UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

SEDE CONCEPCION REY BALDUINO DE BELGICA

CONCEPCION

ESTUDIO MECANICA DE SUELO PARA LA AMPLIACION DE LA FABRICA NEUMANN

MATIAS IGNACIO ULLOA ILLANES

2021

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

SEDE CONCEPCION

“REY BALDUINO DE BELGICA”

ESTUDIO MECANICA DE SUELO PARA LA AMPLIACION DE LA FABRICA NEUMANN

TRABAJO PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CONSTRUCTOR

Alumno: Matias Ignacio Ulloa Illanes

Profesor Guía: Sr. Sergio Monroy Morales

2021

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1
2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 2
3. JUSTIFICACION 5
4. METODOLOGIA 6
5. OBJETIVOS 7
5.1. OBJETIVO GENERAL 7
5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS 7
6. MARCO TEORICO 8
6.1. SUELOS 8
6.2. MECANICA DE SUELO 9
6.3. MEJORAMIENTO DE SUELO 10
7. MARCO NORMATIVO 11
8. FORMACION DEL SUELO 13
8.1. TIPOLOGIA. 15
8.1.1. GRAVAS. 15
8.1.2. ARENAS. 16
8.1.3. LIMOS. 16
8.1.4. ARCILLAS. 17
8. RECOPILACIÓN DE ANTECEDENTES PREVIOS 18
8.1. Antecedentes de ubicación 18
8.2. Antecedentes Geográficos 19
8.3. Antecedentes Geológicos 20
8.4. Peligro de licuefacción. 21
8.5. Definición y causas de licuefacción. 21
8.6. Efectos de la licuefacción. 23
9. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS 25
9.1. Reconocimiento del subsuelo 25
9.2. Ensayos de laboratorio 28
9.2.1. Ensayo de granulometría 28
9.3. Procedimiento realizado para ensayo de granulometría 29

9.4. Ensayo de límites de consistencia 32
9.5. Procedimiento realizado para ensayo de límites. 33
9.6. Clasificación de suelos. 37
9.7. Análisis de resultados. 38
10. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE SUBSUELO. 41
10.1. Mejora del terreno. 41
10.1.1 Generalidades 41
10.1.2 Condiciones iniciales de terreno. 41
- COMPACTACIÓN. 43
- COLUMNAS DE GRAVA POR VIBROSUSTITUCIÓN. 43
- JET GROUTING. 43

10.3. COMPACTACIÓN. 43
10.4. MAQUINARIA. 43
- Máquinas vibratorias 43

10.5. PRECARGA. 46
10.6. METODOS DE MEJORA DEL TERRENO. 47
10.6.1. Columna de grabas por vibro sustitución 47
10.6.2. METODO CONSTRUCTIVO. 48
10.6.3. **APLICACIONES DE LA COLUMNA DE GRAVA.** 49
10.6.4. **DIMENCIONADO Y DISEÑO DE COLUMNAS DE GRAVA**. 50

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: CAPACIDAD PRODUCTIVA DE NEUMANN ENTRE LOS AÑOS 2017 Y 2021 3
Tabla 2: NUMERO MIN DE CALICATAS PARA PROFUNDIDAD HASTA 4,0M 26
Tabla 3: PROFUNDIDAD ALCANZADAS POR CALICATAS. 26
Tabla 4: SERIE DE TAMICES ELEGIDOS..... 29
Tabla 5: CANTIDAD MINIMA DE MUESTRA PARA GRANULOMETRIA. 29
Tabla 6: GRANULOMETRIA M1..... 31
Tabla 7: GRANULOMETRIA M2..... 32
Tabla 8: GRANULOMETRIA M2..... 32
Tabla 9: DATOS DE ENSAYO L.L Y L.P DE LA MUESTRA N°1..... 36
Tabla 10: DATOS DE ENSAYO L.L Y L.P DE LA MUESTRA N°2..... 36
Tabla 11: DATOS DE ENSAYO L.L Y L.P DE LA MUESTRA N°3..... 36
Tabla 12: CLASIFICACION DE SUELOS SEGÚN METODO USCS..... 37
Tabla 13: CLASIFICACION DE SUELOS SEGÚN METODO AASHTO. 38

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: CAPACIDAD DE LA FABRICA ACTUAL NEUMANN Y ESPACIO TOTAL PARA LA AMPLIACION FABRICA. 4
FIGURA 2: CICLO DE LA ROCA. 13
FIGURA 3: SUELO TIPO GRAVA. 15
FIGURA 4: SUELO TIPO ARENA. 16
FIGURA 5: SUELO TIPO LIMO. 16
FIGURA 6: SUELO TIPO ARCILLA. 17
FIGURA 7: UBICACIÓN DE TALCAHUANO DENTO DE LA REGION DEL BIO BIO. 18
FIGURA 8: MACROSECTORES DE LA COMUNA DE TALCAHUANO. 19
FIGURA 9: MAPA GEOLOGICO CONCEPCION-TALCAHUANO. 20
FIGURA 10: MAPA DE PELIGRO DE LICUEFACCION. 21
FIGURA 11:UBICACIÓN DE PUNTOS DE EXPLORACION EN BASE A CALICATAS. 26
FIGURA 12: CALICATA N°1 27
FIGURA 13: CALICATA N°2 27
FIGURA 14: CALICATA N°3 27
FIGURA 15: MUESTRA SECADA AL HORNO. 30
FIGURA 16: LAVADO DE MUESTRA. 30
FIGURA 17: TAMIZADO. 31
FIGURA 18: MUESTRA OBTENIDA DEL TAMIZADO N°40 34
FIGURA 19: PASTA HUMEDECIDA. 34
FIGURA 20: EQUIPO CASA GRANDE CON 1 CM^3 DE PASTA A ENSAYAR 35
FIGURA 21: MUESTRA REPRESENTATIVA PARA MEDICION DE HUMEDAD. 35
FIGURA 22: COMPACTADORA DE RODILLO. 44
FIGURA 23: COMPACTADORA DE NEUMATICOS. 44
FIGURA 24: COMPACTADORA PATA DE CABRA. 45
FIGURA 25: MAQUINA COMPACTADORA VIBRADORA. 45
FIGURA 26: TEORIA DEL CONSOLIDADO. 46
FIGURA 27: PROCESO DE PRECARGA. 46
FIGURA 28: RANGO DE VALIDEZ DE ALGUNOS SISTEMAS. 47
FIGURA 29: COLUMNA DE GRAVAS POR VIBROSUSTITUCION. 47

FIGURA 30: METODO CONSTRUCTIVO. 49
FIGURA 31: DISEÑO DE COLUMNAS DE GRAVA. 51
FIGURA 32: DIMENSIONES DE LA COLUMNAS DE GRAVA. 51

1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de título se analizará la ampliación de la nueva planta de producción de la empresa Neumann, ya que está en un aumento considerable de producción por lo cual ah echo necesario poder tener un espacio aún más amplio del que ya está construido.

Esta ampliación de la nueva planta de producción cobra una gran importancia ya que con esto estará dando una sostenibilidad más amplia para poder acoger más proyectos nuevos que puedan venir más adelante, también con esto se nos facilita poder acoger proyectos mucho más grande a los que están recibiendo en este momento.

Por lo anterior es que se hace necesario una ampliación de la planta de producción, por lo cual se realizaran ensayos y analizaran en qué tipo de suelo estamos enfrentando para poder construir lo ya antes mencionado.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Neumann es una empresa se fundó en 1992 para construir secadores industriales, Estos presentan importantes innovaciones conducentes a reducir los consumos de energía y los tiempos de secado, logrando siempre estar a la vanguardia del mercado local y nacional. Desde entonces hemos obtenido patentes nacionales e internacionales, varias de las cuales pasaron a ser estándares exigidos por las grandes compañías.

En el contexto actual que se vive a nivel nacional, Se ha visto un aumento considerable en la demanda de materia prima y en específico, en el suministro de madera seca cepillada. Lo anterior ha obligado a empresas del rubro forestal a invertir en nuevos equipos de secado que les permitan acrecentar la capacidad de producción y con ello sus ventas.

Por consiguiente. Para la empresa Neumann, el aumento de esta demanda se ve relacionado de manera directa con un mayor número de requerimientos por parte de las grandes empresas forestales, quienes por temas de calidad, capacidad y tiempos eligen los equipos de secado Neumann (cámaras de secado y plantas térmicas).

Si bien, este aumento en la cantidad de proyectos vislumbra un próspero futuro para la compañía, existen algunos factores que se ven afectados directamente con ello. Uno en específico, y el que trataremos en este documento corresponde al espacio físico para acopiar dentro las instalaciones. Para entrar en contexto, la Tabla N°1 presenta capacidad productiva de la fábrica en los últimos años, donde claramente se aprecia un aumento por sobre el 60% de su capacidad el 2021.

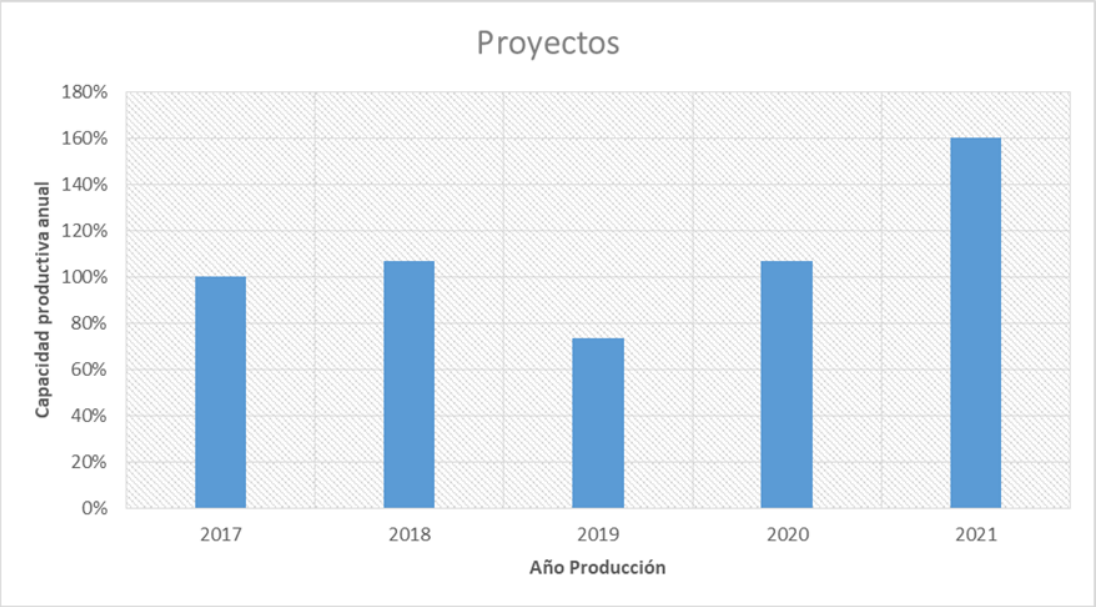

TABLA 1: CAPACIDAD PRODUCTIVA DE NEUMANN ENTRE LOS AÑOS 2017 Y 2021

En la actualidad las instalaciones de la empresa cuentan con una superficie 2160m2, en las cuales ya es insuficiente el espacio para la producción.

Por ende tenemos la obligación de enfocarnos en la factibilidad que tenemos en el terreno donde nos compete hacerle estudios de mecánica de suelo ya que no sabemos con qué nos encontraremos al momento de iniciar una construcción ya que todo el sector aledaño está rodeado por humedales.

FIGURA 1: CAPACIDAD DE LA FABRICA ACTUAL NEUMANN Y ESPACIO TOTAL PARA LA AMPLIACION FABRICA.

3. JUSTIFICACION

Trabajar sobre lo que ya existe, es una práctica común en el mundo de la construcción. Con estudios previos de mecánica de suelos, quizás, la condición actual del terreno en la que vamos a realizar la obra no lo conocemos.

El estudio de suelos permite conocer las propiedades físicas y mecánicas del suelo, y su composición estratigráfica, es decir las capas o estratos de diferentes características que lo componen en profundidad, y por cierta ubicación de napas de agua (freáticas), si las hubiere.

La importancia del estudio de suelos depende del tipo de proyecto que se va a realizar y de la magnitud de este; con los resultados arrojados el estudio de suelos se pueden tomar decisiones del tipo de cimentación a utilizar y hasta que profundidad debes de cimentar; dependiendo del tipo de suelo es la capacidad de soporte del suelo (resistencia del suelo) y eso se puede determinar únicamente con el estudio de suelos.

Como aporte con los resultados obtenidos de los ensayos se dará a conocer como proponer una solución para el mejoramiento de suelo, para luego proceder a realizar la loza y posteriormente al levantamiento de la ampliación de la fábrica Neumann.

4. METODOLOGIA

La principal metodología a ocupar en esta investigación es la metodología cuantitativa, ya que es la mejor manera de recabar, ordenar y analizar los datos obtenidos en muestras que son medibles.

a) Para comenzar es importante definir cuál es el tipo de suelo que se encuentra en el lugar basándose en estudios preliminares de otros autores en tipos y características de suelos.

b) Realizar una geometría del lugar, a través de planos suministrados por la institución si existiesen.

c) Hipótesis de posible solución constructiva a la problemática planteada.

d) Toma de muestras y ensayos necesarios para cuantificar los datos. Se realizara una recopilación de información en terreno ya que no existe almacén ni registros formales de muestras del laboratorio de mecánica de suelos de los humedales, con toma de muestreo representativas del estacionamiento objeto de análisis, excavaciones, registro fotográfico y toda información que se crea relevante y pertinente al suelo, las que serán llevadas a laboratorio para su análisis físico y químico. Estas muestras serán de diferentes puntos determinando previamente los criterios de elección en el marco teórico de este mismo informe. Además de manera complementaria al muestreo se realizara un estudio de mecánica de suelos que entregue información que aporte al objeto de estudios y/o evaluación.

e) Y por último se redactaran las conclusiones de lo investigado.

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

- Establecer las características geotécnicas del subsuelo donde se encuentra emplazada la empresa Neumann para la ampliación de la fábrica de producción.

5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Describir los antecedentes geotécnicos del subsuelo del sector donde se encuentra emplazada la ampliación de la fábrica de producción de la empresa Neumann.
- Clasificar los resultados de las mediciones y ensayos realizados al subsuelo de la ampliación de la fábrica de producción de la empresa Neumann.
- Proponer una solución de mejoramiento del subsuelo para la ampliación de la fábrica de producción de la empresa Neumann.

6. MARCO TEORICO

6.1. SUELOS

Resulta interesante ver que el término “suelo” puede ser descrito de acuerdo a las necesidades de profesionales de diversas áreas de estudio. Es así como aparece la siguiente definición: “el suelo es un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas, no sujetas a ninguna organización. Pero en realidad se trata de un conjunto con organización definida y propiedades que varían “vectorialmente. En la dirección vertical generalmente sus propiedades cambian mucho más rápidamente que en la horizontal. El suelo tiene perfil, y este es un hecho del que se hace abundante aplicación”. (Juárez Badillo/Rico Rodríguez, Mecánica de Suelos, Tomo 1 Fundamentos de la Mecánica de Suelos, México, Limusa, 2005).

“El suelo es intrínsecamente un sistema de varias fases, formado por una fase mineral, denominada esqueleto mineral más una fase fluida o fluido intersticial”. (Lambe y Whitman, Mecánica de suelos,

Para los fines de este trabajo, la palabra suelo representa todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio, hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves. El agua contenida juega un papel tan fundamental en el comportamiento mecánico del suelo, que debe considerarse como parte integral del mismo.

6.2. MECANICA DE SUELO

Sin duda, uno de los pioneros en la definición de la Mecánica de Suelos, fue el Dr. Ingeniero Karl Terzaghi, quien plasma en su libro “Theoretical Soil Mechanics” la siguiente definición : “La mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o la descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan o no materia orgánica”. (Juárez Badillo/Rico Rodríguez, Mecánica de Suelos, Tomo 1 Fundamentos de la Mecánica de Suelos, México, Limusa, 2005).

Similarmente a lo que ocurre en otras áreas de las ciencias, los mecánicos de suelos o de rocas no tienen acceso a una descripción perfecta de los materiales de los cuales deben ser capaces de predecir su comportamiento. En efecto, “el suelo de un determinado lugar no es ni perfectamente homogéneo ni esta uniformemente distribuido en capas regulares. En la mecánica de suelos es importante el tratamiento de las muestras (inalteradas – alteradas)”. (Pontificia Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Estructural y Geotécnica, Esteban SAEZ, Fundamentos de Geotecnia ICE-1603, 2010).

El muestreo y la clasificación de los suelos son dos requisitos previos indispensables para la aplicación de la mecánica de suelos a los problemas de diseño.

6.3. MEJORAMIENTO DE SUELO

El suelo como material ingenieril, se diferencia de la piedra, la madera y otros materiales naturales por el hecho de que puede ser modificado para darle las características deseadas. “La mejora del suelo es una práctica antiquísima que permite construir en terrenos con condiciones marginales, por lo que se emplea con frecuencia en la ingeniería geotécnica contemporánea. La corrección se realiza a través de métodos aplicados in situ o mediante la construcción de rellenos artificiales. En cualquier caso, los objetivos son una mayor capacidad de carga y la prevención de asentamientos”. (Jorge A. Capote Abreu, Guía para estudio sobre “La Mecánica de Suelos y las Cimentaciones”).

7. MARCO NORMATIVO

Los documentos referenciados siguientes son indispensables para el desarrollo de este trabajo de título.

- NCh1508 Geotecnia – Estudio de mecánica de suelos.
- NCh179 Mecánica de suelos – Símbolos, unidades y definiciones.
- NCh433 Diseños sísmicos de edificios.

PRIMER CAPÍTULO

DESCRIBIR ANTECEDENTES GEOTECNICOS DEL SUBSUELO DEL SECTOR DONDE SE ENCUENTRA EMPLEZADA LA AMPLIACION DE LA FABRICA DE PRODUCCION DE LA EMPRESA NEUMANN.

8. FORMACION DEL SUELO

Para la formación de suelo, las rocas origen (ígneo, sedimentario y metamórfico) necesitan ser afectadas por diferentes tipos de procesos, como la meteorización, la erosión y sedimentación. Aparte de estos procesos se necesitan la intervención de cinco factores los cuales se denominan como "Factores de formación de los suelos" estos son el clima, material parental, el relieve, los organismos y el tiempo. Todo esto junto se conoce como el ciclo de la roca suelo.

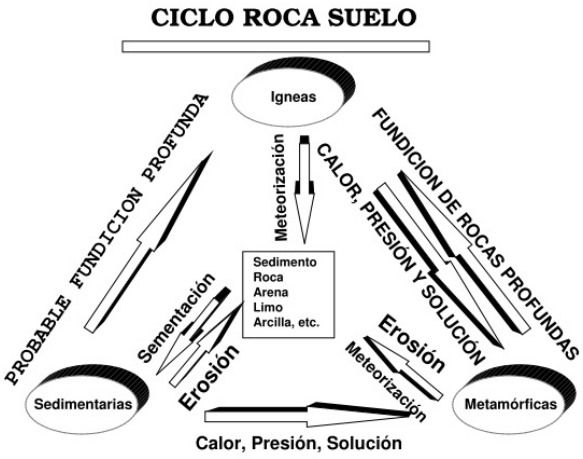

FIGURA 2: CICLO DE LA ROCA.

FACTORES DE FORMACION DE LOS SUELOS-

- Clima: Unos de los factores principales en la formación del suelo. Los efectos que principalmente tiene es la precipitación y la temperatura.

- Material parental: Este factor se refiere a los diferentes materiales rocosos y minerales que darán origen al suelo.

- Relieve: Se puede entender como la topografía del lugar la cual afecta el balance hídrico y la infiltración de agua, el microclima, los procesos de erosión y los procesos básicos de formación de suelo.

- Organismos: Se refiere a todo material orgánico que produce un cambio en el suelo donde este se sitúa.

- Tiempo: La mayoría de los procesos de formación de suelos son dependientes al paso del tiempo. Lo cual genera agregados en un suelo bien desarrollado.

8.1. TIPOLOGIA.

De acuerdo con su origen, los suelos son rocas que están expuestas a descomposiciones físicas y químicas. Estos se clasifican según el aspecto de sus granos y por sus características particulares que presentan. Los cuatros tipos de suelos más grande que se pueden encontrar son las gravas, arenas, limos y arcillas.

8.1.1. GRAVAS.

Las gravas son acumulaciones de fragmentos de roca las cuales tienen más de dos milímetros de diámetro. Este tipo de suelo se encuentra en los lechos, en las márgenes y en los ríos. Las gravas son redondeadas debido a su origen, el que consiste en ser acarreadas por ríos el cual les da el desgaste a sus aristas. Las partículas de las gravas varían desde 7.62 cm hasta 2.0mm.

FIGURA 3: SUELO TIPO GRAVA.

8.1.2. ARENAS.

La arena es el nombre que se le da a los suelos de granos gruesos procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial. Las partículas varían de los 2mm hasta los 0.05mm de diámetro.

El origen de las arenas es análogo al de las gravas, ya que ambos suelen encontrarse juntos en el mismo deposito. La arena de rio contiene proporciones de grava y arcilla. Las arenas estando limpias no se contraen al secarse (no son plásticas).

FIGURA 4: SUELO TIPO ARENA.

8.1.3. LIMOS.

Los limos son suelos de grano fino con poca o ninguna plasticidad, pudiendo ser limo inorgánico como el producido en canteras, o limo orgánico como el que suele encontrarse en los ríos, siendo en este último caso de características plásticas. El diámetro de las partículas de los limos está comprendido entre 0,05mm y 0,005mm. Los limos sueltos y saturados son completamente inadecuados para soportar cargas por medio de zapatas.

FIGURA 5: SUELO TIPO LIMO.

8.1.4. ARCILLAS.

Se da el nombre de arcilla a las partículas sólidas con diámetro menor de 0,005mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua.

Contrariamente al suelo arenoso, el arcilloso tiene partículas muy pequeñas con minúsculos espacios de poros o micro poros. Dado que hay más espacios porosos, el arcilloso tiene un espacio total poroso general mayor que el del suelo arenoso, debido a lo cual el suelo absorbe y retiene más agua. Esto hace que esté mal aireado y el drenaje sea pobre. Incluso cuando el suelo se seca, la textura fina de sus partículas hace que se unan o formen terrones. Esto hace que sea muy difícil de trabajar, por lo tanto, el término “suelo pesado” o “liviano” se refiere al nivel de facilidad con el que puede ser trabajado y no indica su peso.

FIGURA 6: SUELO TIPO ARCILLA.

8. RECOPILACIÓN DE ANTECEDENTES PREVIOS

El siguiente capítulo tiene por objeto mostrar la recopilación de toda la información existente sobre la zona a estudiar, a fin de programar el trabajo de campo necesario para obtener la información requerida del subsuelo, o para ratificar, complementar o ampliar la información existente.

Para el desarrollo de este trabajo, será fundamental el estudio y comprensión de la NCh1508:2014. En ella se presentan los requerimientos mínimos para conformar un estudio geotécnico de suelos.

La base de todo estudio de mecánica de suelos, es tener el mayor conocimiento del sector donde se encuentra el suelo a analizar. Desde el origen hasta la situación actual. Por ello, se hace necesario en este acápite, describir antecedentes respecto a la ubicación y lo concerniente a información geológica, geotécnica y cualquier otra especifica.

8.1. Antecedentes de ubicación

El terreno donde hoy se emplaza la institución, pertenece a la comuna de Talcahuano, ubicada en la zona centro sur de Chile, en el centro geográfico del país.

La comuna limita al sur con Hualpén; al sudeste con Concepción y Penco; al noreste, norte y oeste con el océano Pacifico.

FIGURA 7: UBICACIÓN DE TALCAHUANO DENTO DE LA REGION DEL BIO BIO.

El terreno utilizado como estacionamiento, se ubica según PRC vigente de Talcahuano, en la zona denominada ZEXEQ-3, delimitada por Vasco Núñez de Balboa al este y Autopista Concepción-Talcahuano por el oeste.

8.2. Antecedentes Geográficos

En cuanto a sus características geográficas, la comuna de Talcahuano presenta un territorio conformado por 6 macrosectores (Los Cerros, Cerros Históricos y Tumbes, Centro, Higueras, Salinas y Medio Camino), los cuales constituyen 92,3 kilómetros cuadrados. En cuanto al número de habitantes su población total de acuerdo a censo 2002 es de 163.626, la proyección INE al 2012 es de 171.463 habitantes.

Actualmente Talcahuano junto con otras diez comunas de la zona conforma el área metropolitano denominado Gran Concepción. Conurbación que supera los 700.000 habitantes, de los cuales, Talcahuano aporta alrededor del 25%.

La importancia que reviste Talcahuano para el resto de las comunas, radica en los servicios logísticos y conectividad que presta las demás comunas que integran la conurbación, ya que cuenta con la presencia de tres puertos, terminal ferroviario, rodoviario y aéreo.

FIGURA 8: MACROSECTORES DE LA COMUNA DE TALCAHUANO.

Geomorfológicamente, Talcahuano constituye un istmo de tierras bajas que une una meseta montañosa (península de Tumbes) con el continente. Se halla a una altitud de 1 m.s.n.m. en su sector céntrico, aunque hay otras áreas de la ciudad a distinta altura (como el Cerro David Fuentes -76 m.s.n.m.-, la meseta de Tumbes – entre 80 y 220 m.s.n.m. o el sector Las Higueras - entre 5 y 10 m.s.n.m.-).

Emplazado frente al mar, presenta un relieve caracterizado por el fuerte contraste existente entre una extensa llanura y los bordes de la Cordillera de la Costa, entre los relieves formados por la propia Península de Tumbes y el conjunto de cerros-islas que configuran su topografía.

8.3. Antecedentes Geológicos

En la ciudad de Concepción, se encuentran rocas ígneas y sedimentarias que se distribuyen en la vertiente occidental de la cordillera de la costa y cerros islas de la ciudad. En la llanura, donde se emplaza la mayor parte de la ciudad, se encuentran depósitos fluviales inconsolidados. Estos sedimentos corresponden principalmente a arenas medias a finas de composición basáltica que fueron transportadas por el Biobío durante el cuaternario y se distribuyen en la mayor parte del área urbana de Concepción. Presentan estratificación horizontal y su potencia es variable (alcanzando hasta los 130 m inclusive en algunos sectores) dependiendo de la morfología del substrato rocoso.

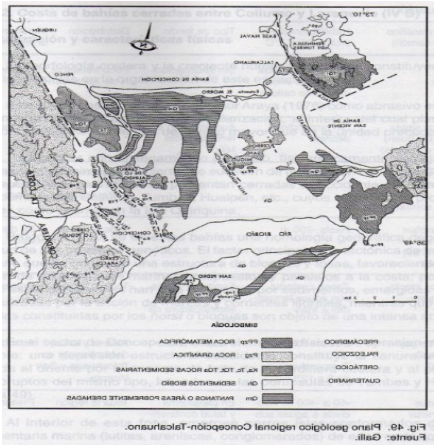

FIGURA 9: MAPA GEOLOGICO CONCEPCION-TALCAHUANO.

8.4. Peligro de licuefacción.

Este mapa presenta una zonificación del peligro de licuefacción en la zona de las comunas de Concepción, Talcahuano, Hualpén y Chiguayante. Se identifican zonas con distinto grado de peligro, indicando para cada una de ellas recomendaciones generales tendientes a orientar la planificación territorial comunal.

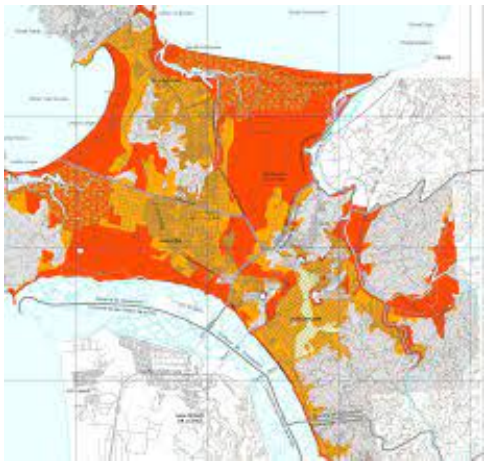

FIGURA 10: MAPA DE PELIGRO DE LICUEFACCION.

8.5. Definición y causas de licuefacción.

La licuefacción es un proceso natural mediante el cual determinados tipos de suelo pierden bruscamente su resistencia mecánica ante una carga dinámica rápida como puede ser un sismo o, en menor medida, una tronadura. La pérdida de resistencia mecánica del suelo implica que este se comporta momentáneamente de modo similar a un fluido, siendo capaz de migrar generando importantes deformaciones en el sustrato. El sismo de magnitud 8.8 Mw del 27 de febrero de 2010, provocó numerosos casos de licuefacción en el área de estudio, causando el colapso de construcciones, entre ellas viviendas, la red vial y parte del servicio de agua potable y alcantarillado. La licuefacción se genera principalmente en suelos arenosos y areno limosos saturados en agua, usualmente ubicados cerca de ríos, borde costero u otros cuerpos de agua, o bien, en aquellos suelos donde existe un nivel freático muy superficial. Además, sucede en los suelos que poseen baja compactación, por ejemplo, aquellos terrenos ubicados donde antes

existieron lagos o lagunas. De igual importancia es la licuefacción en rellenos antrópicos deficientemente trabajados, principalmente, sobre zonas de humedales. Cuando ocurre un sismo, la vibración eleva la presión de agua en los poros del suelo y si esta llega a igualar o superar la fuerza de contacto entre los granos, la resistencia del suelo se reduce a cero, experimentando licuefacción. En este caso, la capacidad de carga del suelo es nula y, efectivamente, el suelo se comporta durante la sacudida como un líquido y cualquier estructura cimentada en él se hunde o sufre asentamientos diferenciales (INGEOMINAS, 2003). Algunos factores que condicionan el fenómeno de licuefacción son: · Origen del suelo. Los suelos depositados por procesos fluviales, litorales y eólicos se sedimentan fácilmente y sus granos tienen poca probabilidad de compactarse, de modo que se licuarán con facilidad. Los depósitos glaciales, generalmente, ya son bastante densos y tienen menor probabilidad de licuarse. Suelos compuestos por roca no son en absoluto licuables. · Distribución del tamaño de los granos. La arena uniformemente graduada, de grano muy grueso a medio tiene mayor probabilidad de licuarse, mientras que las arenas limosas finas y las gravas lo hacen bajo cargas cíclicas muy severas. · Profundidad de las aguas subterráneas. Mientras más cerca de la superficie se encuentre el nivel de las aguas subterráneas (nivel freático), mayor será la probabilidad de que ocurra licuefacción. · Edad del depósito. Los suelos jóvenes (menos de 3.000 años) son débiles y no cohesivos, de modo que tienen mayor probabilidad de licuarse comparado con aquellos más antiguos donde han actuado procesos de compactación y cementación natural. Dichos procesos incrementan su resistencia. · Amplitud y duración de la vibración del terreno. La licuefacción de suelos bajo condiciones de tensión provocadas por un terremoto aumenta con la magnitud y la duración del sismo. Por esta razón, sismos pequeños licuarán únicamente los suelos más próximos al epicentro, mientras que ante un sismo de magnitud mayor será posible reconocer licuefacción a distancias muy grandes. En el caso del sismo del 27 febrero de 2010 se observó licuefacción hasta al menos 400 km de distancia del epicentro (Valparaíso). · Peso del recubrimiento y profundidad del suelo. Las tensiones entre partículas aumentan a medida que aumenta la presión del recubrimiento (a mayor profundidad). Mientras mayor sea dicha tensión menor será la probabilidad que ocurra licuefacción. Por lo general, la licuefacción ocurre a profundidades menores de 9 m y, rara vez, a mayores de 15 m.

8.6. Efectos de la licuefacción.

El fenómeno de licuefacción se manifiesta en la superficie del terreno por la formación de grietas, hundimientos de terreno, asentamientos diferenciales de estructuras, “golpes de agua”(surgimiento de agua) y volcanes de arena. Los dos últimos son producto del súbito aumento de la presión de agua de poros ocasionada por la vibración, forzando a que este fluido fluya rápidamente a la superficie. Si el flujo asciende lo suficientemente rápido se generan “golpes de agua”. Al mismo tiempo, el agua ascendente puede transportar partículas de arena hasta la superficie donde son depositadas formando montículos de arena, a los que por analogía se les denomina “volcanes de arena”. La pérdida de cohesión del suelo permite que este se pueda movilizar, diferenciándose varios tipos de desplazamientos asociados a la licuefacción: Flujos de tierra: Los materiales del suelo se desplazan rápidamente cuesta abajo en un estado licuado, a veces causando coladas de barro o avalanchas. Propagación lateral: Tipo de remoción en masa en que se produce desplazamiento limitado de las capas superficiales del suelo a favor de pendientes suaves o hacia superficies libres, como por ejemplo, en márgenes de ríos y taludes de terrazas fluviales. En este tipo de desplazamientos, a menudo ocurre que las capas subsuperficiales están revestidas de cubiertas antrópicas, como por ejemplo asfaltos. Cuando las capas más profundas se licuan, las capas superficiales antrópicas, generalmente, se mueven lateralmente en bloques, tanto durante como después del sismo, provocando una deformación permanente del suelo y ruptura de las cubiertas. Flotación: Objetos enterrados en el suelo bajo licuación son desplazados. Es común que tanques, buzones o tuberías de alcantarillado ascienden a través del suelo y floten en la superficie. Pérdida de resistencia de soporte: Reducción de la capacidad de soporte de los cimientos debido al debilitamiento del material del suelo subyacente o colindante. A menudo provocan que las estructuras se hundan o dañen. La licuefacción induce daños severos en estructuras, edificios y líneas vitales afectando el transporte de personas, distribución de mercancías, telecomunicaciones y suministros básicos, agravando más aún la situación posterior al evento sísmico. Por estas razones, la zonificación del peligro de licuefacción y su asimilación en las estrategias comunales de planificación territorial, es uno de los aspectos vitales para la reducción del daño sísmico.

SEGUNDO CAPÍTULO

CLASIFICAR LOS RESULTADOS DE LAS MEDICIONES Y ENSAYOS REALIZADOS AL SUBSUELO DE LA AMPLIACION DE LA FABRICA DE PRODUCCION DE LA EMPRESA NEUMANN.

9. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS

El siguiente capítulo se refiere a la interpretación y alcances de los resultados de una exploración geotécnica en sector Brisa del Sol, comuna de Talcahuano, provincia de Concepción, Región del Biobío; y se enmarca en el contexto de una posible futura construcción de pavimentos sobre un terreno de 1.993 m2.

En lo principal, el presente estudio sintetiza tantos trabajos in-situ como de laboratorio; entregando clasificación estratigráfica del subsuelo, según métodos USCS y AASHTO, más algunas otras consideraciones de ingeniería geotécnica complementarias para efectos de diseño y construcción.

La exploración geotécnica, considerada la superficie total a intervenir; satisface los requerimientos mínimos exigidos en la norma chilena vigente NCh 1508 of. 2014 Geotecnia –Estudio de mecánica de suelos.

9.1. Reconocimiento del subsuelo

Topográficamente, el terreno prospectado corresponde a un sector relativamente plano en su entorno inmediato, sin accidentes geomorfológicos de importancia; y circundado por infraestructura de baja altura.

El estudio del sub-suelo se abordó en base a tres (3) calicatas; de distintas profundidades con alturas entre los 0,55 y 1,10 m. La ubicación de los puntos de prospección fue determinada de acuerdo al siguiente anexo de la normativa NCh 1508:

TABLA 2: NUMERO MIN DE CALICATAS PARA PROFUNDIDAD HASTA 4,0M

Superficie a explorar m²	Cantidad de puntos de exploración
Hasta 500	2
De 501 a 1 000	3
De 1 001 a 2 000	4
De 2 001 a 5 000	5
De 5 001 a 10 000	6
Más de 10 000	según lo indicado por el Ingeniero Civil

La fecha de exploración vía calicatas se realizó el día 22/diciembre/2021.

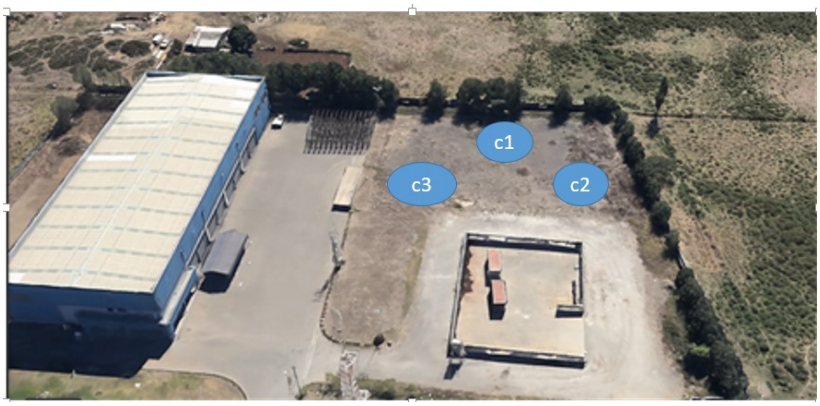

FIGURA 11:UBICACIÓN DE PUNTOS DE EXPLORACION EN BASE A CALICATAS.

TABLA 3: PROFUNDIDAD ALCANZADAS POR CALICATAS.

PUNTOS DE EXPLORACION	PROFUNDIDAD
C1	0,70
C2	0,87
C3	1,20

Conforme a las observaciones de terreno, resultados de ensayos de laboratorio y homogeneidad detectada, se presentan las siguientes unidades que caracterizan la estratigrafía típica del sector en estudio:

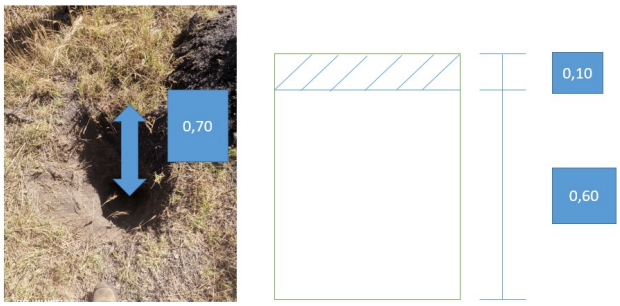

FIGURA 12: CALICATA N°1

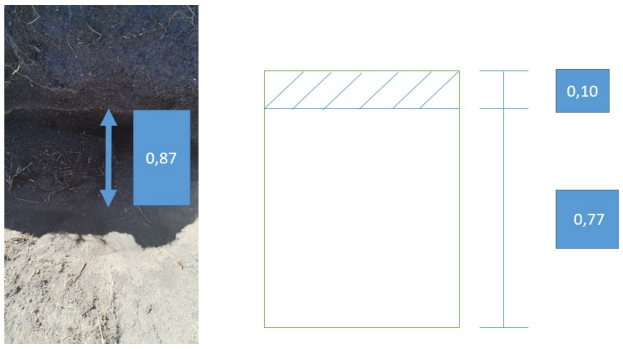

FIGURA 13: CALICATA N°2

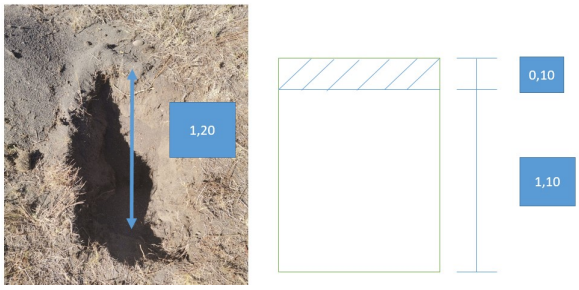

FIGURA 14: CALICATA N°3

9.2. Ensayos de laboratorio

La gran diversidad de suelos que cubren la superficie terrestre hace necesario clasificarlos, es decir establecer categorías de modo que se agrupen conforme a sus propiedades ingenieriles.

Existen distintos tipos de sistemas de clasificación de suelos. En este trabajo se estudiaran los dos más conocidos universalmente; el sistema unificado (USCS) y el sistema del índice de grupo (AASHTO).

Dichos métodos deben ser lo suficientemente simples como para obtener un resultado de manera rápida y por ende de bajo costo.

Pero lo suficientemente complejo como para no caer en lo burdo y agrupar una amplia gama de características bajo un mismo concepto de suelos.

9.2.1. Ensayo de granulometría

La granulometría es la separación de los suelos en base al tamaño de los granos, por medio de una serie de tamices normalizados.

El cálculo de los coeficientes precisa relacionar los diámetros de mallas por las cuales pasan determinados porcentajes de material.

La serie a utilizar para la clasificación de las muestras de suelo rescatadas, es la siguiente:

TABLA 4: SERIE DE TAMICES ELEGIDOS

Tamaños nominales de abertura	
(mm)	ASTM
80	(3")
63	(2 ½")
50	(2")
40	(1 ½")
25	(1")
20	(3/4")
10	(3/8")
5	(N° 4)
2	(N° 10)
0,5	(N° 40)
0,08	(N° 200)

9.3. Procedimiento realizado para ensayo de granulometría

Una vez obtenidas las muestras de terreno, estas deben ser reducidas en estado húmedo, bajo el método de cuarteo manual. De modo de conseguir cuando este seca, una cantidad de material ligeramente superior al estipulado en la siguiente tabla:

TABLA 5: CANTIDAD MINIMA DE MUESTRA PARA GRANULOMETRIA.

Tamaño Máximo Absoluto (mm)	Cantidad mínima de muestra a extraer en terreno (kg)	Cantidad mínima de muestra para el ensaye (kg)
5	2	0,5
10	8	2
20	20	5
25	40	10
50	60	15
80	80	20
100	120	30
150	160	40

Una vez secas las muestras cuarteadas, se procede a cortar todo el material en el tamiz 5 mm. Registrando como C, todo lo que pasó y como D la que quedó retenida en dicho tamiz.

FIGURA 15: MUESTRA SECADA AL HORNO.

Ahora bien, del material retenido en 5 mm, colocar en un tamiz de lavado N°200 (0,08 mm) y agregar agua potable en cantidad suficiente para cubrir la muestra. Lavándola repetidas veces hasta que el agua permanezca limpia y clara, cuidando de guardar el material fino decantado en un recipiente para luego secar ambos en una estufa cuya temperatura no exceda ni baje de los 110°C, es decir el lavado retenido más el suelo fino que paso por el tamiz 200 decantando en un receptáculo previamente dispuesto.

FIGURA 16: LAVADO DE MUESTRA.

Del material que paso el tamiz 5 mm, tomar una porción mayor a 500 g, pero que no sobrepase los 1.000 g y repetir el mismo proceso de lavado anterior, pero esta vez el fino que decante, no será llevado a secado. Solo secar lo retenido lavado, el que una vez seco, debe registrarse como C´´.

Tamizar el material preparado a través de los tamices: 2, 0,5 y 0,008.

FIGURA 17: TAMIZADO.

Finalmente todas las masas registradas servirán para obtener la clasificación de cada una de las muestras recogidas de las calicatas. Dando como resultado el siguiente detalle:

TABLA 6: GRANULOMETRIA M1

Tamizado muestra N°1				
Abertura mm	Tamiz	Retenido Peso (g)	(%)	**Pasa (%)**
2	(N°10)	19	2.36	**97.64**
0.5	(N°40)	599	74.43	**23.21**
0.08	(N°200)	119	14.79	**8.42**
Residuo	x			

TABLA 7: GRANULOMETRIA M2

Tamizado muestra N°2				
Abertura mm	Tamiz	Retenido Peso (g)	(%)	**Pasa (%)**
2	(n°10)	30	3.32	**46.68**
0.5	(n°40)	554	61.27	**35.41**
0.08	(n°200)	239	26.45	**8.96**
Residuo	x			

TABLA 8: GRANULOMETRIA M2

Tamizado muestra N°3				
Abertura mm	Tamiz	Retenido Peso (g)	(%)	**Pasa (%)**
2	(N°10)	66	6.36	**93.64**
0.5	(N°40)	800	77.06	**16.58**
0.08	(N°200)	101	9.73	**6.85**
Residuo	x			

9.4. Ensayo de límites de consistencia

Los límites son índices aplicables a los suelos finos (solo material que pasa por la malla N°40-0,42 mm).

El material debe tener un cierto grado de cohesión que permita distinguir, en un proceso de amasado, diferentes fases del suelo conforme a su grado de humedad:

- Sólido
- Semisólido
- Plástico
- Semilíquido
- Líquido

Fundamentalmente interesa conocer el rango de humedad en el cual un suelo se comporta plásticamente, es decir, se deforma sin agrietarse, relacionándose ello a su capacidad de resistir solicitaciones y deformarse sin fallar.

Dicho rango se conoce como índice plástico (I.P) y corresponde a la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

Entendiéndose como límite líquido (L.L), el contenido de humedad del suelo entre el estado plástico y semilíquido, determinado en la humedad de una pasta de suelo, tal que de dos secciones de esta se juntan en ½" cuando la capsula que la contiene se somete a 25 golpes de impacto.

Mientras que el limite plástico (L.P), es el contenido de humedad del suelo entre el estado semisólido y plástico.

Se define como la humedad del suelo para cuando se fractura en bastoncitos de 1/8" de diámetro (3 mm) al ser amasado rodando la pasta entre la palma de la mano y una superficie lisa.

9.5. Procedimiento realizado para ensayo de límites.

Para este ensayo se comenzó con el proceso de obtener la cantidad de muestra suficiente para formar las pastas de los distintos tipos de muestras, a través del tamizado en seco por la malla N°40 (0,42 mm).

FIGURA 18: MUESTRA OBTENIDA DEL TAMIZADO N°40

Luego se humedece cada una y homogeniza de tal forma de conseguir una mezcla pastosa, no saturada.

FIGURA 19: PASTA HUMEDECIDA.

Se inicia utilizando parte de la mezcla, para colocar alrededor de un 1 cm^3 en la capsula del equipo denominado “Casa Grande”.

FIGURA 20: EQUIPO CASA GRANDE CON 1 CM³ DE PASTA A ENSAYAR

Una vez que se logren unir las dos secciones de muestra con un numero de golpes entre 15 a 25 en el centro de la capsula, con una fracción de separación de 2 mm aproximadamente, es cuando el contenido de humedad del suelo se encuentra entre el estado plástico y semilíquido.

Por lo tanto, para medir la humedad en el punto de unión, habrá que rescatar una porción de 10 g del centro donde se juntaron las secciones. Tal como lo muestra la siguiente imagen.

FIGURA 21: MUESTRA REPRESENTATIVA PARA MEDICION DE HUMEDAD.

Los datos a registrados del procedimiento anterior son los siguientes:

TABLA 9: DATOS DE ENSAYO L.L Y L.P DE LA MUESTRA N°1

ENSAYO N°1								
	LIMITE PLASTICO			LIMITE LIQUIDO				
ENSAYE N°	1	2	3	1	2	3	4	5
CAPSULA N°	0	0	0	1	2	3	4	5
NUMERO DE GOLPES	0	0	0	39	25	43	40	30
1 PESO CAPSULA + SUELO HUM. (g)	0	0	0	51,38	51,87	43,65	42,92	45,88
2 PESO CAPSULA + SUELO SECO (g)	0	0	0	46,79	47,06	40,09	39,44	41,71
3 PESO DE LA CAPSULA (g)	0	0	0	28,7	28,96	26,37	25,63	25,48
4 PESO DEL AGUA (1-2) (g)	0	0	0	4,59	4,81	3,56	3,48	4,17
5 PESO DEL SUELO SECO (2-3) (g)	0	0	0	18,09	18,1	13,72	13,81	16,23
6 HUMEDAD (4/5)*100 (%)	0	0	0	25,37	26,57	25,95	25,20	25,69
7 PROMEDIO LIMITE PLASTICO (%)	0	0	0					

TABLA 10: DATOS DE ENSAYO L.L Y L.P DE LA MUESTRA N°2

ENSAYO N°2								
	LIMITE PLASTICO			LIMITE LIQUIDO				
ENSAYE N°	1	2	3	1	2	3	4	5
CAPSULA N°	0	0	0	1	2	3	4	5
NUMERO DE GOLPES	0	0	0	40	30	27	41	40
1 PESO CAPSULA + SUELO HUM. (g)	0	0	0	44,65	39,1	42,38	38,72	43,33
2 PESO CAPSULA + SUELO SECO (g)	0	0	0	40,04	36,64	39,36	35,77	39,89
3 PESO DE LA CAPSULA (g)	0	0	0	24,26	27,93	28,47	25,29	27,71
4 PESO DEL AGUA (1-2) (g)	0	0	0	4,61	2,46	3,02	2,95	3,44
5 PESO DEL SUELO SECO (2-3) (g)	0	0	0	15,78	8,71	10,89	10,48	12,18
6 HUMEDAD (4/5)*100 (%)	0	0	0	29,21	28,24	27,73	28,15	28,24
7 PROMEDIO LIMITE PLASTICO (%)	0	0	0					

TABLA 11: DATOS DE ENSAYO L.L Y L.P DE LA MUESTRA N°3

ENSAYO N°3								
	LIMITE PLASTICO			LIMITE LIQUIDO				
ENSAYE N°	1	2	3	1	2	3	4	5
CAPSULA N°	0	0	0	1	2	3	4	5
NUMERO DE GOLPES	0	0	0	24	27	29	28	37
1 PESO CAPSULA + SUELO HUM. (g)	0	0	0	41,93	41,8	38,57	38,79	40,53
2 PESO CAPSULA + SUELO SECO (g)	0	0	0	39,16	39,12	36,54	36,09	38,05
3 PESO DE LA CAPSULA (g)	0	0	0	27,6	28,33	25	25,05	27,89
4 PESO DEL AGUA (1-2) (g)	0	0	0	2,77	2,68	2,03	2,7	2,48
5 PESO DEL SUELO SECO (2-3) (g)	0	0	0	11,56	10,79	11,54	11,04	10,16
6 HUMEDAD (4/5)*100 (%)	0	0	0	23,96	24,84	17,59	24,46	24,41
7 PROMEDIO LIMITE PLASTICO (%)	0	0	0					

9.6. Clasificación de suelos.

Este estudio sintetiza trabajos in-situ como de laboratorio; entregando: clasificación estratigráfica del subsuelo; según métodos USCS y AASHTO, más algunas otras consideraciones de ingeniería geotécnica complementarias para efectos de diseño y construcción.

A continuación el resultado de ambas clasificaciones mencionadas:

TABLA 12: CLASIFICACION DE SUELOS SEGÚN METODO USCS.

clasificación de suelos uscs	MEDICIONES	M1	M2	M3
	% QUE PASA N°200	< 50% GRANULAR	< 50% GRANULAR	< 50% GRANULAR
	% SG QUE PASA N°4	>50% ARENA	>50% ARENA	>50% ARENA
	% QUE PASA N°200 Cu cc	>12% 0.2 0.2	12% 0.2 0.2	12% 0.2 0.2
	TIPO DE SUELO	SM ARENA LIMOSA	SM ARENA LIMOSA	SM ARENA LIMOSA

TABLA 13: CLASIFICACION DE SUELOS SEGÚN METODO AASHTO.

Clasificación de suelos AASHTO.	Mediciones	M1	M2	M3
	% que pasa N°200	35% granular	35% granular	35% granular
	grupo	**A3(10.5)**	**A3(10.5)**	**A3(12)**
	subgrupo	**A2-6**	**A2-6**	**A2-6**
	Características del materias que pasa N°40 (L.L y L.P)	L.L ≤ 40 L.P> 10	L.L ≤ 40 L.P> 10	L.L ≤ 40 L.P> 10
	TIPO DE MATERIAL	Grava y arena Limo - arcillosa	Grava y arena Limo - arcillosa	Grava y arena Limo - arcillosa

9.7. Análisis de resultados.

Los suelos de tipo arenas limosas (SM), reflejan la presencia de material fino en más de un 12%, lo que implica restarle importancia a la forma y distribución de los granos, pues estos ya no estarían en contacto directo sino que “envueltos” en la masa de suelo fino. Pudiendo generar dependiendo de la carga a soportar, que en algunos puntos éste pierda estabilidad.

Según la clasificación obtenida por sistema AASHTO cabe destacar lo siguiente:

Los suelos del grupo (A3), constituyen los mejores suelos para utilización vial. Porque sus porcentajes de finos (limo) son menores al de los granos gruesos y en este caso, significa un excelente terreno para construir.

Los suelos de tipo (A-2-6), contienen mayor cantidad de finos en su composición. Esto implica que su comportamiento se posiciona en la categorización de regular a malo. Porque el porcentaje de finos (limo y arcilla) supera al grueso, favoreciendo problemas de estabilidad principalmente.

TERCER CAPÍTULO

Proponer una solución de mejoramiento del subsuelo para la ampliación de la fábrica de producción de la empresa Neumann.

10. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE SUBSUELO.

Mejorar un suelo significa estabilizar su fase solida o esqueleto resistente, de modo que básicamente su “capacidad de soporte” aumente y su nivel de deformaciones disminuya frente a solicitaciones externas.

La estabilización del esqueleto resistente, presenta los siguientes beneficios, desde el punto de vista ingenieril:

- Aumentar la capacidad de carga.
- Minimizar la posibilidad de asentamientos.
- Disminuir el ingreso de agua

En esta etapa del trabajo, es fundamental la correcta interpretación de las mediciones y resultados obtenidos en los capítulos anteriores.

A continuación, se describirán los distintos parámetros a considerar para el planteamiento de la propuesta.

10.1. Mejora del terreno.

10.1.1 Generalidades

A efectos de este DB se entenderá por mejora o refuerzo del terreno el incremento de sus propiedades resistentes o de rigidez para poder apoyar sobre él adecuadamente cimentaciones, viales o servicios

10.1.2 Condiciones iniciales de terreno.

Antes de decidir o implementar cualquier tipo de mejora o refuerzo del terreno deben establecerse adecuadamente las condiciones iniciales del terreno mediante el oportuno estudio geotécnico.

10.1.3 Elección del procedimiento de mejora o refuerzo del terreno.

1. La mejora o refuerzo del terreno podrá hacerse mediante su mezcla con aglomerantes hidráulicos, sustitución, precarga, compactación dinámica, vibro-flotación, inyección, inyección de alta presión (jet grouting), u otros procedimientos que garanticen un incremento adecuado de sus propiedades.
2. Los siguientes factores, según proceda, deben tomarse en consideración para elegir el proceso más adecuado de mejora o refuerzo del terreno:

a) espesor y propiedades del suelo o relleno a mejorar;

b) presiones intersticiales en los diferentes estratos;

c) naturaleza, tamaño y posición de la estructura a apoyar en el terreno;

d) prevención de daños a las estructuras o servicios adyacentes;

e) mejora provisional o permanente del terreno;

f) en términos de las deformaciones previsibles, relación entre el método de mejoradel terreno y la secuencia constructiva;

g) los efectos en el entorno, incluso la posible contaminación por substancias tóxicas (en el caso en que éstas se introdujeran en el terreno en el proceso de mejora) o las modificaciones en el nivel freático;

h) la degradación de los materiales a largo plazo (por ejemplo en el caso de inyecciones de materiales inestables).

10.1.4 Condiciones constructivas y de control.

1. En el proyecto se establecerán las especificaciones de los materiales a emplear,las propiedades del terreno tras su mejora y las condiciones constructivas y de control.
2. Los criterios de aceptación, fijados en el proyecto para el método que pueda adoptarse de mejora del terreno, consistirán en unos valores mínimos de determinadas propiedades del terreno tras su mejora.
3. La consecución de estos valores o de valores superiores a los mínimos, tras el proceso de mejora, debe ser adecuadamente contrastada.

10.2. MÉTODOS DE MEJORA DEL TERRENO.

- COMPACTACIÓN.
- PRECARGA Y DRENAJE.
- COLUMNAS DE GRAVA POR VIBROSUSTITUCIÓN.
- VIBROCOMPACTACIÓN (Vibroflotación).
- JET GROUTING.

10.3. COMPACTACIÓN.

- Elección del suelo de préstamo adecuado. → Selección cuidadosa.
- Vertido del suelo en capas de pocos centímetros.
- Modificación de la humedad del suelo colocado.

10.4. MAQUINARIA.

- Compactadoras de rodillos.
- Compactadoras de neumáticos.
- Compactadoras de “pata de cabra”.
- Máquinas vibratorias

FIGURA 22: COMPACTADORA DE RODILLO.

FIGURA 23: COMPACTADORA DE NEUMATICOS.

FIGURA 24: COMPACTADORA PATA DE CABRA.

FIGURA 25: MAQUINA COMPACTADORA VIBRADORA.

10.5. PRECARGA.

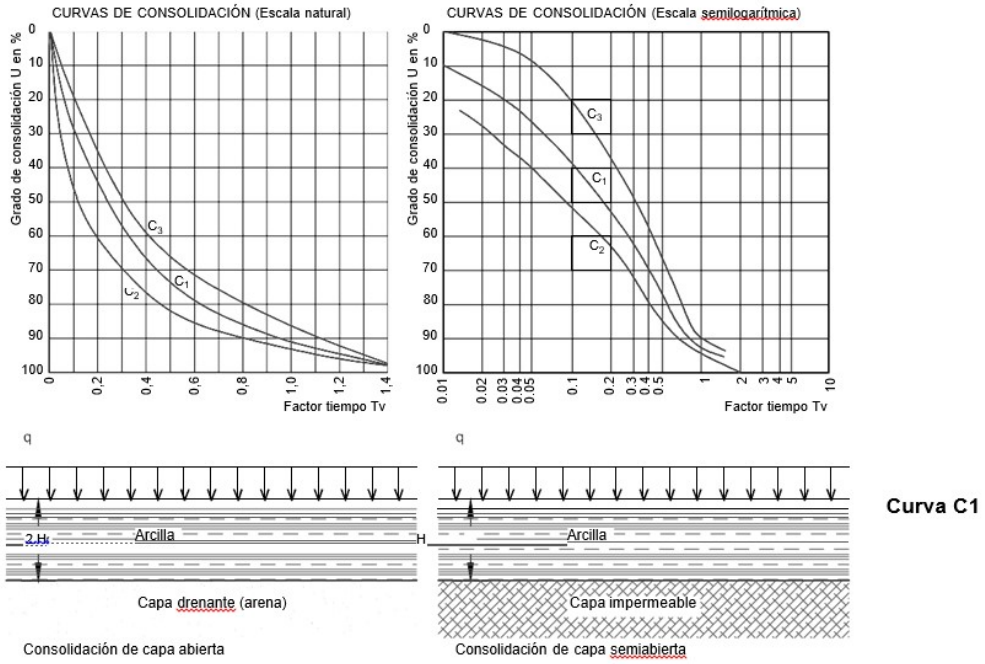

FIGURA 26: TEORIA DEL CONSOLIDADO.

PROCESO:

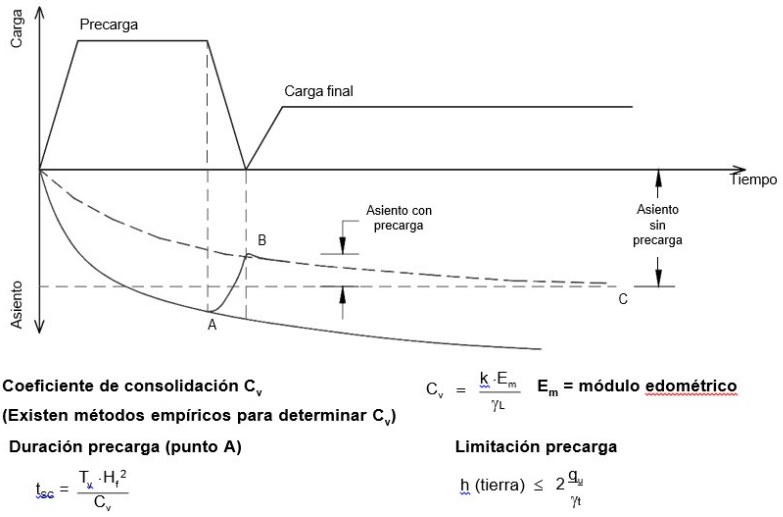

FIGURA 27: PROCESO DE PRECARGA.

10.6. METODOS DE MEJORA DEL TERRENO.

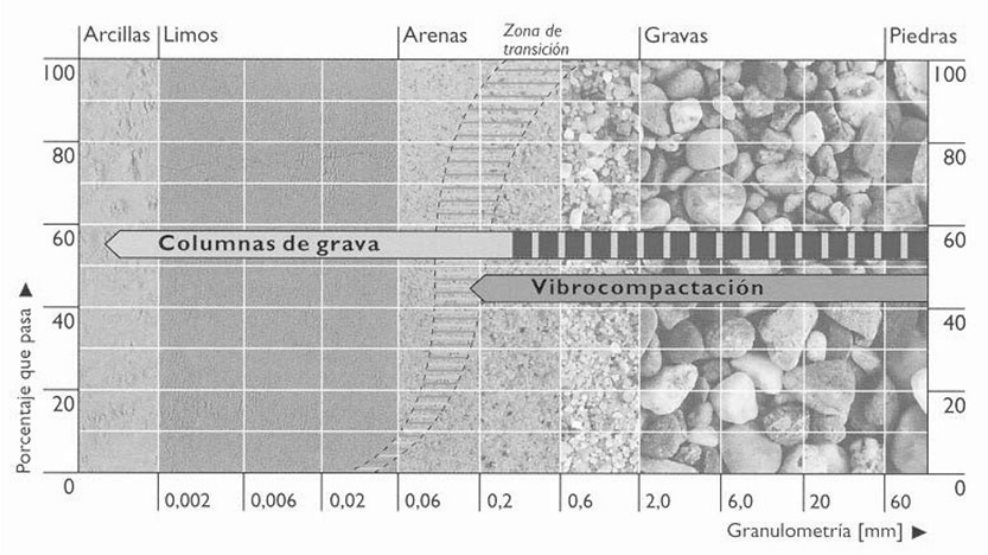

FIGURA 28: RANGO DE VALIDEZ DE ALGUNOS SISTEMAS.

10.6.1. Columna de grabas por vibro sustitución

Suponen la sustitución del terreno por columnas de grava.

Suelos mixtos granulares o cohesivos como limos arenosos y no arenosos y suelos de grano fino con una resistencia al corte de 20 a 100 kN/m2.

Adecuado para cargas ligeras a medias.

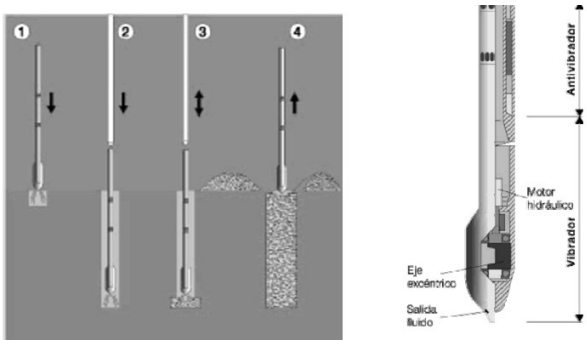

FIGURA 29: COLUMNA DE GRAVAS POR VIBROSUSTITUCION.

10.6.2. METODO CONSTRUCTIVO.

Las columnas de grava o la vibro sustitución surgen como una evolución de la vibro compactación sin aporte de grava por lo que en un principio se adoptó el mismo equipo y procedimiento de ejecución, que es el método de vibro sustitución por “Vía Húmeda”.

Posteriormente se ha cambiado debido a las dificultades que traía consigo la utilización del agua, al método “Vía seca” o “Dry method”, el cual es en la actualidad el más usado y, por ende, el que será descrito en detalle en este apartado.

El método de vía seca con descarga inferior (Dry method and Bottom-feed) utiliza un vibrador y aire comprimido, para poder ejecutar y lanzar la grava hasta la punta del vibrador. El proceso de ejecución se divide de la siguiente forma:

Se utiliza el tubo vibrador que, por el efecto combinado de las vibraciones, de su propio peso y del esfuerzo de perforación, se introduce en el terreno desplazando lateralmente al suelo, sin extraer material, hasta la profundidad deseada o hasta la obtención de un criterio de rechazo.

Al alcanzar la profundidad deseada, el vibrador se retira por pasadas ascendentes (50 cm a 1m) y comienza la incorporación de los aditivos que rellenan por gravedad el espacio libre y así el vibrador puede compactar lateralmente el área (pasadas sucesivas de 30 a 50 cm) hasta vencer el empuje pasivo del terreno y llegar a la superficie.

El diámetro final de las columnas de grava obtenido depende de las características mecánicas del suelo circundante. En terrenos blandos o flojos, se obtienen diámetros más grandes que en los suelos más duros. Por lo tanto, una columna presentara un diámetro variable, en función de los suelos atravesados, lo que significa que a priori se puede hacer una estimación del diámetro medio (no del final) con el cual se hace el dimensionado.

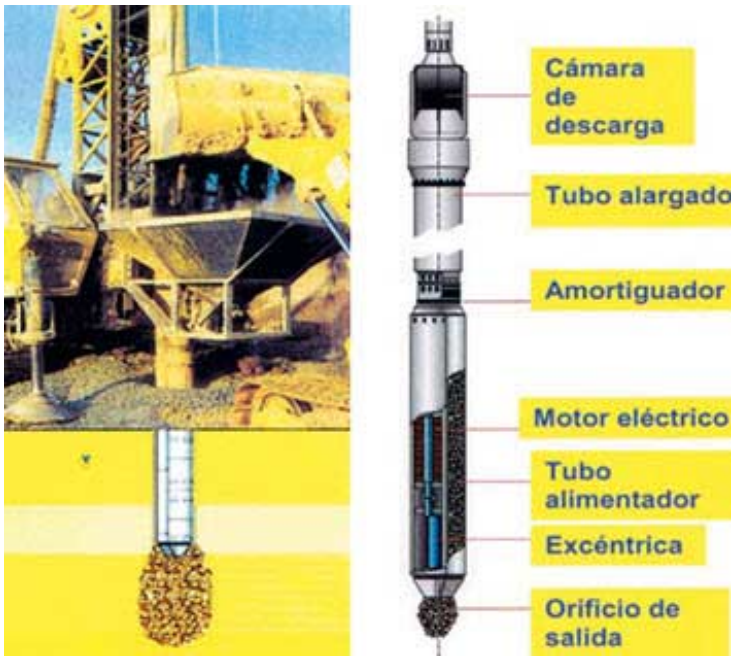

FIGURA 30: METODO CONSTRUCTIVO.

10.6.3. APLICACIONES DE LA COLUMNA DE GRAVA.

La **mejora con columnas de gravas** está pensada para solventar problemas de asientos de estratos compresibles con cimentaciones directas de grandes áreas, acelerar la consolidación en suelos, obtener altos rendimientos del terreno y servir de tratamiento de anti-licuefacción, aumentando la resistencia al corte.

Sin embargo, este mecanismo como todos los **tratamientos del terreno** tienen ciertas restricciones, por lo que como es de esperar, no representa la solución a todos los problemas geotécnicos, pero si es una herramienta muy útil en terraplenes y rellenos hidráulicos.

A continuación, se presenta una lista de las distintas tipas de obras constructivas donde es posible hacer uso de esta técnica:

– Obras hidráulicas.

– Terraplenes viarios o ferroviarios.

– Edificios industriales y comerciales.

– Muros de contención.

– Tratamiento anti-licuefacción y cimentaciones en zona sísmica.

– Depósitos, tanques, piscinas, balsas u otros elementos de las depuradoras.

– Etc.

Adicionalmente, se tienen aplicaciones de este método adaptado a otros entornos poco comunes como fondos marinos, lacustres o fluviales.

A este tipo de aplicación se le denomina columna de grava “off-shore” que, con una colocación posterior de diques de cajones o muros de escollera, se puede aplicar con relativa facilidad.

10.6.4. DIMENCIONADO Y DISEÑO DE COLUMNAS DE GRAVA.

El diseño y la planificación de las columnas de grava requiere un estudio muy detallado debido a la cantidad y variedad de elementos que influyen en el desempeño de la técnica pero para dar unas pautas se sintetizan a continuación las más importantes:

- Tamaño de las partículas de grava entre 5 y 40 mm, con un ángulo de rozamiento interno entre 38 y 40° (para efectos de cálculo) y no será friable, es decir, en el ensayo de los ángeles el desgaste de la grava debe dar valores menores al 30 o 35 %.

- La separación entre columnas suele presentar una distribución según una malla regular entre columnas cada 2 a 10 m.

- Los diámetros medios fluctúan entre 40 cm a 120 cm dependiendo de las características del suelo circundante.

- Las columnas tienen una profundidad condicionada a los equipos disponibles. Actualmente se pueden llegar hasta los 37 metros utilizando un sistema de alimentación interna en vía seca con una grúa y un tubo- vibrador aunque lo más frecuente son profundidades inferiores a los 20 m.

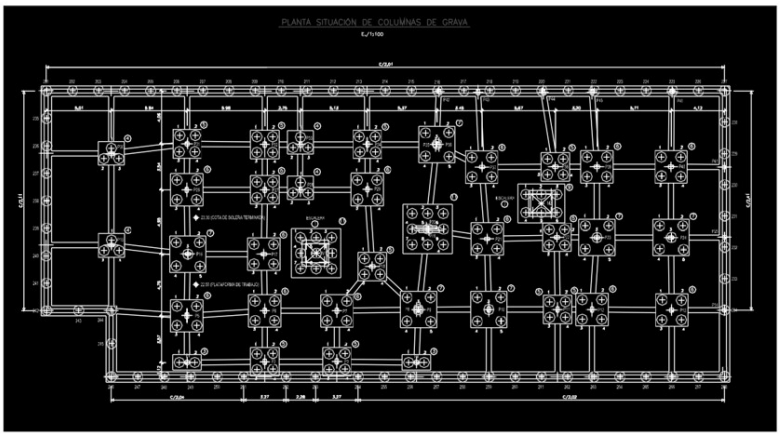

FIGURA 31: DISEÑO DE COLUMNAS DE GRAVA.

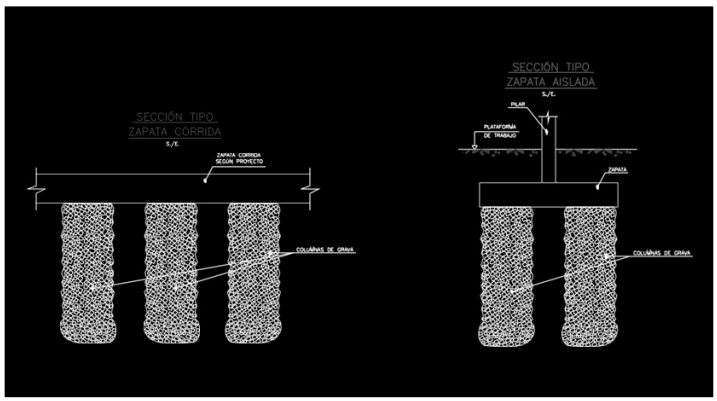

FIGURA 32: DIMENSIONES DE LA COLUMNAS DE GRAVA.

10.7. PRESUPUESTO.

	PRESUPUESTO					
Proyecto:		MEJORAMIENTO DEL SUBSUELO				
	Nº	Partida	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	$
	1	Trazado y Replanteo	ML	103,35	$ 7.528	$ 778.019
	2	Excavacion	ML	103,35	$ 76.886	$ 7.946.168
	3	COLUMNA DE GRAVA	ML	103,35	$ 634.511	$ 65.576.712
	4	GRAVA	M3	241,92	$ 16.690	$ 4.037.645
	5					
	6					
			SUBTOTAL			$ 78.338.544
			TOTAL			$ 78.338.544

TABLA 14: PRESUPUESTO GENERAL.

		ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
APU:		COLUMNA DE GRAVA			Unidad	ML
Proyecto:		MEJORAMIENTO DEL SUBSUELO			Cantidad:	1
	A	**MATERIALES**				
	Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
	1	GRAVA TRITURADA DE 1/2" A 1"	m3	1	16690	16690
						0
						0
						0
						0
						0
						0
					Total A	16690
					Unitario A	
	B	**MAQUINAS Y EQUIPOS**				
	Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
	1	MAQUINA VIBRO COMPACTADORA	ML	1	89281	89281
	2	MAQUINA PERFORADORA DE PILOTES	ML	1	61420	61420
	3	TRANSPORTE VIBROCOMPACTADORA	GL	1	76617	76617
	4	TRANSPORTE PERFORADORA	GL	1	56671	56671
	5	RETROEXCABADORA	ML	1	3799	3799
	6	CAMEON TOLVA	ML	1	4749	4749
	7					
					Total B	292537
					Unitario B	
	C	**MANO DE OBRA**				
	Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
	1	SUPERVISOR	H-D	1	18880	18880
	2	JORNAL	H-D	2	8888	17776
	3	M-1	H-D	1	14444	14444
						0
						0
						0
						0
						0
					Sub Total C	51100,00
				30% leyes Sociales		15330,00
					Totall C	66430,00
				Unitario C:		
			D.- Total costo directo (A+B+C)			375657,00
			E.- 20_% Gastos Generales (sobre D)			75131,40
			F.- 3% Gastos Financieros (sobreD+E)			13523,65
			G.- 15% Utilidades (Sobre D+E+F)			69646,81
			H.-19% IVA (Sobre D+E+F+G)			101452,18
			TOTAL PRECIO (D+E+F+G+H)			635411,04

TABLA 15: COLUMNA DE GRAVA TERMINADO (APU).

		ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
APU:		EXCAVACION			Unidad	ML
Proyecto:		MEJORAMIENTO DEL SUBSUELO			Cantidad:	1
	A	**MATERIALES**				
	Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
	1	agua	m3	1	1062	1062
						0
						0
						0
						0
						0
						0
					Total A	1062
					Unitario A	
	B	**MAQUINAS Y EQUIPOS**				
	Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
	1	RETROEXCAVADORA	ML	1	3799	3799
	1	CAMEON TOLVA	ML	1	4749	4749
						0
						0
						0
						0
					Total B	8548,00
					Unitario B	
	C	**MANO DE OBRA**				
	Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
	1	ayudnte albañileria	H-D	3	8888	26664,00
						0
						0
						0
						0
						0
						0
						0
					Sub Total C	26664,00
				30% leyes Sociales		7999,20
					Totall C	34663,20
				Unitario C:		
			D.- Total costo directo (A+B+C)			44273,20
			E.- 20_% Gastos Generales (sobre D)			8854,64
			F.- 3% Gastos Financieros (sobreD+E)			1593,84
			G.- 15% Utilidades (Sobre D+E+F)			8208,25
			H.-19% IVA (Sobre D+E+F+G)			11956,69
			TOTAL PRECIO (D+E+F+G+H)			74886,61

TABLA 16: EXCAVACION (APU).

		ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
APU:		Trazado y Replanteo			Unidad	ml
Proyecto:		MEJORAMIENTO DEL SUBSUELO			Cantidad:	1
	A	**MATERIALES**				
	Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
	1	Pino 2x2x3,20	pza	0,333	1390	462,87
	2	Pino 1x4x3,20	pza	0,333	1450	482,85
	3	Clavos 3"	Kg	0,052	1200	62,4
	4	Alambre N° 18	Kg	0,0095	8190	77,805
	5	Cal	Kg	1	1490	1490
						0
						0
					Total A	2575,925
					Unitario A	
	B	**MAQUINAS Y EQUIPOS**				
	Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
						0
						0
						0
						0
						0
						0
						0
					Total B	0
					Unitario B	
	C	**MANO DE OBRA**				
	Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
	1	1 Trazador	HH	0,36	2333	839,88
	2	1 Jornal	HH	0,36	1556	560,16
	3	Desgaste de herramientas	%	3		42,00
						0
						0
						0
						0
						0
					Sub Total C	1442,04
				30% leyes Sociales		432,61
					Totall C	1874,65
				Unitario C:		
			D.- Total costo directo (A+B+C)			4450,58
			E.- 20% Gastos Generales (sobre D)			890,12
			F.- 3% Gastos Financieros (sobreD+E)			160,22
			G.- 15% Utilidades (Sobre D+E+F)			825,14
			H.- 19% IVA (Sobre D+E+F+G)			1201,95
			TOTAL PRECIO (D+E+F+G+H)			7528,00

TABLA 17: TRAZADO Y REPLANTEO (APU).

CONCLUSIONES.

11. Conclusiones.

De todo el estudio realizado puedo finalizar este trabajo teniendo claro que:

I. Nuestra región del Biobío, posee **depósitos fluviales inconsolidados** que dan lugar a la formación de sedimentos, compuestos principalmente de arenas medias a finas.

II. La exploración geotécnica realizada, satisface los requerimientos mínimos exigidos en la norma chilena vigente NCh 1508 of. 2014 Geotecnia –Estudio de mecánica de suelos.

III. El subsuelo investigado presenta calidad estructural adecuada y condiciones geo-mecánicas aceptables para apoyar fundaciones superficiales de carácter definitivo a partir del estrato clasificado como: **arena limosa** de baja compresibilidad (SM).

IV. La exploración geotécnica realizada, satisface los requerimientos mínimos exigidos en la norma chilena vigente NCh 1508 of. 2014 Geotecnia –Estudio de mecánica de suelos.

Sin duda realizar este trabajo, personalmente será enriquecedor a lo largo de toda su elaboración. Como aspirante al título de ingeniero constructor, aportare con conocimientos adquiridos durante mi etapa de estudiante, especializándome en el área de mecánica de suelos, donde específicamente obtendré a través de ensayos normalizados, la variedad de características de las muestras de suelo extraídas, necesarias para recomendar como conclusión de este estudio, condiciones constructivas en base a los resultados obtenidos.

12. Bibliografía.

Berry, Peter L. y Reid, David. Mecánica de suelos. Bogotá McGraw-Hill, 1993. ISBN 9586001725.

Crespo Villalaz, Carlos. Mecánica de suelos y cimentaciones. Sexta edición. Mexico Limusa 2010. ISBN 9789681869632.

Juárez Badillo, Eulalio y Rico Rodríguez, Alfonso. Mecánica de suelos. Tercera edición. México Limusa-Wiley, 1985. ISBN 9681880699.

Lambe, T. William y Whitman, Robert V. Mecánica de suelos. México Limusa 2002. ISBN 9681818946.

Ministerio de Obras públicas. Manual de carretera Volumen 8, Especificaciones y métodos de muestreo, ensaye y control 2017.

Ministerio de Obras Públicas. Nch1508 Geotecnia-Estudio de Mecánica de Suelos 2014. Tercera Edición

Terzaghi, Karl y Peck, Ralph Brazelton. Mecánica de suelos en la ingeniería práctica. Segunda edición. Buenos Aires: El Ateneo, 1973.

Whitlow, Roy. Fundamentos de la mecánica de suelos. México: Compañía editorial continental, 1994.

13. LINKONGRAFIA

- https://www.insucons.com/analisis-precio-unitario/hh/movimiento-de-tierras/338/excavacion-con-retroexcavadora

- file:///C:/Users/matias/Desktop/APU%20TRAMO%20VI.pdf

- http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfciq.6m/sources/bmfciq.6m.pdf

- https://www.udc.es/dep/dtcon/estructuras/ETSAC/Profesores/valcarcel/MaterMRHE-0809/6-Mejora%20suelos.pdf

- https://geotecniafacil.com/columnas-de-grava/#:~:text=La%20separaci%C3%B3n%20entre%20columnas%20suele,las%20caracter%C3%ADsticas%20del%20suelo%20circundante.