efectuadas, como el circuito de cars, servicios higiénicos, muros de contención.

Asimismo, durante la visita de inspección y evaluación de daños, se encontró presencia de humedad en el terreno de fundación, e inclusive aquel que se encuentra por debajo de la geomenbrana instalada, situaciones que han generado que la infraestructura construida no pueda ser utilizada, y ello se debería a problemas en el suelo de fundación, tales como presencia de suelo con características expansivas, así como, presencia de humedad.

Bajo esta premisa, era importante conocer las características del suelo de fundación, y determinar su comportamiento, para garantizar la vida útil del Parque del Niño.

3.1.1. HIPOTESIS ESPECÍFICAS

- De la revisión a los documentos que revisten la ejecución del parque del niño, así como visita de inspección, se advierte fisuras en la zona de car, así como grietas en los servicios higiénicos, que se deberían a que el suelo de fundación se ha expandido, por lo que se trataría de un suelo con porcentaje de arcillas elevados.

En ese sentido, era importante conocer las características del suelo de fundación y agentes externos, como tipo de suelo, textura, porcentaje de humedad, peso específico, límites de consistencia, así como, la presencia de agua en el sub suelo, para así conocer el suelo de fundación sobre el cual se planteaba y se ejecutó el Parque del Niño, a fin de garantizar su vida útil.

- Con la determinación de las características del suelo de fundación y agentes externos del mismo, se podría establecer o avizorar comportamientos que impidan daños en la infraestructura construida del parque del niño, y garantizar su vida útil.

3.2 VARIABLES E INDICADORES

Las características del suelo de fundación, como tipo de suelo, textura, porcentaje de finos, porcentaje de humedad, peso específico, límites de consistencia, son aspectos importantes que se debieron tomar en cuenta para determinar el comportamiento del suelo del fundación, sobre el cual se ejecutó el Parque del Niño y de esa manera ejecutar

procedimientos constructivos, como mejoramiento del suelo y ejecución de drenajes, para garantizar su vida útil.

3.2.1 Identificación de la Variable Independiente

“Conocimiento del suelo de fundación”

El conocimiento del suelo, esta principalmente ligado al conocimiento de sus características y/o propiedades, y para éste caso en especial, conociendo los antecedentes históricos del tipo de suelo, era necesario:

- Conocer el porcentaje de humedad
- Límites de consistencia: límite líquido y plástico.
- Peso específico.

Tabla 3

Contenido de agua y peso específico, típicos para algunos suelos

Tipo de suelo	Contenido de agua natural en condición saturada (%)	Peso específico seco (KN/m ³)
Arena uniforme suelta	30	14.5
Arena uniforme densa	16	18
Arena limosa suelta de grano anguloso	25	16
Arena limosa densa de grano anguloso	15	19
Arcilla dura	21	17
Arcilla suave	30-50	11.5-14.5
Loes	25	13.5
Arcilla orgánica suave	90-120	6-8
Morrena glacial	10	21

Nota: Recuperado de “Principios de Ingeniería de Cimentaciones”, Braja M., 2001, p. 11

3.2.2 Identificación de la Variable Dependiente

“Determinar el comportamiento del suelo de fundación para garantizar la vida útil”

Se considera como indicadores de esta variable:

- Tipo de suelo a través de la clasificación del suelo⁴ (SUCS).
(Ver anexo N° 1).
- Comportamiento de los suelos expansivos.

Asimismo, una vez conocida sus características y/o propiedades del suelo de fundación, en ingeniería⁵ es posible optar por

⁴ El sistema unificado de clasificación de suelos utiliza los siguientes símbolos:

Símbolo	G	S	M	C	O	Pt	H	L	W	P
Descripción	Grava	Arena	Limo	Arcilla	Limos orgánicos y arcilla	Turba y suelos altamente orgánicos	Alta plasticidad	Baja plasticidad	Bien graduados	Mal graduados

⁵ Al respecto, la Norma técnica E.050 - Suelos y Cimentaciones, del Reglamento Nacional de Edificaciones, señala:

CAPITULO 6

PROBLEMAS ESPECIALES DE CIMENTACION

Artículo 29.- SUELOS COLAPSABLES

Son suelos que cambian violentamente de volumen por la acción combinada o individual de las siguientes acciones:

- a) Al ser sometidos a un incremento de carga o
- b) Al humedecerse o saturarse

29.3 Cimentaciones en áreas de suelos colapsables

Las cimentaciones construidas sobre suelos que colapsan (CP 5) están sometidas a grandes fuerzas causadas por el hundimiento violento del suelo, el cual provoca asentamiento, agrietamiento y ruptura, de la cimentación y de la estructura. Por lo tanto no esta permitido cimentar directamente sobre suelos colapsables. **La cimentación y los pisos deberán apoyarse sobre suelos no colapsables. Los pisos no deberán apoyarse directamente sobre suelos colapsables.**

Artículo 30.- ATAQUE QUIMICO POR SUELOS Y AGUAS SUBTERRANEAS

30.1 Generalidades

Las aguas subterráneas son más agresivas que los suelos al estado seco; sin embargo al humedecimiento de un suelo seco por riego, filtraciones de agua de lluvia, fugas de conductos de agua o cualquier otra cauda, puede activar a las sales solubles.

Artículo 31.- SUELOS EXPANSIVOS

Son suelos cohesivos con bajo grado de saturación que aumentan de volumen al humedecerse o saturarse.

(...)

31.3 Cimentaciones en áreas de suelos expansivos

Las cimentaciones construidas sobre arcillas expansivas están sometidas a grandes fuerzas causadas por la expansión, las cuales provocan levantamiento, agrietamiento y ruptura de la cimentación y de la estructural. Por tanto no esta permitido cimentar directamente sobre suelos expansivos o con potencial de expansión bajo. Los pisos no deberán apoyarse directamente sobre suelos expansivos y deberá dejarse un espacio libre suficientemente holgado para permitir que el suelo bajo el piso se expanda y no lo afecte.

procedimientos constructivos tendentes a garantizar la vida útil, tales como:

- Construcción de un sistema de drenaje.
- Mejoramiento del suelo de fundación

3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo, por las características de recojo de información, el análisis del problema, el enfoque del tema, los recursos obtenidos corresponde a una investigación de carácter descriptivo – explicativo.

3.4 AMBITO DE ESTUDIO

Comprende el área de 10 170,39 m² destinada para la ejecución de la “Construcción del Parque del Niño y la Familia en el Centro Poblado San Antonio, provincia Mariscal Nieto – Moquegua”

3.5 UNIDADES DE ESTUDIO Y MUESTRA

Respecto a ello, el Reglamento Nacional de Edificaciones en su norma técnico E.050 Suelos y Cimentaciones, menciona:

Artículo 11.- PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN

(...)

11.2 Programa de Investigación Mínimo – PIM

El programa de investigación aquí detallado constituye el programa mínimo requerido por un EMS, siempre y cuando se cumplan las condiciones dadas en el Artículo 11 (11.2a)

De no cumplirse las condiciones indicadas, el PR deberá ampliar el programa de la manera más adecuada para lograr los objetivos del EMS.

(...)

b) Número “n” de puntos de Investigación

El número de puntos de investigación se determina en la Tabla N° 6 en función del tipo de edificación y del área de la superficie a ocupar por éste.

TABLA N°6

NUMERO DE PUNTOS DE INVESTIGACIÓN

Tipo de edificación	Número de puntos de investigación (n)
A	1 cada 225 m ²
B	1 cada 450 m ²
C	1 cada 800 m ²

Urbanizaciones para Viviendas 3 por cada Ha. De terreno habilitado

Unifamiliares de hasta 3 pisos.

(n) nunca será menor de 3, excepto en los casos indicados en el Artículo 3 (3.2).

No obstante, se tiene que para el presente caso, se ha considerado ejecutar la inspección visual en todo el recinto, identificando que las principales fallas se encuentran en los servicios higiénicos y cuarto de depósito, y es allí donde se han ejecutado las dos excavaciones, y los ensayos respectivos.

3.6 RECOLECCION Y TÉCNICAS DE LA INVESTIGACIÓN

Las técnicas de investigación proporcionan una serie de normas para ordenar la etapas de la producción científica, aportan instrumentos y medios para la recolección, concentración y conservación de los datos; elaboran sistemas de clasificación, cuantificación, miden y correlacionan los datos y proporcionan a la ciencia el instrumental, técnicas empleadas en

la selección de muestras población y muestras de estudio y técnicas de selección toma de datos.

Observación directa o indirecta. Se realiza el reconocimiento, del terreno para la evaluación superficial de la infraestructura construida y los daños ocasionados.

- **Muestreo y Trabajos de Campo.-** Técnicas para la investigación de campo: recoger, registrar, y elaborar datos, construir los instrumentos para la recolección de información, se basaran en lo señalado en la norma E050 Suelos y Cimentaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones.
- **Ensayos de Laboratorio.-** Técnicas para la investigación en laboratorio, ensayos como Granulometría, Límites de Consistencia, humedad, tipo de suelo, necesarios para el desarrollo de la tesis.
- **Experimentación.-** Así mismo, la investigación tiene carácter experimental, pues se recurrirá al laboratorio para determinar las características y propiedades del suelo de fundación.
- **Procesamiento, presentación, análisis e interpretación de los datos;** luego de realizados los ensayos se procedió a efectuar el análisis e interpretación de los resultados obtenidos, para determinar el comportamiento del suelo y los daños causados a la infraestructura construida.

3.7 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La metodología que se utilizó para determinar la peligrosidad del suelo en que se construyó el parque del niño y la familia, se efectuó una inspección visual de los daños ocasionados en la infraestructura ejecutada, siendo que los principales daños se dieron en el área donde se ejecutó la pista de carros, posteriormente, se efectuaron revisión de los antecedentes de la ejecución, tales como la revisión del expediente técnico, y luego la revisión de los acontecimientos principales de la ejecución respecto del movimiento del suelo de fundación, para finalmente efectuar los ensayos correspondientes a fin de determinar las características sobre las cuales se cimentó la citada obra.

a) Inspección visual de los daños

Durante la primera visita de campo realizada, se advirtió la falla en muros y pisos, evidenciando fisuras y desplazamientos en los pisos, muros de albañilería, muro de cerco perimétrico.

b) Conocimiento preliminar

El proyecto fue concebido como un espacio abierto, definido por cuatro cuadrantes de actividades recreativas seleccionadas y asociadas por edades promedio (Grupo Etareo), desde la más activa hasta la más pasiva, todas ellas ligadas a un paseo central (eje principal); que es el generador de las concentraciones familiares en recorridos que posibiliten escoger la actividad a realizar.

Zonificación:

Considerando que el Parque es un equipamiento urbano, que está ligado a la estructura de la zona, se ha considerado dos zonas principales de tratamiento, una externa y una interna.

Estructura Externa: Portada de Ingreso, Boleterías, Muro Perimétrico, Veredas, Estacionamiento.

Estructura Interna: Paseo Peatonal Principal o Central, Plaza Central, Pileta Ornamental, Paseo Peatonal Lateral o Transversal, Estar Público (3), Modulo de Servicios Higiénicos y Tienda (6), Arbolería, Mobiliario y Tanque Cisterna de Agua

Zona Recreativa Infantil:

Glorieta, Sendero de Enlace, Sendero Recreativo, Poza de Chapoteo, Carrusel, Modulo de Columpios, Juegos Grap Kids, Play Ground, Modulo Madera Metal, Resbalones, Sube y Baja, Grass y Vestidor

Zona Recreativa para Niños:

Circuito Car, Glorieta, Sendero de Enlace, Sendero Restringido, Grass, Graderías de Espectadores

Zona Recreativa Juvenil:

Pista de Patinaje, Sendero de Enlace, Grass, Espejo de Agua, Zona Recreativa para la Familia, Anfiteatro, Escenario, Gradería, Vestuarios, Corredor Apergolado, Sendero de Enlace, Grass y Espejo de Agua.

En el cuadro adjunto se presenta las áreas de ejecución por componentes del proyecto.

Tabla 4
Áreas programadas del proyecto

COMPONENTES	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD
1	AREA DEL TERRENO	M2	10170.39
2	LONGITUD DE MURO PERIMETRICO	M	377.57
3	AREA TECHADA DE ANFITEATRO	M2	76.88
4	AREA DE GRADERIAS DE ANFITEATRO	M2	221.95
5	AREA DE APERGOLADO DE ANFITEATRO	M2	142.76
6	AREA TECHADA DE MODULOS DE SERVICIOS	M2	197.22
7	AREA DE PISTA DE PATINAJE	M2	529.00
8	AREA DE PISTA DE CIRCUITO CAR	M2	340.50
9	AREA DE CAMINERÍAS	M2	1419.06
10	AREA DE FUENTE DE AGUA	M2	157.48
11	AREA DE POZA DE CHAPOTEÓ	M2	129.72
12	AREA DE PILETA CENTRAL	M2	47.78
13	AREA TECHADA DE CISTERNA	M2	49.56
14	AREAS VERDES	M2	3060.34
15	AREA DE ESTACIONAMIENTO	M2	281.07
16	AREA DE VEREDA PERIMETRAL	M2	927.76
17	AREA TECHADA BOLETERIA Y C. DE CONTROL	M2	12.10
18	AREA DE GLORIETAS	M2	72.00
19	AREA DE ESTARES PUBLICOS	M2	200.76

Nota: Recuperado de "Memoria descriptiva del Expediente Técnico", Civsa, 2007, p 2
Ver anexo N° 2: Plano de distribución general según expediente técnico

i. Monto presupuestado

El monto del presupuesto base asciende a la suma de **S/. 3'372 616.73** (Tres Millones Trescientos Setenta y Dos Mil Seiscientos Dieciséis con 73/100 Nuevos Soles); el cual se encuentra conformado por los siguientes Sub presupuestos:

Código	Descripción	Cantidad	Precio (S/.)
001	ESTRUCTURAS	1.00	1,490,889.93
002	ARQUITECTURA	1.00	1,200,224.85
003	INSTALACIONES SANITARIAS	1.00	206,873.12
004	INSTALACIONES ELECTRICAS	1.00	365,039.35
005	SEGURIDAD	1.00	109,589.48

ii. Ubicación:

El terreno está ubicado en el perímetro que forman las Avenidas: Av. San Antonio, Av. Mariscal Domingo Nieto Márquez, Av. San Francisco de Asís y la Av. José Carlos Mariátegui La Chira; tiene un área de intervención de 10,174.98 m², debidamente comprobados en el levantamiento topográfico realizado.

Ver anexo N° 3: Plano de ubicación

iii. Estudio de Mecánica de suelos

Sobre el particular, el expediente técnico, contó con un estudio de mecánica de suelos, en mismo que se advierte efectuaron 3 calicatas, según se muestra en el croquis que se encuentra en el anexo N° 4, con una altura promedio de exploración de tres metros, que revelaron que el terreno de fundación se encontraba conformado por dos estrados, uno de arena bien graduada y otro de arena pobremente graduada y arena limosa, según se muestra a continuación:

ESTRATO I.- Conformado por arena gravosas y gravas arenosas, con limos que le dan una coloración rosácea y amarillenta al estrato, se encuentra con mediana compacidad, poco deleznable, poco húmeda, presenta bolonería esporádica de hasta 20 cm. Este estrato se presenta en la calicata uno y dos en toda la altura de exploración, en la tres solo se aprecia vestigios en la parte superficial.

ESTRATO II.- Conformado por una alternancia de sub estratos de arenas limosas y limos arenosos con lentes de aluvial granular. La sub estrato finos se encuentra muy compactos y se aprecia claramente la inter estratificación, típica de los aluviales, por lo cual los finos de este estrato han perdido actividad expansiva y plástica. Este estrato se aprecia en la calicata tres y en el corte efectuado adyacente a la zona de estudio.

En ese sentido, se tiene de la revisión al contenido del estudio de mecánica de suelos no advirtió de la presencia de arcillas en el suelo de fundación del parque del niño, situación contradictoria respecto a los estudios realizados en la zona; asimismo, se advierte que dicho estudio no se encuentra con todos los contenidos mínimos que señala la norma técnica peruana, como: **la información previa**, que hubiera permitido tomar conocimiento del tipo de suelo arcilloso en el sector de San Antonio; así como, el resumen de las condiciones de cimentación y el análisis de la misma, para determinar si la profundidad (3.00 m) a la cual se estaban realizando las exploraciones eran suficientes para poder cimentar todas las estructuras programadas como el anfiteatro, la pista de patinaje entre otros.

De otro lado, se advierte que las tres calicatas que incluyó el expediente técnico en su estudio de mecánica de suelos no eran suficientes para determinar las características totales del suelo de fundación, considerando que dicho expediente planteaba la ejecución en 10,174.98 m²; **toda vez que no cumplía lo señalado en el artículo 11°, numeral 11,2 literal b) número de puntos de investigación, de la norma técnica E-050 del Reglamento**

Nacional de Edificaciones, que señala que para el tipo de edificaciones “B” debió considerar como mínimo 1 cada 450 m² (calicatas), es decir un mínimo de 12 calicatas, advirtiendo que dicho documento técnico fue aprobado sin cumplir tal aspecto normativo.

c) Acontecimientos importantes durante la ejecución

El 2 de enero de 2008, se dio inicio a la ejecución de la obra, los ejecutores advirtieron de la presencia de invasores en el lugar de ejecución, situación que generó la ejecución de trabajos adicionales como movimiento de tierras para la conformación de la plataforma donde se asentarían éstos, instalación de puntos de agua y servicio eléctrico.

De la revisión a los documentos, se advierte que los ejecutores cambiaron el diseño arquitectónico inicial en su totalidad, reduciendo el área a ejecutar, tal como se revela en el anexo N° 5:2 “Plano de diseño arquitectónico ejecutado”; **situación que generó mayores movimientos de tierra, es decir, mayores áreas de excavación con profundidades mayores a las señaladas en el expediente técnico inicial.**

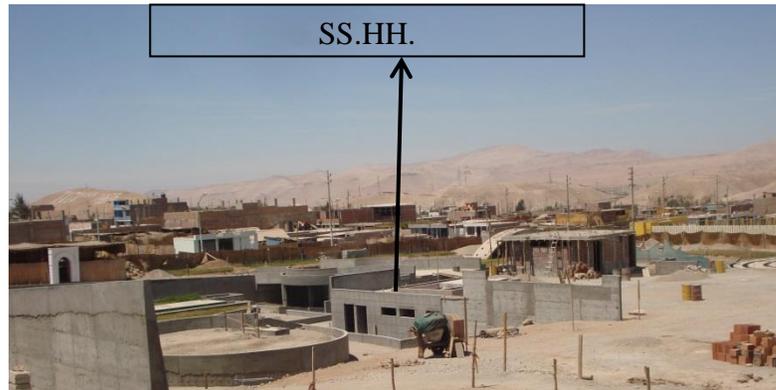


Foto N° 1: Fotografía parque en construcción, ubicación de los servicios higiénicos

En ese entender, durante la ejecución de los trabajos de excavación de la Zona de Moto Car, el mismo que fue cambiado de lugar (de la esquina de la avenida San Antonio Norte con avenida Mariscal Domingo Nieto; a la esquina de la Avenida San Antonio Norte con avenida José Carlos Mariátegui), además se realizar excavaciones mayores de 5 m (cuando las calicatas del estudio de mecánica de suelos sólo fueron hasta una profundidad de 3 m); se evidenció presencia de aguas subterráneas, situación que alertó a los ejecutores y generó la elaboración de un estudio geotécnico.



Foto N° 2: Fotografía Zona Car

El estudio geotécnico, reveló que el suelo de fundación era una arcilla, denominado moro moro, con un porcentaje de expansión de 9.5% y con una presión de expansión de 6.9 kg/cm²; situación de atención toda vez, que se tenía los dos factores para la falla del suelo y la estructura construida sobre ésta: arcilla y agua.

Bajo ese contexto, los ejecutores optaron por la ejecución de un sistema de drenaje no conocido en las práctica de ingeniería (Ver gráfico 1), construyendo un canal de concreto cerrado, con graba en su interior que tenía como finalidad captar las aguas subterráneas y llevarlas a través de una tubería a una cisterna construida debajo de los servicios higiénicos, para conducir dicha agua para riego del área verde.



Grafico 1: Esquema del sistema de drenaje propuesto por el residente de obra, Recuperado de “Cuaderno de obra tomo II”, anotaciones del residente de obra, asiento N° 108, 2008-2010, p43

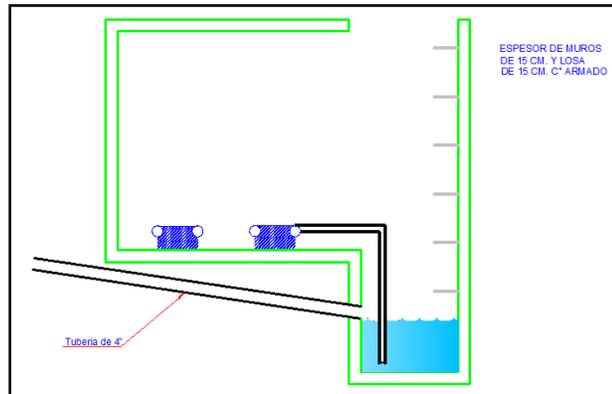


Grafico 2: Esquema del sistema de almacenamiento del drenaje (propuesto por el residente de obra)

Recuperado de "Cuaderno de obra tomo II", anotaciones del residente de obra, asiento N° 108, 2008-2010, p43

CAPITULO IV

4. PRESENTACION DE RESULTADOS

En esta sección se busca realizar los ensayos y el análisis de los resultados obtenidos durante el proceso de investigación. Esta etapa es una de las más importantes ya que permitirá además validar o rechazar la hipótesis planteada para la investigación.

La secuencia que se sigue será la siguiente: en primer lugar se realiza los ensayos de laboratorio y se analiza los resultados obtenidos mediante los ensayos necesarios para determinar el tipo de suelo sobre el cual está construido el parque del niño, así como la presencia de humedad, y si esto era importante para garantizar la vida útil de la infraestructura.

En ese sentido, resulta importante conocer como fue el suelo de fundación antes del inicio de la construcción, para luego compararlo con los resultados que se hicieron durante el proceso de construcción, así como, con los obtenidos en el presente trabajo, realizando un análisis de tales resultados tendentes a validar o no la hipótesis.

4.1 Características del suelo de cimentación

El Estudio de Mecánica de Suelos del parque del niño, reveló que el suelo en el primer estrato era una grava bien graduada GM, mientras que para el estrato inferior era una grava pobremente graduada y grava limosa, es de señalar que tales excavaciones se hicieron con una profundidad máxima de 3 m; cuyos resultados se indican a continuación:

ESTRATO I

Grava : 42.26 %

Arena : 52.79 %

Finos : 04.95 %

Límite líquido : NP

Límite plástico : NP

SUCS : SW

ESTRATO II

Grava : 00.00 %

Arena : 92.29 %

Finos : 07.71 %

Límite líquido : NP

Límite plástico : NP

SUCS : SP-SM

Índice de poros : 0.68

Porosidad : 40.48 %

Peso específico : 2.61

Peso volum. Saturado : 1.958 gr/cm³

Peso volum. Sumergido : 0.958 gr/cm³

Peso volumétrico natural seco : 1.549 gr/cm³

Angulo de fricción : 30.8 °

Cohesión : 0.0 kg/cm²

Determinando las siguientes características geotécnicas de los estratos

ESTRATO I.- Por su predominio granular, grado de compactación, y finos no plásticos en menor porcentaje este estrato es adecuado con fines de cimentación.

ESTRATO II.- Por su predominio de grano fino, finos no plásticos y grado de compactación este estrato es adecuado confines de cimentación, pero en menor grado que el estrato anterior, por lo cual se realiza el análisis para este que constituye el más desfavorable.

Sin embargo, conforme lo expuesto en líneas arriba, se tiene que estudios anteriores a la elaboración del expediente técnico del parque del niño, revelaron que el suelo de fundación del sector San Antonio, información que debió considerar el profesional responsable de dicho estudio, con fines de tener y brindar mayor conocimiento del suelo de fundación al ejecutor.

4.2 **Conocimiento de las características del suelo durante la ejecución de la obra**

Transcendió que durante la ejecución de la obra, se evidenció la presencia de agua subterránea a una profundidad de 5 m, altura promedio para la ejecución de la zona de car.

En Tal sentido, los encargados de la ejecución efectuaron un estudio geotécnico, el mismo que arribó a lo siguiente:

La estratigrafía encontrada es bastante regular en toda la zona en estudio, variando el espesor del estrato gravo-arenoso y por consiguiente la profundidad del estrato arcilloso de la formación Moquegua inferior, comúnmente denominada mor-moro.

- b. Los ensayos realizados en el laboratorio con la arcilla de baja plasticidad (CL), denominada moro-moro, indican que el porcentaje de expansión es de 9.5% (moderado) y la presión de expansión de 6.9 kg/cm². La actividad del suelo es alrededor de 1.2; que corresponde a suelos de mediano potencial de expansión. El límite líquido del suelo varía de 45 a 55%, el límite plástico de 20 a 30%, y el índice plástico de 20 a 25%.
- c. Las calicatas, trincheras y los ensayos de resistividad eléctrica indican que la napa freática se encuentra muy cerca de la superficie. En el lado suroeste se encuentra a unos 5 m. de la superficie. Existen dos posibles fuentes de agua en la zona, agua de origen natural proveniente de las partes altas lado este del valle y fugas de agua de las redes de abastecimiento de agua y recolección de desagües.
- d. La capacidad admisible de carga recomendada para las zapatas corridas y rectangulares es de 15 ton/m² considerando el asentamiento admisible y la falla por corte (capacidad portante según Meyerhof). Se restringe el asentamiento máximo en centro de la zapata a 1.5 cm. Y el asentamiento diferencial a 1/300 para estructuras comunes sin considerar el potencial expansivo del suelo. Para las zapatas se recomienda un nivel mínimo de cimentación de 1.5 m. No se prevén problemas de licuación.

- e. Generalmente en el tratamiento de suelos expansivos se considera: el reemplazo de material circundante a la cimentación con capas compactadas, el cambio de la naturaleza del suelo expansivo por compactación, estabilización química (cemento o cal), instalación de barreras impermeabilizantes (Geomembranas o pantallas) y/o el reforzamiento de las estructuras para que puedan soportar la presión de expansión.
- f. En el caso del parque del niño y la familia se ha optado por el criterio de impedir el ingreso de agua al subsuelo para evitar afectar a las estructuras del parque, centro de salud san Antonio y de las viviendas colindantes. Por consiguiente, se recomienda que las zonas de jardines con plantas naturales se construyan “maceteros gigantes” con geomembranas de PVC o HDPE para evitar la infiltración de agua durante el riego.
También, se recomienda el uso de geomembranas por debajo del concreto en las áreas de los espejos de agua, poza de chapoteo tanque de agua, piletas y pisos de los baños.
Se sugiere que las geomembranas de HDPE tengan un espesor mínimo de 1.5 mm. (60 mils) o geomembrana de PVC de 0.75 mm (30 mils) de espesor. Se recomiendan geomembranas de PVC debido a que son generalmente menos costosas que las geomembranas de polietileno (PE) Las soluciones deberán evaluarse de acuerdo al costo beneficio.
- g. En el caso del vaciado de concreto, se recomienda el uso de un geotextil agujado en ambas caras de la geomembrana, que cumplirá varias funciones como proteger de los daños que pueda sufrir la geomembrana por protuberancias del suelo inferior y ayudara a disipar las presiones de poro que puedan desarrollarse

por el agua de infiltración y finalmente mejorar la adherencia con el concreto de la losa.

- h. En la zona de los pavimentos y veredas se recomienda estabilizar con cemento en un 4% de peso en la última capa de compactación del suelo SC (Muestra M-1), debido a que disminuye el límite líquido y por consiguiente baja el índice de plasticidad, reduciendo en parte el potencial de expansión del suelo. Se descartó el uso de cal hidratada, debido a que se requieren permisos y autorizaciones que toman tiempo en obtenerlos y la obra está en proceso de construcción. Un ingeniero civil debe estar presente durante la mezcla y el control de calidad de la compactación.
- i. El agua subterránea que se presenta en el contacto entre el material aluvial y el moro-moro debe ser controlada con drenes tipo francés para mantener el nivel freático por debajo de este nivel. Los drenes deben ser paralelos a las avenidas José Carlos Mariátegui y San Antonio Norte con el objeto que discurra el agua hacia el lado suroeste del parque (zona de vestuarios) y que pueda ser bombeada la parte alta para su uso o eliminación. La profundidad del dren se determinara en el campo (se sugiere un metro por debajo del contacto).
- j. Se recomienda la instalación de tres piezómetros de tubo (tipo Casagrande) para monitorear el nivel freático y el comportamiento del dren proyectado. Los piezómetros deben tener una profundidad mínima de 10 m. y estar ubicado en los extremos y en la curva del dren junto a las avenidas San Antonio Norte y José Carlos Mariátegui.

- k. Las tuberías de agua y desagüe de baños, pozas, piletas y fuentes deben ser visibles (no enterradas) para evitar riesgo de fugas internas y la infiltración de agua con la cimentación.

El uso de césped sintético es una buena alternativa en la zona de juegos infantiles, siendo recomendable porque no necesita agua y no requiere mayor mantenimiento.

- l. Las conclusiones y recomendaciones de este informe son solo aplicables al terreno estudiado. No se pueden aplicar a otros fines o a otros sectores. El suscrito se encuentra disponible a cualquier requerimiento de la Municipalidad Provincial Mariscal Nieto de Moquegua durante la etapa constructiva.

Situación que confirmó la presencia de arcillas en el suelo de fundación, y al ser un suelo especial, catalogado así según el Reglamento Nacional de edificaciones⁶, se debió dar importancia a dicha información, con fines de optar por procedimientos constructivos que permitan cautelar la inversión que se estaba ejecutado.

Solución otorgada por los ejecutores

No obstante lo señalado, respecto de las conclusiones y recomendaciones efectuadas por el consultor, se ejecutó un sistema de drenaje no convencional, **totalmente diferente a lo recomendado por el consultor**,

⁶ Norma técnica E.050 - Suelos y Cimentaciones, del Reglamento Nacional de Edificaciones, señala:

CAPITULO 6

PROBLEMAS ESPECIALES DE CIMENTACION

Artículo 31.- SUELOS EXPANSIVOS

Son suelos cohesivos con bajo grado de saturación que aumentan de volumen al humedecerse o saturarse.

(...)

31.3 Cimentaciones en áreas de suelos expansivos

Las cimentaciones construidas sobre arcillas expansivas están sometidas a grandes fuerzas causadas por la expansión, las cuales provocan levantamiento, agrietamiento y ruptura de la cimentación y de la estructural. Por tanto no está permitido cimentar directamente sobre suelos expansivos o con potencial de expansión bajo. Los pisos no deberán apoyarse directamente sobre suelos expansivos y deberá dejarse un espacio libre suficientemente holgado para permitir que el suelo bajo el piso se expanda y no lo afecte.

construyendo un canal de concreto con grava en su interior y pequeñas perforaciones que tendrían la finalidad de captar el agua subterránea y llevarla hacia una cisterna de agua para riego.

Tampoco se advierte que se hayan colocado piezómetros para monitorear el escurrimiento del agua, ni la ejecución de estabilizaciones con cemento, ni la colocación de gras sintético.

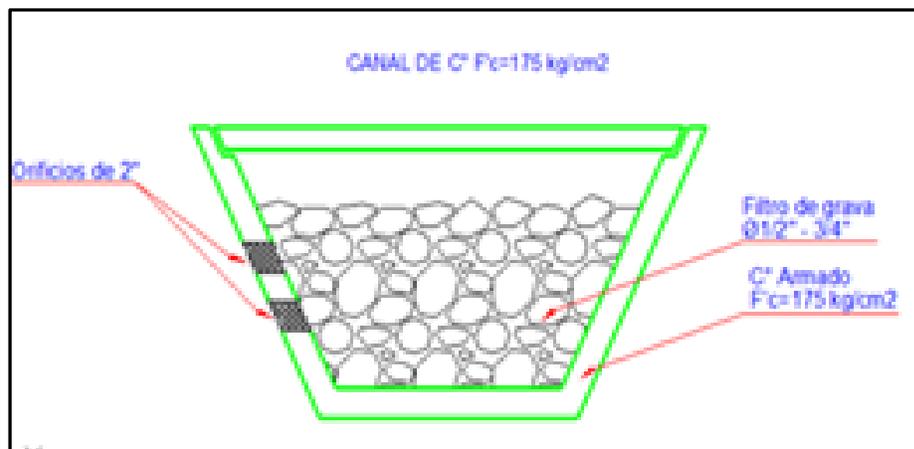


Grafico 3: Canal de drenaje

Recuperado de "Cuaderno de obra tomo II", anotaciones del residente de obra, asiento N° 108, 2008-2010, p43

Asimismo, se procedió a la colocación de una Geomenbrana sobre el terreno (relleno compactado), la misma que según las exploraciones realizadas se encontró en un promedio de 30 cm por debajo del nivel de piso terminado, el mismo que tendría por finalidad proteger el terreno de fundación del agua de riego. Por lo que considerando el área verde contemplada en toda el área de ejecución, podría generar expansiones por el comportamiento del suelo arcilloso.

Sin embargo, a pesar de los trabajos **no convencionales** por el ejecutor, ya que no obedecieron a prácticas constructivas conocidas para drenar el agua, se evidenció la existencia de agua por debajo de la geomenbrana, acreditándose que el canal drenante no fue suficiente para captar la cantidad de agua subterránea.



Foto N° 3: Geomenbrana instalada a 20 cm

Situación que genero el humedecimiento del terreno de fundación, sobre el cual se construyó el depósito el circuito car y los servicios higiénicos del parque del niño, y como era de esperarse al ser el suelo de fundación arcilloso, se generaron expansiones, por tanto, fisuras, y fallas en la infraestructura construida.



Foto N° 4, Humedad debajo de la geomenbrana.

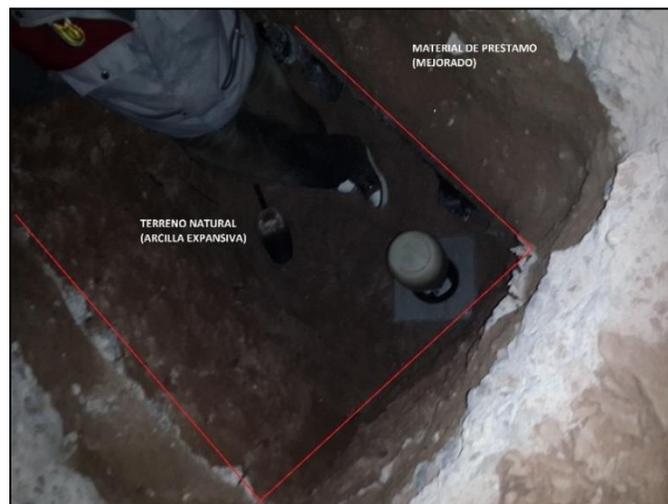


Foto N° 5: Excavación de la calicata, encontrando material de relleno y terreno natural húmedo.

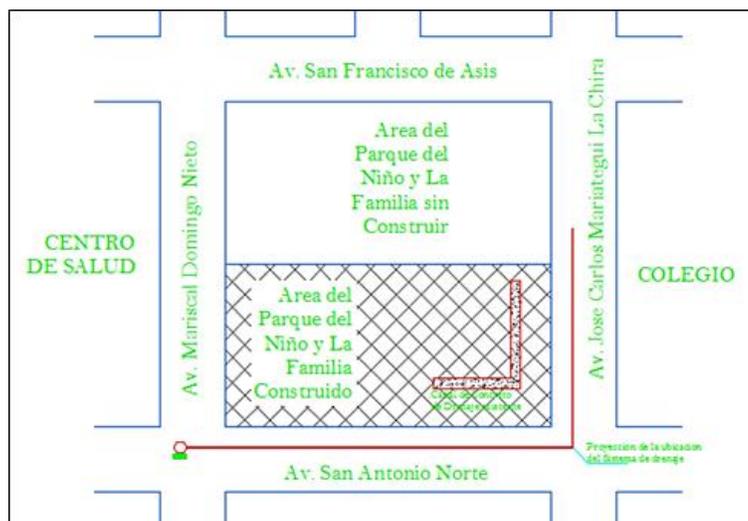
Todo ello, debido a los inadecuados procedimientos constructivos empleados en la ejecución del Parque del Niño, en torno al tratamiento del suelo de fundación, que presentaba arcillas y agua subterránea.

De allí, la importancia que tenía conocer el suelo de fundación sobre el cual se ejecutó el Parque del Niño, ya que de haber reparado en las características de éste, se hubiera cautelado la inversión.

4.3 Resultados de los ensayos

4.3.1 Características y tipo de suelo

Imagen N° 6
AREA CONSTRUIDA



Efectuando los ensayos de mecánica de suelos en dicho terreno (Cuarto de mantenimiento y Deposito, SS.HH. N° 3) con la finalidad de tomar conocimiento del mismo y donde se evidencia la mayor cantidad de fallas, se confirmó que el mismo tiene características arcillosas, tal como se muestra en el cuadro siguiente:

Ubicación : Calicata n° 1 – Ingreso a los SS.HH. N° 3
(Exterior).
Calicata n° 2 –Cuarto de Mantenimiento
(Interior).

Tabla 5
Resultados de los ensayos de laboratorio

ITEM	DESCRIPCION	UND	C1		C2	
			E1	E2	E1	E2
1	Df	M	0,30@0,70	0,70@1,20	0.10@	0.50@
2	SUCS		CI	CI	SW-SM	SC
3	AASHTO		A-2-7(1)	A-2-4	A-2-4	A-2-6
4	D60				4.43	3.48
5	D30				0.89	0.24
6	D10				0.15	0.04
7	Cu				29.58	86.82
8	Cc				1.18	0.42
9	LIMITE LIQUIDO	%	44.26	32.86	30.66	38.62
10	LIMITE PLASTICO	%	23.97	23.02	27.15	17.89
11	INDICE DE PLASTICIDAD	%	20.29	9.84	3.51	10.73
12	HUMEDAD	%	19.47			10.16
13	GRAVA	%	0.15	0.00	37.95	34.89
14	ARENA	%	21.72	38.93	54.79	46.65
15	FINOS	%	78.13	61.07	7.25	18.46
16	PESO ESPECIFICO SOLIDO	Gr/cm ³	2.712	2.68	2.67	2.62
17	EXPANSION LIBRE	mm	0.406			0.08

C1, C2 = Calicata

E1, E2 = Estratos

Nota: Recuperado de “Estudio de Mecánica de Suelos”, UJCM, 2015

Las detalles del cálculo y otros se exponen en el anexo N° 6.

Al respecto, es importante destacar lo señalado en el artículo 31° de la norma técnica E050 del Reglamento Nacional de Edificaciones, que precisa:

Cuando el PR encuentre evidencias de la existencia de suelos expansivos deberá sustentar su evaluación mediante los resultados del ensayo para la Determinación del Hinchamiento Unidimensional de suelos cohesivos según NTP 339.170 (ASTM D 4648). Las muestras utilizadas para la evaluación del hinchamiento deberán ser obtenidas de pozos a cielo abierto, en condición inalterada, preferentemente del tipo Mib.

Tabla 6

Clasificación de suelos expansivos

Potencial de expansión	Expansión en consolidómetro bajo presión vertical de 7 kPa (0.07 kg/cm²)	Índice de plasticidad
%	%	%
Muy alto	>30	>32
Alto	20-30	23-45
Medio	10-20	12-34
Bajo	<10	<20

Nota: Recuperado de Tabla 10 Clasificación de suelos expansivos de la norma técnica E050 Suelos y Cimentaciones, RNE, 2006, p14

En ese sentido, considerando los resultados obtenidos, y de acuerdo a lo señalado en la norma técnico (E-050 Suelos y Cimentaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones), tenemos que el suelo sobre el cual se cimentó el parque del niño, es un suelo cuyo potencial de expansión bajo toda vez que los resultados arrojaron un potencial de expansión de promedio 4%, según lo precitado en el Reglamento de edificaciones; sin embargo, se advierte que los daños en las estructuras del Parque del Niño fueron destructivas.

Dichos resultados, son concordantes con los datos obtenidos en la tesis de grado de Leonardo Rodin Salas Cachay “Zonificación geotécnica sísmica de la Ciudad de Moquegua”, que en su numeral 4.3.1 Evaluación del potencial de Expansión⁷, señaló que los índices de expansión en el cercado y Centro Poblado Menor San Antonio, varían entre 3.85% hasta 18%.

Es importante también destacar que los límites líquidos obtenidos, de 31% y 39%, nos señalan la existencia de hinchamiento medio, pero que generaron graves daños a la estructura del parque del niño.

Por su parte el índice plástico, nos determinó una expansión creciente desde baja a alta, al obtener en el estrato 1 de la calicata 2, un IP de 3.51, mientras en el estrato 1 de la calicata 1 un IP de 20.29.

⁷ 4.3.1 Evaluación del Potencial de Expansión

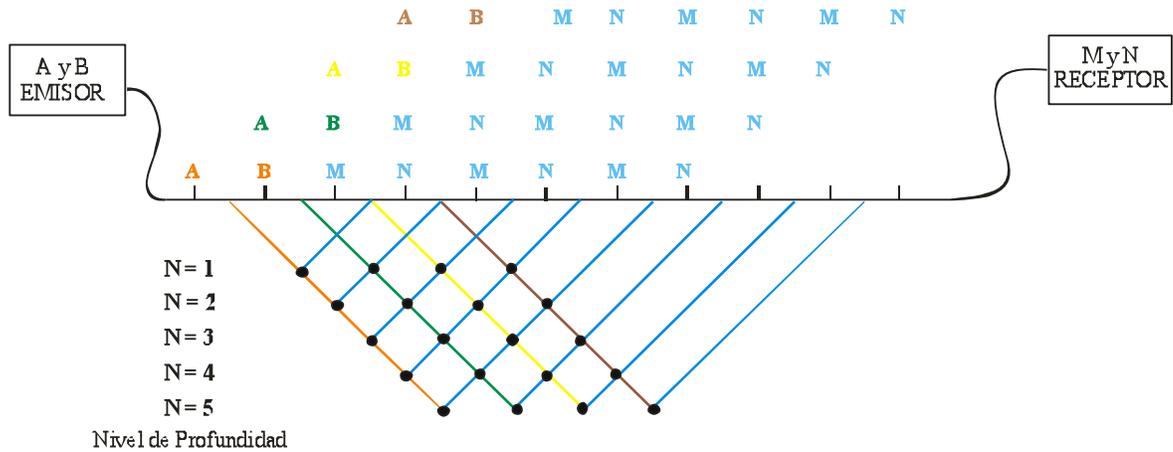
Los resultados de los ensayos de expansión libre y expansión controlada llevadas a cabo en muestras extraídas del área del cercado y del CPM San Antonio, muestran que el material areno arcilloso, con intercalaciones de lentes de arcilla altamente plástica, tienen un alto índice de expansión, que varía de **3.85%** y llegando hasta el **18%** cuando el material se encuentra en estado natural con bajo contenido de humedad. Este índice de expansión disminuye en función al contenido de humedad inicial de la muestra, como se observa en la siguiente tabla:

Resumen de los Resultados de los Ensayos de Expansión Libre.

Calicata	Muestra	Clasificación SUCS	% de Expansión
C-1(PM SA)	MI-3	CL	9.62
C-3(PM SA)	MI-2	CH	18.11
C-5(PM SA)	MI-6	CL	14.52
C-6(PM SA)	MI-3	CL	15.43
C-10 SA	MI-1	SC	3.85
C-14 SA	Afloramiento	SC	8.63
C-19 SA	Afloramiento	CL	15.64
C-6 CM	MI-2	SC	5.54

4.3.2 Estudio tomográfico

La tomografía eléctrica en 2D, este método permite obtener secciones de variaciones laterales de resistividad verdadera a una profundidad máxima de 30 m. aproximadamente constante, esto depende del área de trabajo. A continuación un ejemplo de cómo se obtiene las secciones y el modo de trabajo.



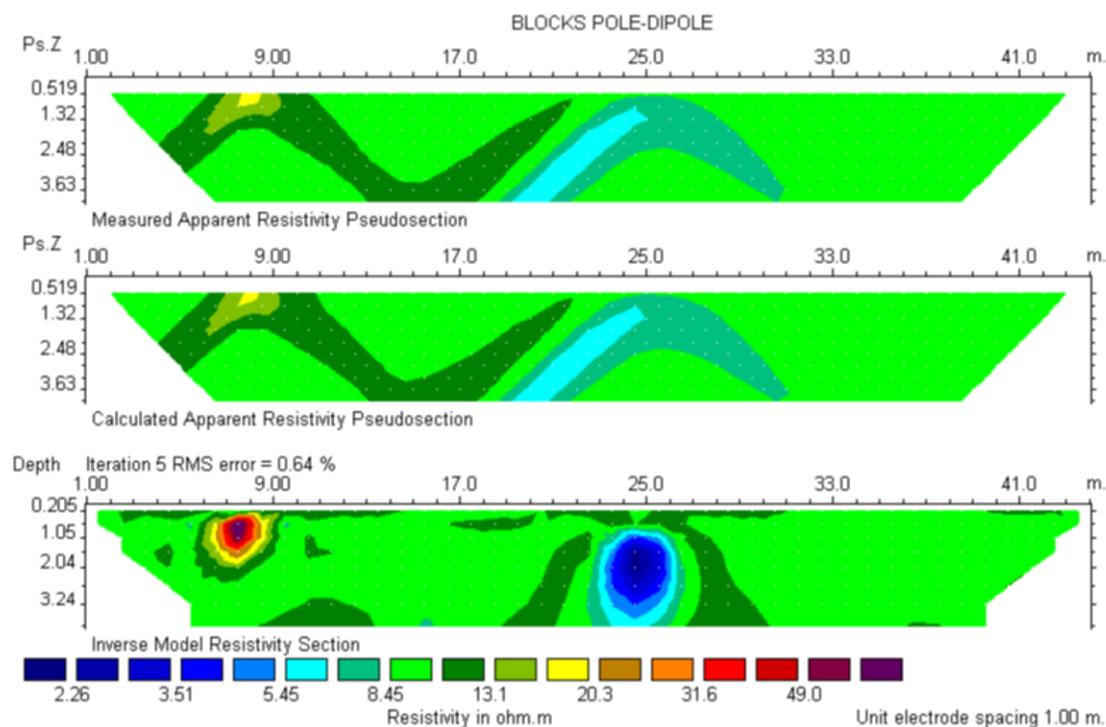


Figura 3. Modelo de secciones y forma de resultados obtenidos

Tabla 7

Relaciones geo eléctricas en la exploración geotécnica

MATERIAL	Resistividad (Ωm)
Basamento. Roca sana con diaclasas espaciadas	>
Basamento. Roca fracturada	1500 – 5000
Basamento. Roca fracturada saturada con agua corriente	100 – 2000
Basamento. Roca fracturada saturada con agua salada	1 – 100
Gruss (suelo residual derivado de rocas graníticas) no saturado	500 – 1000
Gruss (suelo residual derivado de rocas graníticas) saturado	40 – 50
Saprolito (suelo residual, mantiene la estructura de la roca madre) no saturado	200 – 500
Saprolito (suelo residual, mantiene la estructura de la roca madre) saturado	40 – 100
Gravas no saturadas	500 – 2000

MATERIAL	Resistividad (Ωm)
Gravas saturadas	300 – 500
Arenas no saturadas	400 – 700
Arenas saturadas	100 – 200
Limos no saturados	100 – 200
Limos saturados	20 – 100
Limos saturados con agua salada	5
Arcillas no saturadas	2
Arcillas saturadas	5
Arcillas saturadas con agua salada	1
Andosoles (suelos de origen volcánico) secos	1000 – 2500
Andosoles (suelos de origen volcánico) no saturados	300 – 1000
Andosoles (suelos de origen volcánico) saturados	3

Fuente: THE GEOELECTRICAL RELATIONS ON THE GEOTECHNICAL EXPLORATION
Daniel Eduardo Arias, I.C., Oscar Echeverri Ramírez, Msc, & Fabián Hoyos Patiño, Msc Universidad Nacional - Sede Medellín – Facultad de Minas

En ese sentido, el estudio tomográfico efectuado por el Instituto Geofísico de la Universidad Nacional San Agustín, confirmó la existencia de humedad en el suelo del Parque del Niño, además de confirmar la existencia de arcillas⁸ húmedas, según como se detalla a continuación:

- Interpretación de la Tomografía Eléctrica.

Se ha procesado los datos de los cuatro perfiles de resistividad en 2D ejecutados, (A – A', B – B', C – C' y D – D'), los que se describen a continuación.

⁸ CONCLUSIONES

1. Geológicamente, en la zona de estudio predominan materiales pertenecientes a la Formación Moquegua Inferior, que están constituidas principalmente por arcillas rojas intercaladas con areniscas arcóscicas y conglomerados. Geología del cuadrángulo de Moquegua, hoja 35-U, INGEMMET.
2. La Tomografía eléctrica en 2D ha permitido determinar que la estructura geológica que conforman los suelos de la zona, presentan diversos grados de contenido de humedad, desde suelos secos hasta llegar al grado de saturación, los cuales quedan definidos por sus características de resistividad.
(...)
7. El nivel freático en la zona de estudio es variable, en el sector Sureste se encuentra muy próximo a la superficie, menos de 3 metros, profundizándose en dirección noroeste hasta alcanzar en algunos puntos 15 metros.
8. En la zona de estudio se encuentran arcillas expansivas que son aquellas susceptibles de producir grandes cambios de volumen, en directa relación con los cambios en la humedad del suelo.

➤ Perfil de Tomografía Eléctrica A – A'

Este perfil se encuentra situado al Este del Parque del Niño y de la Familia, tiene una dirección de Sur a Norte. Figura N° 05.

Geológicamente se ha determinado que las estructuras que se presentan en la zona de estudio se relacionan con materiales pertenecientes a la Formación Moquegua Inferior cuya litología consiste de areniscas arcóscas, arcillas rojas y conglomerados. Predominan en esta zona la presencia de arcillas. Sobreyacen materiales pertenecientes a los aluviales recientes. Geología del cuadrángulo de Moquegua, hoja 35-U, INGEMMET.

Se ha determinado al Sur de la línea de Tomografía Eléctrica, entre los 00 y 110 metros, una estructura superficial con valores de resistividad que varían entre 3 y 4 Ohmios-metro, se relaciona con materiales arcillosos de la formación Moquegua inferior con alto contenido de humedad, llegando en algunos puntos a la saturación, su espesor se extiende desde la superficie hasta los 20 metros de profundidad.

En la parte Norte de la línea entre los 130 y 200 metros, superficialmente se observa materiales de la misma formación con muy poco contenido de humedad, presentan valores de resistividad entre 8 y 12 Ohmios-metro y presentan un espesor

aproximado de 10 metros.

Subyaciendo a los horizontes anteriormente descritos se presenta una estructura conformada por materiales arcillosos en estado húmedo cuyos valores de resistividad varían entre 4 y 8 Ohmios-metro, se observa un afloramiento de esta estructura entre los 110 y 130 metros de la línea de Tomografía Eléctrica.

Materiales que presentan muy poco contenido de humedad como las observadas en la parte Norte de la línea de tomografía eléctrica se presentan en profundidad a manera de un domo, estando el sector más superficial a una profundidad de 18 metros aproximadamente a los 90 metros de la línea de Tomografía Eléctrica.

➤ Perfil de Tomografía Eléctrica B – B'

Perfil ubicado al Norte de la zona de estudio con una dirección de Este a Oeste. Figura N° 06.

Se observa a partir de los 90 metros de la línea de tomografía eléctrica y con dirección Oeste, una estructura con valores de resistividad que varían entre 30 y 90 Ohmios-metro, se relaciona con materiales arcillosos pertenecientes a la formación Moquegua Inferior fuertemente consolidados y no presentan contenido de humedad. Superficialmente y hacia el Este de la línea de tomografía eléctrica se nota una estructura con

valores de resistividad de varían entre 12 y 30 Ohmios-metro la misma que se correlaciona con materiales arcillosos que presentan poco contenido de humedad, esta estructura se extiende en profundidad incluso por debajo del horizonte que no presenta contenido de humedad superando los 35 metros de profundidad.

En profundidad y a los extremos del perfil de tomografía eléctrica tanto al Este como al Oeste, se observa que la estructura arcillosa perteneciente a la formación Moquegua inferior presenta mayor contenido de humedad sin llegar a la saturación, este horizonte presenta valores de resistividad de 5 hasta 11 Ohmios- metro.

➤ Perfil de Tomografía Eléctrica C – C’

Este perfil se ubica al lado Oeste de la zona de estudio y se ha trazado con una dirección de Norte a Sur. Figura N° 07.

En este perfil se observa que desde los 00 hasta los 120 metros de la línea de tomografía eléctrica, se presenta una estructura superficial con valores de resistividad que varían entre 30 y 90 Ohmios-metro, se relaciona con materiales arcillosos pertenecientes a la formación Moquegua Inferior fuertemente consolidados y no presentan contenido de humedad, presenta su mayor espesor por debajo de los 70 metros de la línea de tomografía, hasta

alcanzar aproximadamente 20 metros de profundidad.

La estructura gradualmente se va humedeciendo en dirección Sur, entre los 120 y 140 metros presenta muy poco contenido de humedad y tiene valores de resistividad entre 11 y 30 Ohmios-metro. Este horizonte se proyecta al Norte por debajo de la estructura consolidada y hasta más de 35 metros en profundidad.

Entre los 140 y 150 metros de la línea presenta contenido de humedad y tiene valores de resistividad entre 5 y 10 Ohmios-metro, esta humedad se va introduciendo en dirección norte a manera de una cuña y se proyecta hasta alcanzar el punto de medida de 110 metros de la línea de tomografía eléctrica.

A partir de los 150 metros y hasta los 200 metros al Sur de la línea de tomografía eléctrica, la estructura presenta mayor contenido de humedad, llegando a la saturación en algunos puntos, presenta valores de resistividad que varían entre 2 y 4 Ohmios-metro, se extiende en profundidad hasta superar posiblemente los 30 metros. Este horizonte también se observa en el sector Norte de la línea de tomografía eléctrica a partir aproximadamente de los 10 metros de profundidad.

➤ Perfil de Tomografía Eléctrica D – D'

Perfil ubicado al Sur del Parque del Niño y de la

Familia, se ha trazado con una dirección de Oeste a Este. Figura N° 08.

Se ha determinado al Sur de la línea de Tomografía Eléctrica, entre los 00 y 110 metros, una estructura superficial con valores de resistividad que varían entre 3 y 4 Ohmios-metro, se relaciona con materiales arcillosos de la formación Moquegua inferior con alto contenido de humedad, llegando en algunos puntos a la saturación, su espesor se extiende desde la superficie hasta los 20 metros de profundidad.

En la parte Norte de la línea entre los 130 y 200 metros, superficialmente se observa materiales de la misma formación con muy poco contenido de humedad, presentan valores de resistividad entre 8 y 12 Ohmios-metro y presentan un espesor aproximado de 10 metros.

Subyaciendo a los horizontes anteriormente descritos se presenta una estructura conformada por materiales arcillosos en estado húmedo cuyos valores de resistividad varían entre 4 y 8 Ohmios-metro, se observa un afloramiento de esta estructura entre los 110 y 130 metros de la línea de Tomografía Eléctrica.

Materiales que presentan muy poco contenido de humedad como las observadas en la parte Norte de la línea de tomografía eléctrica se presentan en profundidad a manera de un domo, estando el

sector más superficial a una profundidad de 18 metros aproximadamente a los 90 metros de la línea de Tomografía Eléctrica.

Detalles que se muestran en el anexo N° 7.

4.3.3 Análisis Sísmico

La amplificación sísmica es el efecto de sitio de mayor importancia durante la ocurrencia de un terremoto, el factor de amplificación es el aumento de la aceleración en la superficie del terreno comparada con la aceleración en la roca a profundidad.

Para el presente caso, se ha efectuado una modelación con el programa Proshake, el mismo que permite efectuar un análisis sísmico de respuesta lineal del suelo, en depósitos de suelo en capas horizontales, que permitirá identificar posible peligros potenciales, que podrían pasar desapercibidos.

Para el caso, éste análisis ha implicado la definición de las propiedades del suelo, las capas de suelo, dentro de cada perfil a analizar, ingresando los datos obtenidos previamente en el estudio de mecánica de suelos para los dos estratos encontrados, además se ha adicionado un dos estratos finales, tomando datos del estudio de tomografía y la tesis denominada “Evaluación geofísica de la hidroeléctrica Moquegua, mediante los métodos de refracción sísmica y análisis multicanal de ondas superficiales” de Rosmary Milagros Pinto Chávez.

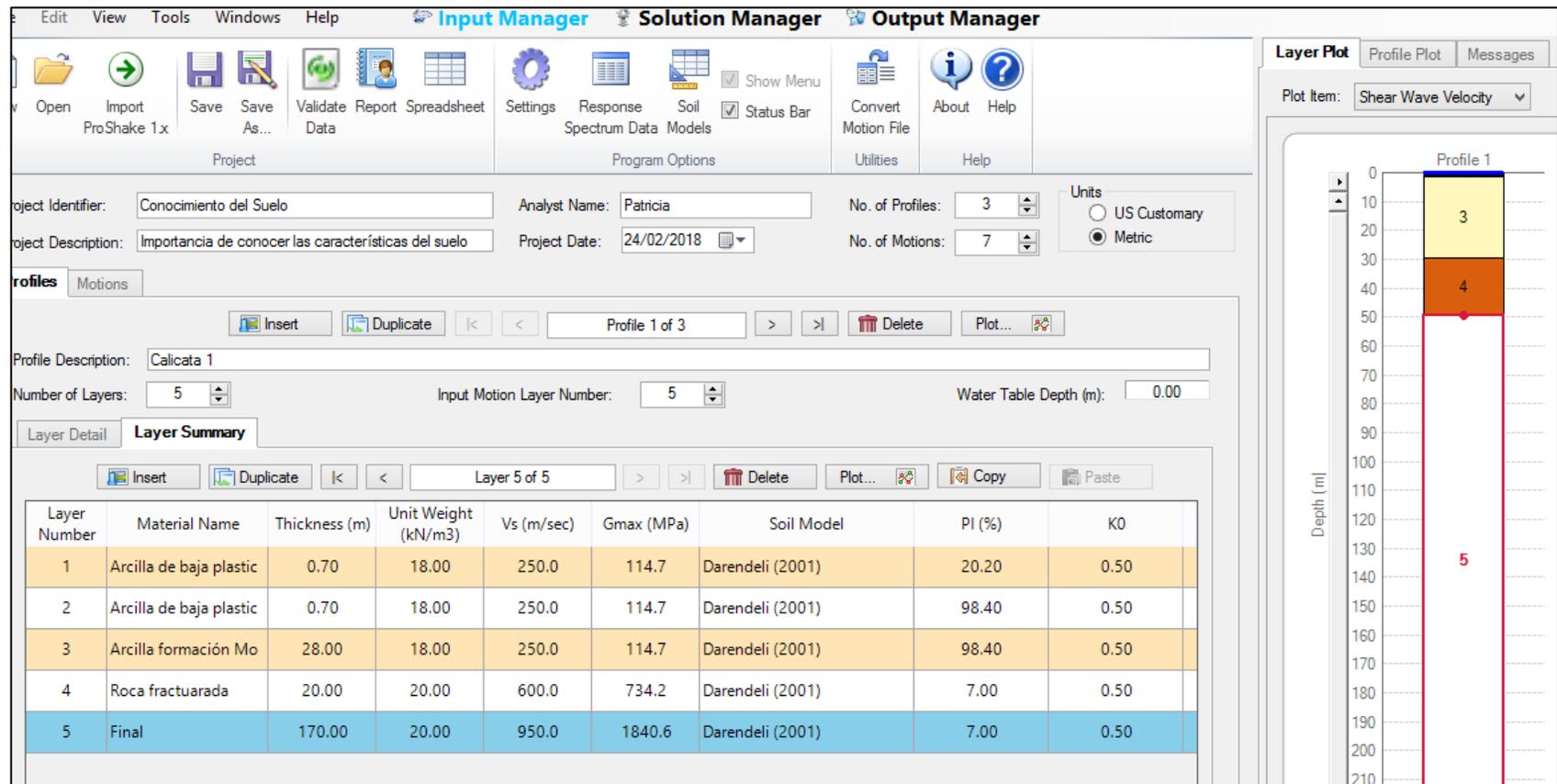


Imagen N° 7: Característica del suelo calicata 1

Asimismo, se tiene que conforme los datos para la ciudad de Moquegua, las velocidades propagación de las ondas sísmicas⁹ cerca de la superficie varían entre 250 m/s a 950 m/s.

⁹ Sobre el particular, el trabajo denominado “Evaluación geofísica de la hidroeléctrica Moquegua, mediante los métodos de refracción sísmica y análisis multicanal de ondas superficiales en su numeral 5.2 Resultados e interpretación, señaló lo siguiente:

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la correlación e interpretación de los ensayos realizados en cada área de estudio, en términos de velocidad de ondas sísmicas y espesores de las diferentes estructuras.

(...)

Casa De máquinas

Los resultados en la zona de Casa de máquinas muestran que el material se presenta uniforme a lo largo del tramo analizado, ver perfiles L-16 y L-17. El área fue analizada por medio de dos líneas de Refracción Sísmica (RS-16, RS-17); y cuatro ensayos MASW.

A partir de estos ensayos se puede caracterizar esta zona en dos estratos: el primero correspondiente a un material coluvial conformado por gravas de compacidad suelta a media que posee valores promedio de ondas P menores a 600 m/s y ondas S en el rango de 150 m/s a 320 m/s. El estrato posee una profundidad promedio de 8.0 m.

El segundo estrato lo conforma un material aluvial gravoso de compacidad media o roca fracturada con velocidades promedio de ondas P (VP) entre 600 m/s y 2000 m/s y velocidades de ondas de corte (VS) en el rango de 380 m/s a 600 m/s. Posee una potencia aproximadamente 22 m.

Los parámetros elásticos, estimados en función de todas las líneas geofísicas componentes de esta área de estudio, han sido cálculos solo en los dos primeros estratos ya que a profundidades mayores no fue posible obtener información sobre velocidades P y S de los materiales (Tabla 12)

Tabla N°12: Parámetros elásticos del subsuelo en Casa de Máquinas.

Material	Vp (promedio) (m/s)	Vs (promedio) (m/s)	Densidad ρ (Tn/m ³)	μ (Poisson)	Gmáx (Tn/m ²)	Emáx (Tn/m ²)
Material coluvial compuesto por gravas de compacidad baja a media	600.0	250.0	1.7	0.39	6.24E+04	1.74E+05
Material coluvial compuesto por gravas de compacidad media y/o roca fracturada	1300.0	400.0	1.9	0.45	3.27E+05	9.48E+05
Material coluvial compuesto por gravas de compacidad media y/o roca fracturada	1800.0	600.0	2.0	0.44	6.61E+05	1.90E+06

(...)

Sifón

Los resultados muestran que el material presente en esta zona se presenta uniforme a todo lo largo del tramo analizado de acuerdo a los perfiles de la zona (...)

En general se puede caracterizar a partir de tres estratos: el primero correspondiente a un material coluvial conformado por gravas de compacidad suelta a media que posee valores promedio de ondas P menores a 1200 m/s y ondas S en el rango de 300 m/s a 430 m/s.

El segundo estrato comprende de roca intrusiva medianamente fracturas a sana que se encuentra a una profundidad promedio de entre 17 m a 25 m. este material presenta velocidad de ondas P (Vp) entre 2700 m/s y 3600 m/s y velocidades de onda S (Vs) entre 835 m/s y 945 m/s.

Los parámetros elásticos, estimados en función de todas las líneas geofísicas componentes de esta área de estudio, han sido cálculos de acuerdo a valores promedio característicos de los materiales. Los valores calculados se presentan en la tabla 13:

De otro lugar con fines de establecer una profundidad cierta del estrato final (170 m), se ha tomado en cuenta el estudio “Evaluación y ordenamiento de los Recursos Hídricos de la cuenta del río Moquegua”, numeral 5.7.1 Secciones geoelectricas, que ha permitido identificar los espesores de diferentes estratos del valle del Moquegua¹⁰, para el caso, se ha identificado el que abarca la zona de San Antonio.

Tabla N°13: Parámetros elásticos del subsuelo en la zona del Sifón.

Material	Vp (promedio) (m/s)	Vs (promedio) (m/s)	Densidad ρ (Tn/m ³)	μ (Poisson)	Gmáx (Tn/m ²)	Emáx (Tn/m ²)
Material coluvial compuesto por gravas de compacidad baja a media	1000.0	400.0	1.7	0.40	1.73E+05	4.87E+05
Material coluvial compuesto por gravas de compacidad media y/o roca fracturada	2000.0	650.0	1.9	0.44	7.75E+05	2.23E+06
Roca intrusiva medianamente fracturada a sana	2700.0	950.0	2.0	0.43	1.49E+06	4.25E+06

¹⁰ Al respecto, el citado numeral 5.7.1 Secciones Geoelectricas, señalo lo siguiente:

En las diversas secciones se ha representado la secuencias de capas del subsuelo con indicaciones de las resistividades de cada capa geoelectrica y sus espesores.

En el valle de Moquegua se ha distinguido las capas no saturadas o secas, las capas del horizonte saturado permeable y finalmente el basamento impermeable; este último constituido por arcillas y/o por rocas duras.

MOQUEGUA

(...)

5.7.1.5. Sección Geoelectrica E-E' (Ver figura N° 5.5)

Sección ubicada en la primera terraza de la margen izquierda del río Moquegua. Abarca los sectores Garibaldi, Homo, Los Angulo, San Antonio, La Condesa y Calaluna.

Presenta tres horizontes geoelectricos.

El primer horizonte, al igual que las otras secciones, se encuentra en estado seco, es de espesor reducido (1,00 a 3.70 m)

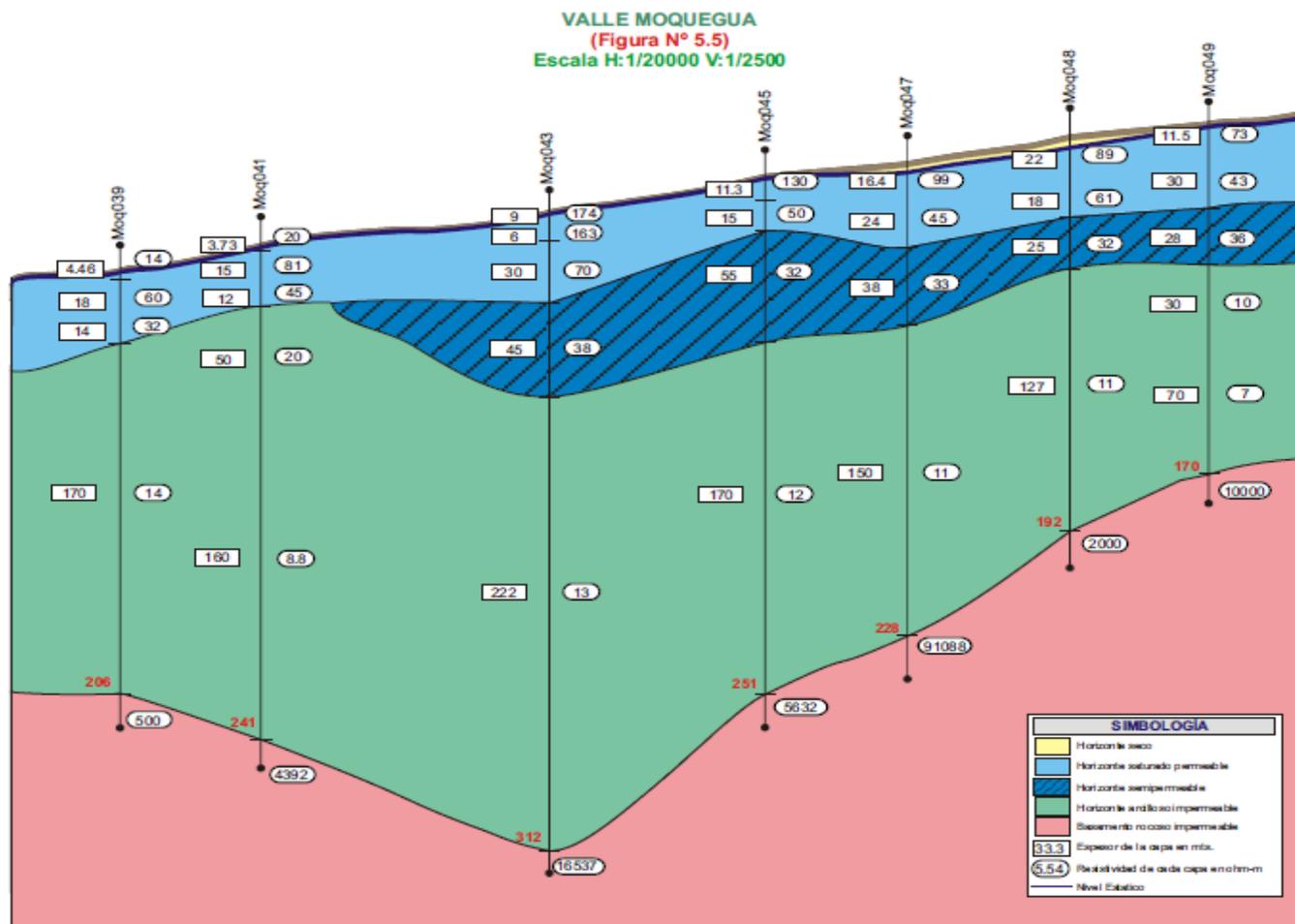
El segundo horizonte se encuentra saturado, esta conformado por varias capas de diferente espesor y con resistividades de media a alta.

Este horizonte presenta buenas condiciones geoelectricas, con resistividades que varían entre 43 y 99 Ohm.m (representa clastos gruesos de buena permeabilidad) y con espesores de 20,00 a 40,00 m.

Subyaciendo a éste, se ubica un horizonte semipermeable y probablemente con humedad, con resistividades que varían de 32 a 38 Ohm.m.

El tercer horizonte es de gran potencia y se encuentra en estado seco. Está conformado por dos subhorizonte, el superior con resistividades que varían de 7 a 13 Ohm.m valores que presentan a clastos muy finos (arcillas) que representan al basamento impermeable arcilloso. Su espesor fluctúa de 100,00 a 222,00 m.

Subyaciendo a éste, se ubica un horizonte con resistividades muy altas (mayores a 1000 Ohm.m) que representa al basamento impermeable rocoso.



“Evaluación y ordenamiento de los Recursos Hídricos de la cuenta del río Moquegua”, Administración técnica del distrito de Riego Moquegua, 2004, p63

De otro lado, para la modulación del movimiento se ha considerado movimientos importantes que por defecto contiene el programa, como el registro del terremoto en la isla de Yerba Buena, bahía de San Francisco, en el año de 1989, registro del terremoto del Centro de 1940, registro del terremoto en 1952, el registro del terremoto de Northridge de 1994, en el área norte del Valle de San Fernando en la ciudad de Los Ángeles, los mismos que luego nos permiten efectuar una comparación con los datos obtenidos durante el sismo del 23 de junio de 2001, con una magnitud de 6.9 ($M_s=7.9$), que afectó entre otras ciudades a la región de Moquegua.

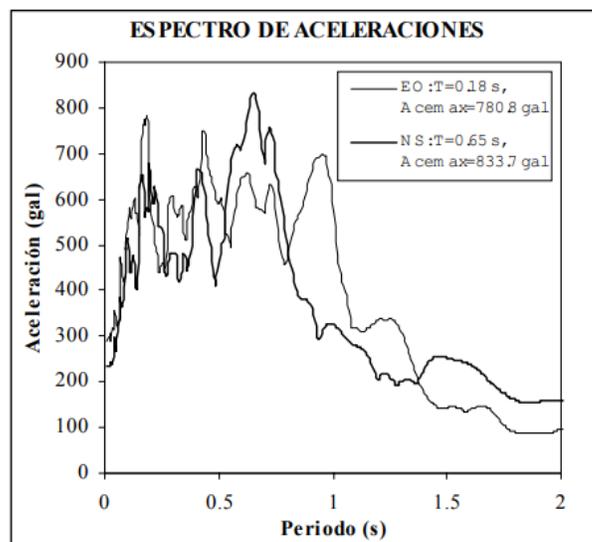


Imagen N°8: Espectro de aceleraciones sismo 2001

Luego de ello se procedió a realizar el análisis por capas teniendo en cuenta los perfiles de suelo obtenidos previamente en el estudio de mecánica de suelo, para un factor de amortiguamiento de 5%, lo cual permitió obtener los resultados que a continuación se detallan.

File Edit View Tools Windows Help **Input Manager** **Solution Manager** **Output Manager**

New Open Import ProShake 1x Save Save As... Validate Data Report Spreadsheet Settings Response Spectrum Data Soil Models Show Menu Status Bar Convert Motion File About Help

Project Program Options Utilities Help

Project Identifier:

Profile Number	Profile Description	Motion Number	Motion Description	Number of Iterations	Max G Error (%)	Max Damping Error (%)	Status
1	Calicata 1	1	EI Centro (1940/05/18)	19	0.73 %	0.47 %	Completed
1	Calicata 1	2	TAFT Kern County (19)	36	0.93 %	0.46 %	Completed
1	Calicata 1	3	Northridge Earthquake	23	0.49 %	0.29 %	Completed
1	Calicata 1	4	YERBA BUENA ISLAN	20	0.95 %	0.14 %	Completed
1	Calicata 1	5	TAFT Kern County (19)	26	0.88 %	0.62 %	Completed
1	Calicata 1	6	Northridge Earthquake	40	0.75 %	0.39 %	Completed
1	Calicata 1	7	TREASURE ISLAND -	50	7.26 %	1.29 %	Completed
2	Calicata 1	1	EI Centro (1940/05/18)	22	0.85 %	0.50 %	Completed
2	Calicata 1	2	TAFT Kern County (19)	9	0.77 %	0.54 %	Completed
2	Calicata 1	3	Northridge Earthquake	5	0.46 %	0.49 %	Completed
2	Calicata 1	4	YERBA BUENA ISLAN	6	0.70 %	0.60 %	Completed
2	Calicata 1	5	TAFT Kern County (19)	4	0.30 %	0.61 %	Completed
2	Calicata 1	6	Northridge Earthquake	9	0.90 %	0.58 %	Completed
2	Calicata 1	7	TREASURE ISLAND -	3	0.26 %	0.64 %	Completed

Analyze

Messages

Analysis started @ 12:01:15.602

Preparing analysis data/updating report...

Profile 1 started @ 12:01:29.150
 Motion 1 completed in 0.591 sec
 Motion 2 completed in 0.909 sec
 Motion 3 completed in 0.619 sec
 Motion 4 completed in 0.218 sec
 Motion 5 completed in 0.791 sec
 Motion 6 completed in 0.914 sec
 Motion 7 completed in 0.282 sec
 Profile 1 completed @ 12:01:38.531

Profile 2 started @ 12:01:38.543
 Motion 1 completed in 0.364 sec
 Motion 2 completed in 0.263 sec
 Motion 3 completed in 0.239 sec
 Motion 4 completed in 0.172 sec
 Motion 5 completed in 0.263 sec
 Motion 6 completed in 0.276 sec
 Motion 7 completed in 0.100 sec
 Profile 2 completed @ 12:01:42.865

Analysis completed @ 12:01:47.002

Total elapsed time = 31.400 sec

Imagen N°9: Análisis del suelo a través del programa Proshake

Dicho análisis, teniendo como referencia diferentes espectros de respuesta que presenta el programa se obtuvo una aceleración promedio de 0.3 g para la superficie del suelo en un período de 0.54 seg, dicho valor se asemeja al determinado en el “Zonificación geotécnica sísmica de la ciudad de Moquegua” (Aguilar B.ardales, 2002, Pag. 96), en el cual concluyó que del análisis de peligro sísmico probabilístico mostró que Moquegua está expuesta a un evento sísmico que genere aceleraciones máximas de 0.41 g, y para 100 años de exposición sísmica las aceleraciones máximas esperadas son de 0.51g.

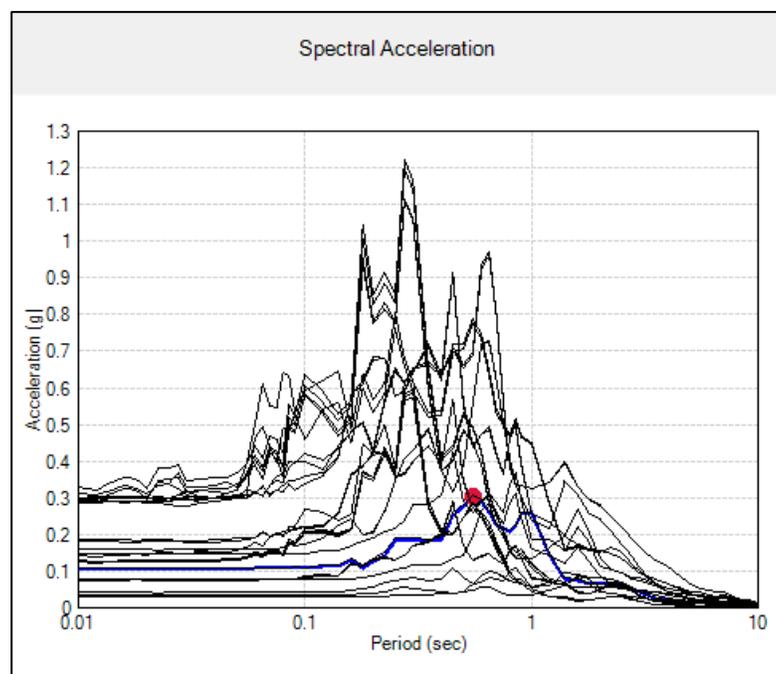


Imagen n° 10: Aceleración espectral

Es de señalar que, los resultados también muestran que las principales amplificaciones se dan en un período de 0.2 sec hasta 0.8 sec; siendo preciso resaltar que dicho resultado que corresponde a un período relativamente largo, durante el sismo del año 2001, generó el derrumbe de múltiples estructuras¹¹, cuyo período de vibración se encontraron en dicho rango.

Dicho resultando también es concordante, con lo señalado¹² por el ingeniero Zenon Aguilar Bardales, quien respecto de las características de dinámicas de los Suelos de Fundación en el Centro Poblado de San Antonio, preciso que los períodos predominantes varían de 0.5 a 0.8 seg; bajo esta premisa resulta conveniente utilizar los parámetros de diseño sismo – resistente

¹¹ Al respecto la tesis de grado “Zonificación geotécnica sísmica de la ciudad de Moquegua”- 2003, de Leonardo Rodin Salas Cachay, en su numeral 5.2.2 Espectros de Respuesta Elástica, señaló lo siguiente:

Para analizar el contenido de frecuencias de este evento y determinar el rango de periodos donde se generan amplificaciones sísmica, se calcularon los espectros de amplitudes de Fourier y de respuesta elástica para un factor de amortiguamiento de 5%, respectivamente. Los resultados muestran que la señal sísmica presenta un período predominante de 0.8 segundos, con importantes amplificaciones en un rango de periodos que varían entre 0.1 y 1.0 segundos. Esta importante amplificación en un rango de periodos relativamente grande habría originado el derrumbe de múltiples estructuras cuyos períodos de vibración se encuentran dentro de este rango. La figura 5-2 muestra los espectros de respuesta elásticos de cada una de las componentes de este registro.

Lermo et al (2002) mediante un análisis de los registros de réplicas obtenidos en la ciudad de Moquegua concluyen que la zona donde está instalado el acelerógrafo presenta amplificaciones importantes, los cuales se ven reflejados en el registro del evento principal. Si bien es cierto que el tipo de suelo en este lugar correspondería a un Suelo tipo II del código de diseño sismorresistente, las amplificaciones observadas durante este evento ocurren en un rango de períodos mucho mayor a los 0.6 seg. Especificado para este tipo de suelo.

¹² En el trabajo denominado “Zonificación Geotécnica Sísmica de la ciudad de Moquegua”, año 2002, Pagina 89, numeral 6.3 Características Dinámicas de los Suelos de Fundación, respecto del suelo del Centro Poblado Menor San Antonio, estableció lo siguiente:

“Zona III. Conformada principalmente por el CPM San Antonio, y parte del Asentamiento Humano El Siglo. Esta zona se ha subdividido en dos zonas en función a la profundidad en que se encuentra el estrato de suelo arcilloso, que presenta características expansivas. Los valores de periodos predominantes obtenidos en estas sub-zonas son las siguientes:

Zona III A. Conformado por un material granular de compacidad media a suelta, el cual en algunas zonas se encuentra cubierto por estratos de relleno de poca potencia. Subyaciendo el material granular, a profundidades mayores a los 4.0 m en promedio, se encuentra un estrado de arcillas limosas y arenosas, de baja plasticidad. Los periodos predominantes registrados en la zona que abarca el CPM San Antonio **varían de 0.5 a 0.8 s** en la parte mas llana, disminuyendo hasta 0.2 s en las partes altas.

(...)”

para la zona que corresponde al Suelo Tipo¹³ S2 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

De otro lado, se obtuvo una velocidad promedio de 0.33 para un período de 1.1 sec.; y un desplazamiento de 0.1m en el período de 5.7 sec., tal como se muestra a continuación:

¹³ Sobre el particular el Norma Técnica E.030 Diseño Sismoresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones, aprobada por Decreto Supremo N° 003-2016-VIVIENDA, señala lo siguiente:

2.3 Condiciones Geotécnicas

2.3.1 Perfiles de Suelo

Para efectos de esta Norma, los perfiles de suelo se clasifican tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte (V_s) o alternativamente para suelos granulares, el promedio ponderado de los N_{60} obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT) (...)

Los tipos de perfiles de suelo son cinco:

- a. Perfil Tipo S0: Roca Dura (...)
- b. Perfil Tipo S1: Roca o Suelos Muy Rígidos (...)
- c. Perfil Tipo S2: Suelos Intermedios

A este tipo corresponden los suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte V_s , entre 180 m/s y 500 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

- Arena densa, gruesa a media, o grava arenosa medianamente densa, con valores del STP N_{60} , entre 15 y 50
- Suelo cohesivo compacto, con una resistencia en condiciones no drenada S_u , entre 50 Kpa (0,5 kg/cm²) y 100 KPa (1 kg/cm²) y con incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad.

- d. Perfil Tipo S3: Suelos Blandos

- e. (...)

La Tabla N° 2 resume valores típicos para los distintos tipos de perfiles de suelo:

Tabla N° 2 CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO			
Perfil	\bar{V}_s	\bar{N}_{60}	\bar{S}_u
S ₀	> 1500 m/s	-	-
S ₁	500 m/s a 1500 m/s	> 50	>100 kPa
S ₂	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S ₃	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S ₄	Clasificación basada en el EMS		

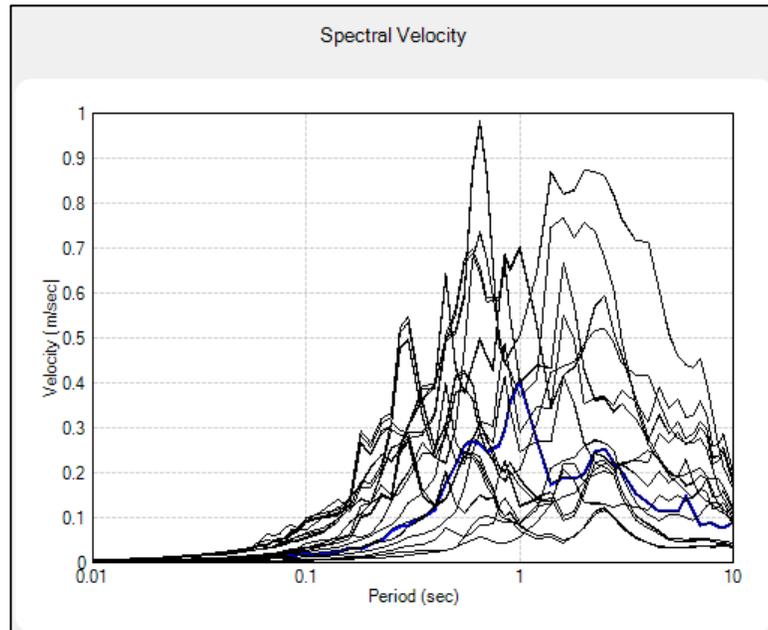


Imagen N° 11: Velocidad espectral, resultante luego del análisis en el programa Proshake

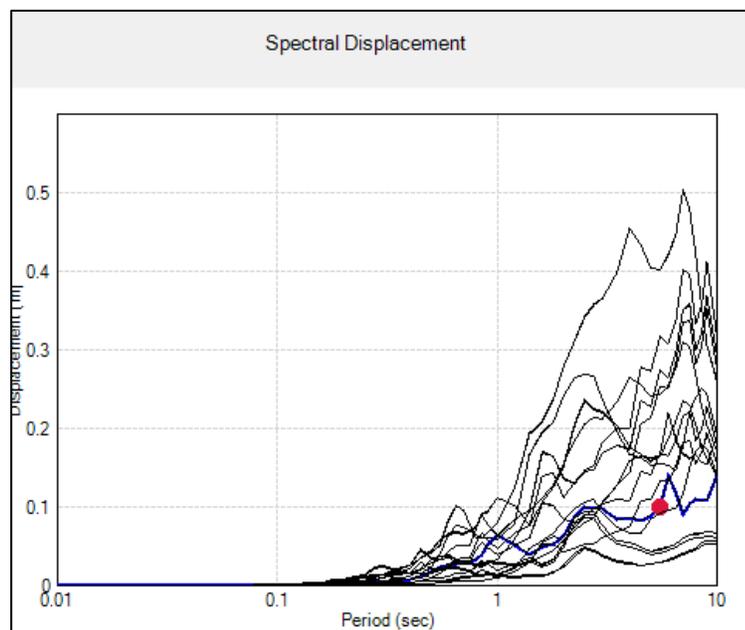


Imagen n° 12: Desplazamiento resultante luego del análisis en el programa proshake

En ese sentido, del trabajo de campo y ensayos de laboratorio realizados, los cuales fueron expuestos anteriormente se advierte lo siguiente:

- El suelo del parque del niño es un suelo con características arcillosas, susceptible a grandes cambios de volumen.
- El porcentaje de expansión de 4% a 9.5%.
- Asimismo, presenta una humedad entre 19.47% a 10.16%, presentando en la zona sureste saturado.
- Presenta un índice de plasticidad entre 20.29 a 3.51.
- El nivel freático en la zona sureste esta muy próximo a la superficie, a menos de 3 metros de profundidad.
- La aceleración espectral en la superficie del suelo es de 0.3g.
- Las principales amplificaciones se encuentran en un rango de período largo de 0.2 seg a 0.8 seg, que harían predecir fallas considerables frente a un eventual sismo.

De lo cual deducimos que el suelo del parque del niño era un suelo de características arcillosas, susceptible a la expansión; por tanto, **era importante conocer ello previo a la ejecución**, situación que hubiera permitido efectuar un estudio técnico (expediente técnico) de acuerdo al tipo de suelo.

Asimismo, se tomó conocimiento que existe nivel freático cercano a la superficie construida, por tanto, un suelo arcillo y con presencia de agua, era lógico que se produzcan hinchamientos y deformaciones.

Sin embargo que a pesar que el estudio geotécnico reveló la presencia de arcilla en el suelo de fundación, así como de agua subterránea, esto no habría sido adecuadamente analizado por los ejecutores para optar por una solución que mitigue dichos efectos expansivos de la arcilla en el Parque del Niño, por lo que se generaron fallas estructurales, tales como se muestra en las fotografías a continuación:



Foto N° 6: Fisuras en muros de servicios higiénicos



Foto N° 7, Fisuras en pisos de servicios higiénicos



Foto N° 8: Falla en el piso de acceso a servicios higiénicos N° 3.



Foto N° 9: Fisuras y grietas en la vía (carpeta asfáltica) del circuito car, así como la deformación existente.



Foto N° 10: Grietas en gradas de acceso a Servicios higiénicos N° 3



Fotos N° 11 y 12, Se observa el desplazamiento del muro (Lateral izquierdo de los SS.HH. N° 3).



Foto N° 13, Desplazamiento del cerco perimétrico (Intersección de la Av. San Antonio Norte y Mariscal Domingo Nieto Márquez).



Foto N° 14, Desplazamiento del muro de contención – zona de car.

Acreditándose de ésta forma la importancia que era conocer el suelo de fundación del Parque del Niño, así como sus características geotécnicas como la presencia de arcilla, y agua subterránea, para así comprender y analizar su comportamiento, conforme sus antecedentes, estudios realizados en el lugar y normativa aplicable; situación que hubiera permitido emplear procedimientos constructivos establecidos y probados, y de esta forma garantizar la inversión efectuada.

4.4 Culminación de la vida útil

La construcción del parque del niño, demando la ejecución de S/ 7 881 970,97, según se muestra en el cuadro siguiente:

Cuadro N° 7
Presupuesto total del Proyecto.

ITEM	DESCRIPCION	PLAZO (Días)	MONTO S/.
1	Expediente Técnico	240	3'372,616.73
2	Ampliación Presupuestal y Plazo N° 1	330	1'336,350.92
3	Ampliación Presupuestal y Plazo N° 2	460	2'041,641.77
4	Ampliación Presupuestal y Plazo N° 3	198	767,310.57
5	Plan de Trabajo	98	364,050.98
6	TOTAL	1,326	7'881,970.97

No obstante, la inversión efectuada para la infraestructura del parque del **niño actualmente se encuentran deteriorada, motivo por el cual no vienen siendo usada por la población**, toda vez que no cumple con las condiciones de seguridad de Defensa Civil, lo cual representa un riesgo para el público usuario.

Las fallas encontradas se resumen en lo siguiente:

- Las Instalaciones de los SS.HH. n° 3 (Fachada) se encuentran con fisuras en los muros.
- El ingreso a los SS.HH. n° 3 se encuentran deformados (Piso adoquines de concreto).
- Las gradas de ingreso a los SS.HH. n° 3 se encuentran con fisuras y deformaciones.
- El cerco perimétrico (01 paño), ubicado en la intersección de la avenida San Antonio Norte, con avenida Mariscal Domingo Nieto Marquez, se ha desplazado.
- La vía del circuito car se encuentra con fisuras (grietas).
- Los ambientes de cuarto de mantenimiento y depósito se encuentran con fisuras (muros y pisos).

- Los Muros de contención (ubicados al margen derecho de los SS.HH. n° 3) han sufrido desplazamiento.



Foto N° 15, Zona de áreas verdes, en desuso



Foto N° 16, Circuito de car con presencia de fisuras en desuso – Frente de Servicios higiénicos



Foto N° 17, Zona de piscina infantil en desuso

Por lo tanto, resulta importante conocer las características y el comportamiento del suelo sobre el cual se ejecutó el Parque del Niño, a efectos de estudiar la solución más viable y que permita mitigar los efectos expansivos del suelo de fundación, situación que hubiera permitido garantizar la vida útil, así como los recursos utilizados.



Imagen N°13, Foto satelital del terreno donde se ejecutó el parque del niño – año 2006



Imagen N° 14, Foto satelital del terreno del parque del niño durante su ejecución – año 2009



Imagen N° 15. Foto satelital del parque del niño culminado – año 2011



Imagen N°16. Foto satelital del parque del niño sin uso– año 2016

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES

5.1 Los resultados de los estudios técnicos durante la ejecución de la obra señalaron que el suelo de fundación, era un suelo arcilloso de baja plasticidad (CL), moro-moro, indicando que el porcentaje de expansión es de 9.5% (moderado) y la presión de expansión es de 6.9 kg/cm^2 , (presión requerida para contrarrestar la expansión), información que hacían predecir la existencia de posibles expansiones del dicho suelo.

Asimismo, los estudios realizados a la fecha, confirmaron la presencia de arcilla lodolítica y arena bien graduada con limo en el Parque del Niño; así como, humedad en el rango de 19.47% y 10.16%, encontrando parte del suelo seco, húmedo y saturado, que en contacto con la arcilla han generado la expansión del suelo, por tanto, fallas en la estructura construida sobre ésta.

5.2 Como era esperado, el inadecuado tratamiento del tipo de suelo arcilloso, así como la presencia de humedad, han generado expansiones que a pesar de obtener resultados que corresponde a una expansión baja según el Reglamento Nacional de Edificaciones, las deformaciones y fisuras hacen ver que los daños fueron graves.

Siendo pertinente resaltar en la norma E-050 (Suelos y Cimentaciones), capítulo 6 (Problemas Especiales de Cimentación), precisa que no está permitido cimentar directamente sobre suelos expansivos; sin embargo, se obvió dicha información ejecutando el parque del niño sobre terreno arcilloso, y con presencia de agua.

5.3 Por su parte los resultados del análisis sísmicos, determinaron una aceleración espectral en la superficie del suelo de 0.3g, estimando que las principales amplificaciones se encuentran en un rango de período largo de

0.2 seg a 0.8 seg, que harían predecir fallas considerables frente a un eventual sismo; recomendando para efectos de diseño sismo resistente en zonas cercanas al parque del niño, el tipo de suelo S3 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

- 5.4 Resultó importante que los ejecutores conocieran las características del suelo de fundación del parque del niño, tales como la presencia de arcillas y agua, **a fin de analizar su comportamiento** y optar por procedimientos constructivos recomendados para el tipo de suelo expansivos, conforme lo señalado en la norma técnica; situación que hubiera permitido cautelar la inversión.

CAPITULO VI

6. RECOMENDACIONES

6.1 Se tome en cuenta lo comentado y revelado en el presente estudio, respecto a lo importante que fue conocer el suelo expansivo sobre el cual se ejecutó el parque del niño, a efectos que en futuros proyectos se pueda tomar en cuenta lo siguiente:

- Previo a la elaboración de un proyecto, se revise el Estudio de Mecánica de Suelos, verificando que éste cumpla con los contenidos mínimos que señala la Norma Técnica E050 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Situación que permitirá conocer las características y analizar comportamiento del suelo a fin de tomar las acciones preventivas conforme lo señalado en la norma técnica aprobada, así como, las buenas prácticas de ingeniería con el fin de garantizar el uso de los recursos. Asimismo, los estudios que revelen la presencia de suelos expansivos, tomar en cuenta que no se puede cimentar directamente sobre éste tipo de suelo.

- Cuando exista presencia de agua en el suelo, se recomienda se investigar y analizar su origen, a fin de tomar las acciones preventivas y evitar el daño en las estructuras construidas. Asimismo, de ejecutar sistemas de drenaje, se verifique primero su funcionamiento previo a la continuidad de la ejecución de obras.

- 6.2 Que en la ejecución de obras públicas que presenten similares problemas, como la pérdida de la inversión, los gobiernos locales y regionales, actúen de oficio en la ejecución de procedimientos tendentes a la determinación de responsabilidades y sanciones respectivas, por incumplimiento del código de ética y responsabilidad profesional.

BIBLIOGRAFIA

- Badillo J. Rodríguez R. (1998) Mecánica de suelos TOMO I, II, III, LIMUSA.
- Bowles, Joseph (1986) Manual para laboratorio de suelos en Ingeniería Civil McGRAW- Hill latinoamericano S.A.
- Das Braja M. (2010) Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Edit. Thomson Learning. Mexico.
- Lambe T.W. – Whitman R. (1997) Mecánica de suelos. LIMUSA
- Lambe, William T. y Whitman, Robert V. (1989). Mecánica de Suelos Edit. Limusa México.
- Alva H., Jorge (2014). Dinámica de Suelos. CISMID
- Crespo V., Carlos (2006) Mecánica de Suelos. El ateneo.
- Terzagui, Karl (1999) Mecánica de Suelos. Limusa
- Das Braja M. (2001) Principio de Ingeniería de Cimentaciones. Thomson Editores.
- Aguilar, Zenon, Chaiña C. Wilbert, Salas C. Leonardo; Moreno LL. Rodolfo (2002) Zonificación geotécnica sísmica de la ciudad de Moquegua. Concurso Santiago Antunez de Mayolo. Proyecto 389-2001- CONCYTEC-AO.
- Administración Técnica de Riego (2004) Estudio hidrológico del Valle de Moquegua – Ilo.
- Salas, L. (2003) Zonificación geotécnica sísmica de la ciudad de Moquegua, Tesis Universidad Nacional de Ingeniería. Lima. Perú
- Pinto, M (2016) Evaluación geofísica de la hidroeléctrica Moquegua, mediante los métodos de refracción sísmica y análisis multicanal de ondas superficiales. Tesis. Universidad Nacional San Augustin. Arequipa. Perú.
- Reglamento Nacional de Edificaciones – Decreto Supremo n.º 011-2006-VIVIENDA, Norma Técnica E-050 Suelos y Cimentaciones.

ANEXOS

ANEXO N° 1: SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS – SUCS

ANEXO N° 2: PLANIMETRÍA GENERAL – SEGÚN EXPEDIENTE TÉCNICO

ANEXO N° 3: PLANO DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN

ANEXO N° 4: UBICACIÓN DE CALICATAS

ANEXO N° 5: PLANIMETRIA GENERAL MODIFICADA Y EJECUTADA.

ANEXO N° 6: ENSAYOS PARA SUELOS

ANEXO N° 7: RESULTADO DE LA TOMOGRAFIA.

ANEXO N° 8: ANALISIS SISMICO LINEAL