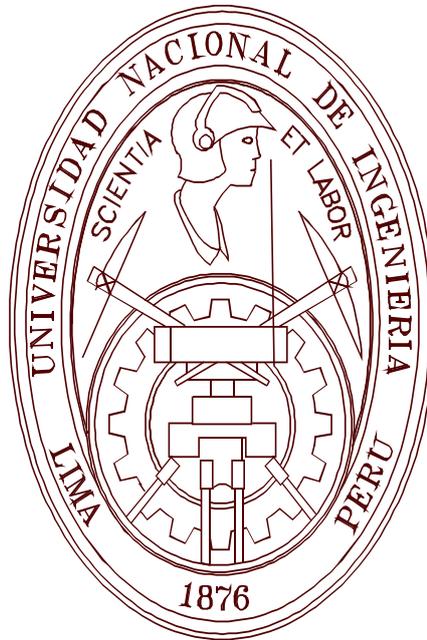


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
SECCION DE POSGRADO**



**ANALISIS DINAMICO DE CIMENTACIONES
PARQUE INDUSTRIAL- ICA**

TESIS

**Para optar el Grado de Maestro en Ciencias
con mención en**

INGENIERIA GEOTECNICA

Ing. José Eliseo Flores Gómez

**Lima-Perú
2012**

Presentado a la Sección de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Civil en cumplimiento parcial de los requerimientos para el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA GEOTÉCNICA
DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

2011

Autor : Ing. José Eliseo Flores Gómez

Recomendado : PHD. Jorge Elías Alva Hurtado
Asesor de la Tesis

Aceptado por : CE Ing. Francisco Coronado del Águila
Jefe de la Sección de Posgrado

@ Año; Universidad Nacional de Ingeniería, todos los derechos reservados ó el autor autoriza a la UNI-FIC a reproducir la tesis en su totalidad o en partes.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento y gratitud eterna a mis profesores, Mag. Alberto Martínez Vargas y Dr. Hugo Scaletti Fariña por su valioso tiempo que destinan en su apoyo académico, con el único interés de forjar las bases sólidas del conocimiento y la investigación científica, en las ciencias y técnicas de la ingeniería.

Asimismo, mi reconocimiento sincero y gratitud que expreso especialmente a mi Asesor Dr. Jorge Alva Hurtado, excelente maestro, de quien aprendí que con esfuerzo y modestia se alcanza las metas trazadas.

Ing. José Eliseo Flores Gómez

ÍNDICE

	Pág.
Resumen	06
Introducción	08
Capítulo I	09
1.0. Generalidades	09
1.1. Aspectos Básicos.	09
1.2. Antecedentes de Cimentación de Maquinas	09
1.3. Ubicación del Proyecto	11
1.4. Objetivos e Importancia del Proyecto	11
1.4.1.- Objetivo General	11
1.4.2.- Objetivo Especifico	11
1.4.3.- Importancia del Proyecto	12
Capítulo II: Exploración de Campo	
2.1. Ubicación de Calicatas	13
2.2. Excavación de Calicatas	13
2.3. Obtención y Selección de Muestras	14
2.4. Perfiles Estratigráficos	15
Capítulo III: Ensayos de Laboratorio	17
3.1. Propiedades Índice de los Suelos	17
3.1.1. Análisis Granulométrico	18
3.1.2. Contenido de Humedad Natural	22
3.1.3. Límites de Consistencia	23
3.1.4. Peso Específico Relativo de los Granos del Suelo	24
3.1.5. Clasificación de Suelos según S.U.C.S.	26
3.2. Densidad Relativa	27
3.3. Interpretación de los Resultados	30
Capítulo IV: Parámetros Básicos del Suelo	39
4.1. Parámetros Dinámicos	40

4.1.1. Densidad de Masa	41
4.1.2. Módulos de Corte	42
4.1.3. Coeficiente de Poisson	45
4.1.4. Amortiguamiento	47
4.2. Efectos de la Superficie de Contacto	49
4.3. Consecuencias del Empotramiento de la Cimentación	51
Capítulo V : Análisis de las Cimentaciones	54
5.1. Tipos de Cimentaciones de Máquinas	54
5.1.1. Máquinas de Impacto	56
5.1.2. Máquinas de Rotación	57
5.1.3. Máquinas Reciprocantes	57
5.2. Limitación de los Niveles Vibracionales	58
5.3. El Sistema Vibratorio y sus Componentes	64
Capítulo VI: Diseño de Cimentaciones para Máquinas Vibratorias	66
6.1. Cimentación para máquinas tipo reciprocantes	78
6.2. Cimentación para máquinas tipo rotatoria	79
Capítulo VII: Conclusiones y Recomendaciones	
7.1.- Conclusiones	82
7.2.- Recomendaciones	84
Bibliografía	86
Anexos	87

RESUMEN

La presente investigación consiste en el diseño de las cimentaciones más convenientes para el funcionamiento de los diferentes tipos de máquinas vibratorias a utilizarse en el Parque Industrial de Ica, en acorde con las propiedades físicas y mecánicas de los estratos de suelos existentes en dicha zona.

La investigación se inicia con el estudio de campo para ubicar ocho calicatas y hacer las perforaciones correspondientes a una profundidad de 4.50 m cada una y obtener las muestras de suelos, las mismas que serán analizadas en el laboratorio de mecánica de suelos para la obtención de los valores del contenido de humedad natural del suelo, los perfiles estratigráficos, los límites de consistencia, la gravedad específica y las densidades máximas y mínimas del suelo natural. Estos ensayos se hicieron en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la UNI-Lima.

Con las muestras de suelos de las calicatas C-4 y C-5 se realizó el ensayo de compresión edométrica, y con las muestras de suelos de las calicatas C-6, C-7, y C-8, se hicieron ensayos de corte directo con el objetivo de determinar los valores cualitativos y cuantitativos de los parámetros geotécnicos del suelo tales como el módulo de elasticidad, el módulo de corte y el coeficiente de Poisson. Con el conocimiento numérico de estos parámetros geotécnicos, la dinámica de suelos y la aplicación del programa de cómputo denominado CIMAQ; se diseñó las cimentaciones para los tipos de maquinarias, tanto reciprocante, como la de rotación.

Al entrar en funcionamiento estas máquinas su comportamiento dinámico o fuerzas dinámicas desbalanceadas van a transmitir ondas vibratorias que causarán movimientos en el bloque de cimentación y éstas serán transmitidas a las edificaciones vecinas y que si son excesivas causarán asentamientos perjudiciales. Asimismo, estos ruidos insoportables a los oídos de los trabajadores de las fábricas, causarán grandes daños en la calidad de vida de dichas personas. Estos hechos a parte de disminuir la producción van a originar alteraciones psicológicas y fisiológicas en los trabajadores. El estudio finaliza con el Capítulo VII que se refiere a las conclusiones y recomendaciones como se puede interpretar al final del capítulo.

ABSTRACT

This research consists of the design of foundations more convenient for the operation of the various types of vibratory machines for use in the industrial park of Ica in line with the physical and mechanical properties of the soil layers that exist in that area.

The investigation began with the field study to locate eight soil pits and corresponding drilling to a depth of 4.50 meters each and obtain samples of soil, which were used in the laboratory soil mechanics for obtaining the values of the natural moisture content of soil, stratigraphic profiles, the limits of consistency, the specific gravity and density maximum and minimum soil naturally. These tests were made in the laboratory of FIC-UNI-Lima.

The soil samples from the soil pits C-4 and C-5 was a rehearsal of understanding edométrica, for the determination of geotechnical parameters of the soil such as modulus of elasticity, the shear modulus and the Poisson ratio. With the knowledge of these numerical geotechnical parameters, the dynamics of soil and the application of computer program called CIMAQ were entered foundations for the design of types of machinery, reciprocant and rotation. By entering into these machines running its dynamic behavior or unbalanced dynamic forces will transmit vibration waves to cause deformation in the block foundation and these will be forwarded to the neighboring buildings, and that if they cause excessive settlements harmful. Also these noises unbearable to the ears of workers in factories. These facts besides reducing yields will cause negative impacts on the environment, with respect to Chapter VII has proposed linking Studio environmental assessment to minimize these impacts. The study concludes with Chapter VII, which respect to the conclusions and recommendations can be interpreted as the end of chapter.

INTRODUCCIÓN

El exitoso desarrollo que ha alcanzado la Región Ica en lo que respecta a la agroexportación exige a la fecha la instalación de fábricas de producción agrícola en la zona del Parque Industrial que requieren la instalación de máquina vibratorias de producción para lo cual ha éstas máquinas se le tiene que diseñar cimentaciones superficiales con la aplicación de los conocimiento de la dinámica de suelos.

El estudio de la vibración de dichas máquinas constituye uno de los campos de la dinámica de suelos.

En la presente tesis se consideran ocho calicatas distribuidas en las ocho hectárea de superficie promedia que tiene la zona del Parque Industrial.

Estas plantas industriales procesadoras de productos agrícolas pueden ser de mediana a gran magnitud que debido a su constitución o por su función que realizan generan fuerzas de acción dinámica. Estas fuerzas que pueden ser permanentes o transitorias, serán transmitidas al suelo por la cimentación. Sin embargo por ser de origen dinámico puede ocurrir como consecuencia la amplificación de tales solicitaciones, como resultado de la interacción entre la cimentación y el suelo manifestándose vibraciones demasiada altas que van a ocasionar no sólo la falla de la máquina sino también a las estructuras vecinas y además la incomodidad al personal que esté trabajando cercanamente disminuyendo su normal rendimiento en la producción.

Este comportamiento de las máquinas hacia los estratos de suelos, es lo que se pretende en la práctica dar a conocer mediante la dinámica de suelos la aplicación presente y futura en mantos de suelos de origen eólico en la zona de estudio.

El Autor

CAPÍTULO I

1.0. GENERALIDADES

1.1. Aspectos Básicos

Los Ingenieros, específicamente dedicados a la construcción de edificaciones analizan constantemente el suelo para determinar el diseño de la cimentación más conveniente, compatible con la capacidad portante del mismo.

Los ingenieros dedicados al diseño de obras geotécnicas tales como estructuras de retención, diseño de terraplenes, construcción de presas de tierra, pavimentos y aberturas subterráneas, deben analizar los parámetros del suelo para determinar si cumplen con las exigencias requeridas para ser usado como material de construcción de proyectos de Ingeniería. El éxito del desarrollo de éstas tareas en el primer caso se basa en el estudio de mecánica de suelos, que organiza de una manera sistemática los principios y el conocimiento de las propiedades y parámetros de los suelos. En el segundo caso se aplica la dinámica de suelos, que además se refiere al comportamiento y la respuesta de masas durante la aplicación rápida de carga y el uso de transmisión de ondas que permite evaluar las propiedades del terreno donde se va a cimentar. El comportamiento dinámico de los suelos, mediante la aplicación de casos prácticos; se pretende dar a conocer para su aplicación futura en mantos de suelos de origen eólico.

1.2. Antecedentes de Cimentación de Máquinas

Los diferentes tipos de cimentaciones en edificaciones empleadas en la ciudad de Ica, son del tipo superficial; y son diseñadas con las fórmulas de la estática que se aplican en la mecánica de suelos. Los cimientos corridos empleados en programas masivos de viviendas o viviendas unifamiliares, zapatas aisladas, zapatas conectadas con vigas de cimentación y zapatas combinadas; son las requeridas en

las cimentaciones de edificaciones aporricadas. Con éstas fórmulas estáticas se han diseñado algunas cimentaciones para maquinarias de baja frecuencia que en la mayoría de los casos no superan las 400 r.p.m., utilizadas en algunas pequeñas industrias en Ica.

Sin embargo al entrar en funcionamiento éstas máquinas originan cargas dinámicas que provocan vibraciones a sus respectivas cimentaciones, debido a las fuerzas de inercia no equilibradas de los elementos que constituyen la maquinaria.

Es necesario precisar que a mayor amplitud de las vibraciones del cimiento, mayor es el peligro al asentamiento considerable y no uniforme; estos problemas pueden producir su ruptura de la máquina y de la cimentación.

En Ica no se conoce antecedente de aplicación de la dinámica de suelos para la determinación de los parámetros geotécnicos de diseño. Las cimentaciones para máquinas vibratorias, a utilizarse en la producción industrial debe proporcionar un adecuado comportamiento en la relación máquina – cimentación y que su estabilidad y tiempo de servicio debe estar garantizada.

Es de vital importancia incursionar en el conocimiento profundo y la aplicación de la dinámica de suelos en cimentaciones de maquinarias. Las máquinas generan cargas dinámicas frente al espectro de respuesta del suelo, y que además recibe ondas sísmicas a causa de movimientos sísmicos.

La dinámica de suelos es parte especializada de la mecánica de suelos que trata sobre el comportamiento del suelo y la respuesta de masa del suelo durante la aplicación rápida de carga. El uso de vibraciones para mejorar las propiedades ingenieriles del suelo y el uso de transmisión de ondas para evaluar las propiedades del terreno. Es tratado en el 2002 (Alva Hurtado, Jorge)².

En general los problemas de ingeniería geotécnica que involucran la aplicación rápida de cargas es el primer problema que le corresponde resolver a la dinámica de suelos.

² ALVA HURTADO JORGE
Dinámica de Suelos – Primera Edición – 2002 -Lima

1.3. Ubicación del Proyecto

El estudio de investigación se desarrolla en la zona del parque industrial de Ica, ubicado en la Urbanización San Joaquín Km.300 de la Panamericana Sur.

Distrito : Ica
Provincia : Ica
Departamento : Ica.

1.4. Objetivos e Importancia del Proyecto.

1.4.1. Objetivo General

Diseño de cimentaciones superficiales para máquinas vibratorias industriales en los Centro de Producción ubicados en la zona del Parque Industrial de Ica.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros geotécnicos, mediante los estudios de campo y los ensayos de laboratorio desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo requeridos en el diseño de las cimentaciones superficiales para maquinarias vibratorias.
- Estudiar el comportamiento dinámico de las principales máquinas industriales durante su operatividad.
- Diseñar las cimentaciones requeridas que sean capaces de soportar a las máquinas vibratorias durante su funcionamiento en la producción industrial tipo reciprocante y rotativas.
- Mediante el diseño de cimentación adecuado minimizar las vibraciones al máximo para evitar daños a las mismas máquinas y a los trabajadores de las fábricas.

1.4.3. Importancia del Proyecto

Todas las edificaciones de la zona industrial existentes así como del casco urbano de Ica, sus cimentaciones han sido diseñado con los conocimientos de la mecánica de suelos, comportándose a través del tiempo correctamente, este hecho se debe a que éstas obras no generan ondas vibratorias, son obras estáticas diseñadas para soportar las ondas sísmicas y no las de origen por la aplicación de cargas dinámicas como en el caso de cimentaciones para máquinas que si están transmitiendo grandes vibraciones al suelo durante el funcionamiento de las máquinas y que éstas son transmitidas mediante ondas a las edificaciones vecinas existentes, originándoles grandes asentamientos diferenciales que podrán ocasionar daños a las edificaciones e inclusive llegar hasta el colapso de la obra.

Para contrarrestar este fenómeno vibratorio peligroso, el diseño de las cimentaciones superficiales para máquinas vibratorias tienen que hacerse con la correcta aplicación de los conocimientos de la dinámica de suelos, que es una parte especializada de la mecánica de suelos, y que se ocupa del estudio de las propiedades y del comportamiento de los suelos en general sometidos a las cargas dinámicas tales como: terremotos, temblores, explosiones, por funcionamiento de máquinas vibratorias, accionar de martillos en la hincas de pilotes, el tráfico de vehículos pesados, aeronaves, vías férreas, superficiales y subterráneas, la fuerza del viento y las ondas marinas.

Por lo expuesto, se considera de suma importancia la aplicación de los conocimientos de la dinámica de suelos en el diseño de cimentación para el funcionamiento de dichas máquinas industriales y teniendo una zona destinada al desarrollo industrial en la Provincia de Ica el desarrollo del presente proyecto resulta ser de suma importancia y su ejecución debe ser a corto plazo.

CAPÍTULO II

2.0. ESTUDIO DE CAMPO

2.1. Ubicación de Calicatas

Para la ubicación de las calicatas en la zona de estudio se tuvo que hacer en primer lugar un estudio de campo en toda la zona considerada en el Proyecto. La exploración consistió en hacer un reconocimiento de la zona en estudio analizando las características superficiales del terreno que es la base fundamental para la determinación de los métodos de exploración a aplicar en la excavación y la ubicación de los puntos de donde se extraerán las muestras necesarias. Este hecho permitió determinar que se trataba de un estrato de suelo de origen eólico y que antiguamente sus primeros 0.40 m. de espesor estaban dedicadas a la agricultura. Considerando la extensión y naturaleza del terreno se determinó que el número de excavaciones serían como mínimo 8 calicatas, a una profundidad media de 4.50m. a partir del nivel del suelo natural, y cuya ubicación se aprecia en el plano A-01 (Ubicación de calicatas) denominándoles: Calicata N° 1, Calicata N° 2, Calicata N° 3, Calicata N° 4, Calicata N° 5, Calicata N° 6, Calicata N° 7, y Calicata N° 8.

2.2. Excavación de Calicatas

Definida la ubicación de calicatas y habiendo determinado el método de exploración, se observó además que la zona en estudio tiene una superficie bastante llana, de pendiente mínima ya que se trata de terrenos que antiguamente eran de producción agrícola, estos hechos determinaron realizar el sistema denominado “Excavación a cielo abierto”, con lampa de corte a mano. Para iniciar la excavación se calculó la posible profundidad de investigación del terreno, mediante la aplicación del Método de Boussinesq con una carga de aplicación asumida de 60 ton. Se

determinó una profundidad de 4.50 m, a partir del nivel del terreno natural.

Los pozos de excavación se iniciaron dándoles una forma cuadrada de 3.50 m x 3.50m, hasta una profundidad de 2.00 m, bajando para examinar los diferentes estratos existentes en su estado natural; a partir de este nivel, se redujo la sección del pozo dándole la misma forma cuadrada de 2.50m. por lado, luego, se excavó hasta llegar hasta la profundidad de 3.50 m. haciendo un entibado de madera en todo el perímetro de la zanja para evitar los posibles derrumbes, hecho esto se siguió excavando hasta cerca los 4.50 m. de profundidad.

2.3. Obtención y Selección de Muestras

La obtención y selección de muestras es una operación sumamente importante en la que hay que tener en cuenta las máximas precauciones y cuidados a fin de que éstas sean las más representativas del material existente en los diferentes estratos que constituyen los suelos dentro de las calicatas que nos garanticen la obtención de las propiedades y parámetros ingenieriles óptimos existentes en el estado natural del suelo, en este caso las calicatas tuvieron solo un estrato.

Para la obtención de las muestras en este estudio de cimentaciones se han tomado las máximas precauciones con el fin de que dichas muestras representen en lo posible el material existente en el lugar de la zona investigada.

Las muestras obtenidas dada su naturaleza granular sin cohesión, son las denominadas muestras alteradas y que se denominan aquellas que no conservan las mismas características que cuando están en su estado natural; debido al tipo de suelo encontrado.

Las muestras obtenidas se utilizaron para hacer los siguientes ensayos:

- Análisis granulométrico
- Límites de consistencia
- Ensayo de densidad de campo
- Ensayo de compresión edométrica
- Ensayo de compactación
- Ensayo de corte directo

2.4. Perfiles Estratigráfico

Los perfiles estratigráficos, son los tipos de estratos de suelos que se encuentran durante la excavación, que fue mediante pozos a tajo abierto en donde se especifica el número de las calicatas, el tipo de muestra, la profundidad de la excavación, el espesor de los estratos encontrados, los símbolos de la clasificación de cada estrato y una descripción detallada del material existente, la altura del nivel freático, si es que existiera.

En los perfiles estratigráficos encontrados en cada una de las calicatas consideradas en el estudio se observa que hay una uniformidad en los tipos de materiales existentes desde el inicio de la excavación hasta la profundidad de 4.50 metros

Al inicio de la excavación de las ocho calicatas se encontró un espesor promedio de 0.40m. de suelo orgánico destinado a la producción agrícola, con presencia de desmonte y raíces; es de color marrón y que no se ha tomado en cuenta en el estudio por ser suelo orgánico.

En las ocho calicatas a la profundidad probable de la ubicación de la cimentación se encontró una arena fina seca de origen eólico de cohesión cero, pobremente graduada, no plástica.

En todas las calicatas no hubo presencia de nivel freático.

Los perfiles estratigráficos de los suelos de las ocho calicatas son similares y son como se muestra en la Fig. N°2.1.

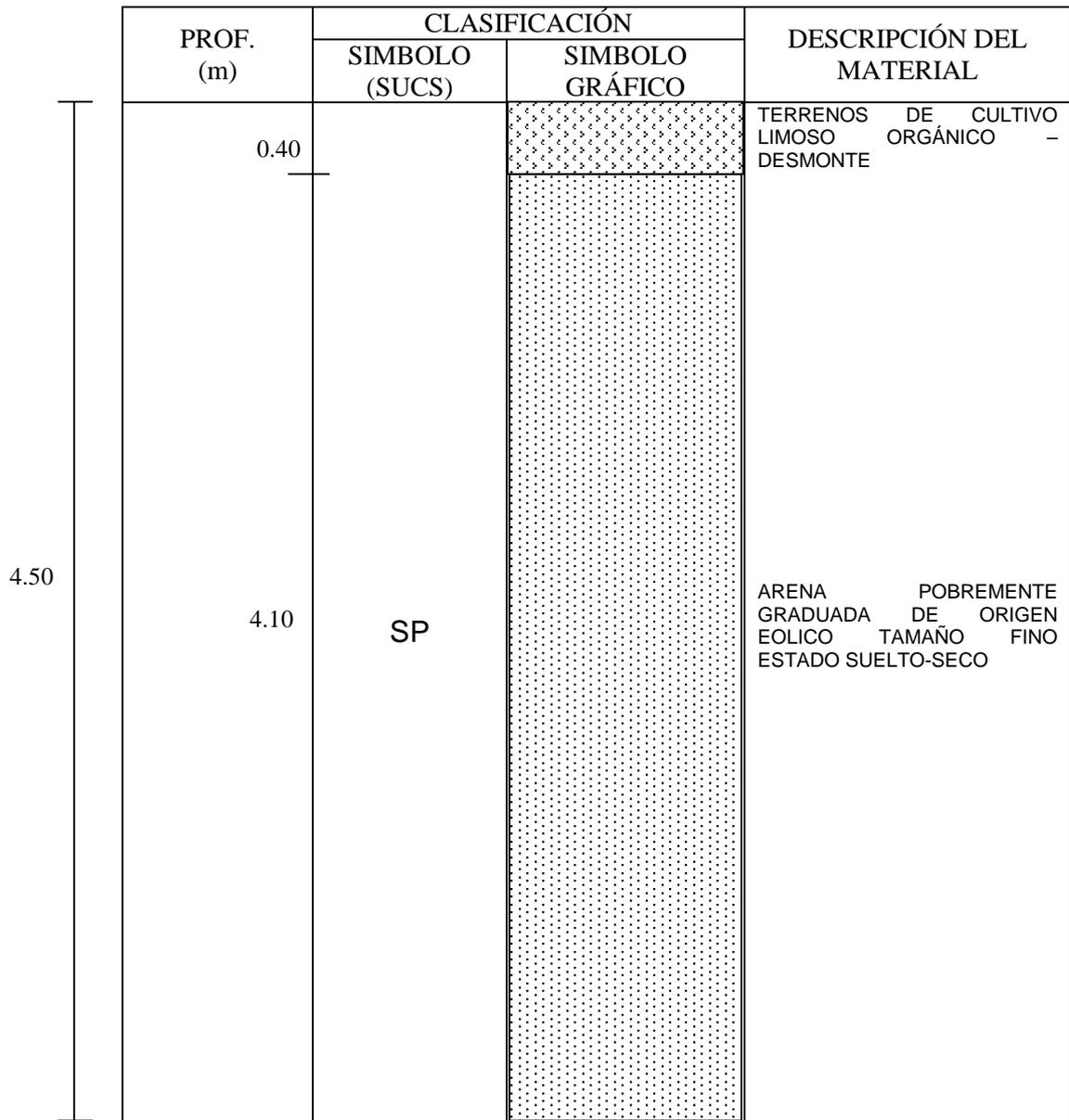


Fig. N° 2.1.

CAPÍTULO III

3.0. ENSAYOS DE LABORATORIO

Consisten en los estudios necesarios de las muestras obtenidas en los estudios de campo para el conocimiento de las principales características físicas y mecánicas de los estratos del suelo donde se va a llevar a cabo la cimentación para máquinas vibratorias consideradas en el estudio.

Los parámetros preliminares de mayor importancia requeridos son la cohesión, el ángulo de fricción interna, el peso específico relativo de las partículas, la granulometría, los límites de consistencia, el peso volumétrico del suelo natural; el peso específico seco, la relación de vacíos en estado natural y la densidad relativa que nos permita determinar los parámetros geotécnicos requeridos en el diseño de los bloques de las cimentaciones.

3.1. Propiedades Índice de los Suelos

Las propiedades índice de los suelos consisten en diferenciar los distintos tipos de suelos de una misma categoría en base al conocimiento de sus propiedades físicas y mecánicas propias, con el objeto de que la naturaleza de los suelos sea descrita detalladamente y establecer dichas diferencias de comportamiento entre dos tipos de muestras de suelo de la misma categoría.

El comportamiento del suelo en su estado natural depende no sólo de las propiedades de los granos de su masa sino que también de aquellas propiedades que tienen desde su origen en el acomodamiento de las partículas que constituyen la muestra de suelo.

En consecuencia resulta conveniente estimar sus propiedades índices en dos clases bien establecidas.

- a) Las propiedades índice de los granos del suelo
- b) Las propiedades índices de los agregados del suelo.

Siendo las principales propiedades índice de los granos del suelo su forma y su tamaño en los suelos granulares y en los suelos arcillosos son las características mineralógicas de las partículas más pequeñas.

Las propiedades Índice más significativas de los agregados del suelo son:

- La consistencia para suelos cohesivos
- La compacidad relativa para los suelos no cohesivos y los ensayos necesarios para determinar estas propiedades índice es lo que se denominan ensayos de clasificación de suelos.

3.1.1. Análisis Granulométrico.-

El análisis granulométrico tiene el propósito de determinar el tamaño de las partículas que constituye una muestra de suelo y fijar en porcentaje su peso con respecto al peso total de la muestra; la cantidad de granos de los distintos tamaños que constituyen la muestra de suelo.

El método más directo para separar un suelo de sus fracciones diferentes, es hacer pasar a la muestra a través de un juego de tamices, siendo el tamiz de abertura más pequeña la de 0.074 mm de diámetro (Tamiz N° 200) su uso está restringido al análisis de arenas limpias, de modo que si un suelo contiene partículas menores a esta malla deben ser separadas por lavado en dicho tamiz.

A.- EQUIPO UTILIZADO

En este ensayo se ha utilizado el equipo siguiente:

- Tamices: Serie U.S. Bureau of Estándar de 3", 2" y 1 1/2", 1" 3/4", 3/8" N° 4, N° 10, N° 20, N° 40, N° 60, N° 100 y N° 200.
- Horno a temperatura constante de 105°C.
- Balanza con aproximación hasta 0.001 gramo.
- Bandejas de metal o cazoleta.
- Vibrador mecánico.
- Cepillo de cerda de acero y un rodillo como procedimiento de ensayo por tamizado.

B.- PROCEDIMIENTO DE ENSAYO POR TAMIZADO

1. Por medio de cuartetos se obtuvo una muestra representativa, la misma que se seca al horno a temperatura constante durante 24 horas.
2. Al día siguiente se sacó la muestra del horno y se pesó, registrando éste peso con aproximación a gramos.
3. Se llevó la muestra seca al juego de tamices ya mencionados; se colocó la tapa en la parte alta y se sacudió el conjunto rigurosamente con un movimiento rotatorio horizontal durante 15 minutos; pesándose luego el material retenido en cada una de las mallas y registrando sus valores en el formato correspondiente.
4. Con estos valores en peso, se obtuvieron los porcentajes retenidos parcialmente y acumulados, así como los parciales que pasan por las mallas.
5. Con estos valores y con los diámetros de las mallas se trazó la curva granulométrica a una escala semi logarítmica y que viene a hacer una curva de distribución de las partículas del suelo según el tamaño de sus granos, en donde las abscisas son las

aberturas de las mallas y las ordenadas son los porcentajes del material que pasan por dichas mallas.

6. Dibujada la curva granulométrica resultante se procedió a calcular los diámetros efectivos D_{10} , D_{30} y D_{60} con el objeto de calcular los coeficientes de ALLEN HAZEN de uniformidad y de concavidad mediante las fórmulas siguientes:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \dots\dots\dots 3.1$$

Dónde:

Cu = Coeficiente de uniformidad

D_{60} = Es el tamaño de partículas que corresponde al 60% del material que pasa la curva granulométrica, en otras palabras; el 60% de las partículas son más finas que el diámetro D_{60} y el 40% son más gruesas.

D_{10} = Es el tamaño de partículas que corresponde al 10% del material que pasa la curva granulométrica, en otras palabras; el 10% de las partículas son más finas que el diámetro D_{10} y el 90% son más gruesas.

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \dots\dots\dots 3.2$$

Dónde:

Cc = Es el coeficiente de concavidad o curvatura

D_{30} = Es el tamaño de partículas que corresponde al 30% del material que pasa en la curva granulométrica, es decir que el 30% de las partículas son más finas que el diámetro D_{30} y el 70% son más gruesas.

A continuación se muestran los resultados de los ensayos de granulometría realizados en el laboratorio.

De los valores obtenidos en el laboratorio de los diámetros efectivo, obtenemos los coeficientes de ALLEN HAZEN.

De la calicata C-4 -M-1 Ensayo granulométrico se observó que:

$$D_{10} = 0.49$$

$$D_{30} = 3.53$$

$$D_{60} = 28.50$$

Cálculo del coeficiente de uniformidad:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{28,53}{0,49} = 58,22 > 6$$

Cálculo del coeficiente de concavidad:

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = \frac{(3,52)^2}{0,49 \times 28,53} = \frac{41,39}{13,94} = 0,89 < 1$$

De acuerdo a la distribución de las partículas del suelo natural, estos conforman tres grupos principales que son: el grano fino, el grano grueso y los granos altamente orgánicos.

Para separar los suelos de granos gruesos de los granos finos se toma como referencia el tamiz N° 200 (0.074m.m.).

Los suelos de grano grueso se dividen en:

Gravas (G) si más del 50% es retenido en la malla N° 4.

Arenas (S) si más del 50% pasa la malla N° 4

En general cuanto más alto sea el valor de C_u , más amplio será el rango de uniformidad en tamaños de partículas del suelo, en nuestro caso es de 58.22 bastante alto, el suelo es bastante uniforme.

Consideraciones para las gravas:

Primera:

Si $C_u > 4$ y el C_c está entre: $1 \leq C_c \leq 3$

Se dice que el suelo es bien graduado y se representa por GW.

Segunda:

Si $C_u < 4$ y el C_c está entre : $1 \leq C_c \leq 3$

Se dice que el suelo es pobremente graduado y se representa por el símbolo GP.

Consideraciones para las arenas:

Primera:

Si $C_u > 6$ y el C_c esta entre $1 \leq C_c \leq 3$

Se dice que la arena esta bien graduada y se representa por el símbolo **SW**.

Segunda:

Si $C_u < 6$ y el C_c está entre $1 \leq C_c \leq 3$

o si no cumple una de estas dos condiciones se dice que la arena es pobremente graduada y se representa por el símbolo **SP**.

Las ocho muestras consideradas en el estudio fueron pobremente graduada SP, no plástica.

3.1.2. Contenido de Humedad Natural

La humedad natural del suelo existente podría ser por dos circunstancias, la primera que dado el caso que la napa freática se encuentra, muy profunda y siendo el tipo de suelo granular esta humedad sería mediante el fenómeno

de capilaridad en que la relación de vacíos dentro del suelo estaría formando conductos capilares por donde el agua subterránea podría ascender, la otra razón sería por la filtración de aguas de lluvias temporales.

El contenido de humedad natural se obtiene en el laboratorio pesando la muestra en su estado natural, registrando dicho peso, luego meter la muestra al horno 24 horas para el secado, a las 24 horas sacar la muestra y volverla a pesar la diferencia del peso del suelo húmedo natural y el peso de la muestra secada al horno nos dará el peso del agua; luego el contenido de humedad será la relación entre el peso del agua y el peso del suelo seco multiplicado por 100

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \dots\dots\dots 3.3.$$

Según los ensayos de laboratorio esta humedad fue de 8.09%, bastante baja.

3.1.3. Límites de Consistencia.

Fue el científico sueco ATTERBERG que en el año 1911 propuso el significado físico de estos límites y que radica en el criterio de que un suelo como material resistente a las cargas exteriores aplicadas al suelo estos pueden presentarse en varios estados de consistencias según su contenido de humedad que tenga.

La consistencia es la propiedad más importante de los suelos finos es decir aquellos que pasan la malla N° 200 y es la resistencia que estos suelos ofrecen para impedir que sean comprimidos.

En consecuencia los límites que interesan a la Ingeniería Civil se basan en el concepto de que un suelo de grano fino solamente puede existir en tres estados según su contenido de humedad, estado sólido, plástico y líquido. Cuando un suelo se encuentra en estado sólido, éste está seco, sin humedad; si se le agrega agua al estado sólido, pasa a su estado plástico y si a este estado se le sigue agregando agua se convierte a su estado líquido.

A los contenidos de humedad y los puntos de transición de un estado a otro se les denomina límite de contracción, límite plástico y límite líquido, respectivamente. La norma que controla la obtención de estos límites es la ASTM D423-66 y D424-59.

En la presente investigación durante la excavación de la calicata a la profundidad requerida de investigación no se encontró suelo fino (arcilla) sólo suelo granular suelto (arenilla), en consecuencia se trata de un suelo no plástico, es decir no tienen límites de consistencia son suelos granulares finos.

3.1.4. Peso Específico Relativo de los Granos del Suelo.

Para determinar el Peso Específico de una muestra de suelo en el laboratorio; se tiene que determinar en primer lugar la gravedad específica de los granos del suelo, tomando el valor promedio.

La gravedad específica (G_s) de cualquier suelo se define como el peso unitario del material considerado, dividido entre el peso unitario del agua destilada a 4°C , si se consideran sólo los granos del suelo se obtiene:

$$G_s = \frac{\gamma_{material}}{\gamma_{agua a 4^\circ C}} \dots\dots\dots 3.4.$$

Para determinar la gravedad específica del conjunto del suelo considerando sus tres fases, se calcula utilizando cualquier relación de peso del material al peso del agua siempre y cuando se consideren volúmenes iguales de material y el agua.

Luego:

$$G_s = \frac{W_s / V}{W_w / V} \dots\dots\dots 3.5.$$

Dado a que el método de trabajo del laboratorio para determinar la gravedad específica del suelo utilizando un frasco volumétrico es en realidad un método indirecto, se deriva a continuación una expresión para calcular la gravedad específica.

Sea:

W_b = Peso del frasco volumétrico vacío y seco.

W_{bw} = Peso del frasco más agua lleno hasta la marca del frasco volumétrico.

W_s = Peso del sólido, colocarlo en el frasco vacío y nuevamente llenar el frasco hasta la marca de su volumen y pesarlo y este valor se representa por su W_{bws} .

Si el agua no fuera desplazada dentro del frasco por los sólidos del suelo cuando se le añade W_s el peso total sería.

$$W_T = W_{bw} + W_s \dots\dots\dots 3.6.$$

Como el agua es reemplazada, es decir una cantidad igual a W_{bw} , no puede añadirse al frasco a W_s , ocupa parte de su volumen, al completar el volumen del frasco,

el peso del agua que ha sido desplazada por sus partículas del suelo y no cabe ahora en la botella será:

$$W_w = W_t - W_{bws} = W_{bw} + W_s - W_{bws}$$

De la definición de la gravedad específica G_s y si no se considera un campo en la densidad ni en el volumen con la temperatura, la gravedad específica se podrá calcular de la siguiente fórmula:

$$G_s = \frac{W_s}{W_{bw} + W_s - W_{bws}} \dots\dots\dots 3.7.$$

En el caso de la muestra del proyecto de investigación en el laboratorio se obtuvo un peso específico relativo de los sólidos $G_s = 2.716$, siendo el peso específico de los sólidos:

$$\gamma_s = 2.716 \times 1.00 \text{ g/cc.} = 2.716 \text{ g/cc.}$$

Tal como se puede apreciar en el formato del cálculo expedido por el laboratorio de mecánica de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil UNI-Lima.

3.1.5. Clasificación de Suelo según S.U.C.S.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos está reglamentado por la Norma ASTM D421.

Los elementos esenciales de este sistema de clasificación fue propuesto inicialmente por A. Casagrande en el año 1942

Analizando la granulometría y los coeficientes de uniformidad C_u y de concavidad C_c , así como la ausencia en la muestra de los límites de consistencia de las ocho muestras obtenidas de las calicatas correspondiente,

resulta que se trata de una arena pobremente graduada de símbolo “SP” no plástica.

3.2. Densidad Relativa.

Llamada también compacidad relativa es la propiedad más importante de los suelos arenosos cuanto menor es la gama de tamaños de las partículas presentes, es decir cuanto más uniforme es el suelo y cuanto más pequeños y angulosas son las partículas; menor es la compacidad mínima, es decir mayor es la oportunidad de formar una agrupación floja de partículas y cuanto mayor es la gama de tamaños presente mayor es la gama de partículas gruesas mayor serán los huecos entre las partículas y que pueden rellenarse con la más pequeñas.¹⁸ La magnitud más empleada para caracterizar la compacidad de un suelo granular natural es la densidad relativa dada por la fórmula:

$$Dr = \frac{\gamma d_{\max}}{\gamma d} \times \frac{\gamma d_{\max} - \gamma d_{\min}}{\gamma d_{\max} - \gamma d_{\min}} \times 100 \dots\dots\dots 3.7$$

Dónde:

γd_{\max} =Peso específico del suelo en su estado más compacto

γd_{\min} = Peso específico en su estado más suelto

γd =Peso específico en su estado natural.

Sus valores obtenidos de los ensayos de campo y de laboratorio son:

$$\gamma d_{\max} = 1,78 \text{ grs/cm}^3$$

$$\gamma d_{\min} = 1.47 \text{ grs/cm}^3$$

$$\gamma d = 1.60 \text{ grs/cm}^3$$

- **Calculo de la densidad relativa**

$$Dr = (1.78/1.60) * (1.60 - 1.47) / (1.78 - 1.47) * 100$$

$$Dr = (1.78) / 1.60 * (0.13 / 0.3) * 100 = 46.54\%$$

¹⁸ Mecánica de suelos. T. William Lambre – Robert V Whitman, Sexta Reimpresión 1989)

Dr=46.54%

- **Cálculo del ángulo de fricción interna ϕ**

De acuerdo a los resultados estipulados en los formatos respectivos de los ensayos de corte directo expedidos por el laboratorio de mecánica de suelos de la UNI-Lima. Y que son los siguientes:

- **Calicatas C-6**

Angulo de fricción interna 27.7°

Cohesion(kg/cm²) 0.01

- **Calicatas C-7**

Angulo de fricción interna 27.7°

Cohesion(kg/cm²) 0.01

- **Calicatas C-8**

Angulo de fricción interna 28.1°

Cohesion (kg/cm²) 0.00

En el presente proyecto se ha considerado los valores de la calicata C-8.

$\phi=28.1^\circ$

C=0

- **Cálculo de la capacidad portante del suelo para $\phi=28.1^\circ$**

En este caso se considera la formula general dado que la densidad relativa igual a 46.54% es mayor que 30%.

Luego:

$$q_d = CNc + \gamma Df Nq + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma \cdot 0.9 \dots\dots\dots 3.8$$

En este caso en que la cohesión c = 0

$$q_d = \gamma Df Nq + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma \cdot 0.9 \dots\dots\dots 3.9$$

γ =Peso específico suelo natural

Df = Profundidad de cimentación

B = Ancho del cimiento

0.9. = factor de reducción de N_γ

N_q = Son factores de carga por sobre carga.

N_γ =Factor de carga por peso específico.

Estos valores dependen de ϕ . Y que se obtienen de la tabla 3.1

Luego para $\phi = 28.1^\circ$

$N_q = 14.72$

$N_\gamma = 16.72$

Los otros valores :

Df=1.80 m

B=2.50 m

$\gamma = 1.60 \text{ grs/cm}^3$

Remplazando estos valores en la fórmula 3.9 tenemos que :

$Q_d = 1.60 * 1.80 * 14.72 + (1/2) * 1.60 * 2.50 * 16.72 * 0.9$

$Q_d = 42.39 + 30.096 = 72.486$

Considerando un factor de seguridad de 3.00 tenemos que la capacidad admisible del suelo para este tipo de cimentación será :

$$q_a = q_d / 3 = \frac{72.486}{3} = 24.16 \text{ Tn/m}^2$$

$q_a = 2.41 \text{ kgs/cm}^2$

3.3. Interpretación de los Resultados

En cuanto a la granulometría la misma que se representa a través de una gráfica semi logarítmica en donde las abscisas representan el logaritmo de los diámetros de los tamices y las ordenadas el porcentaje en peso del suelo que pasan por los diferentes tamices.

Al analizar la forma de la gráfica resulta que cuando es más inclinada, el tamaño de los granos del suelo es más uniforme.

La interpretación de la granulometría se relaciona con su representación abreviada, ya que cuando se tiene que proporcionar los resultados esenciales de los análisis granulométricos de un gran número de muestras de suelos, resulta conveniente expresar las características mecánicas de cada muestra por medio de valores numéricos indicativos de algún tamaño de grano característico y del grado de uniformidad o bien por medio de nombres o símbolos que puntualicen la fracción del suelo predominante, en consecuencia resulta que el proceso de granulometría en la medida del suelo.

En lo que respecta al tipo de suelo es una arena pobremente graduada SP. Tiene un contenido de humedad natural de 8.09% bastante baja.

El suelo encontrado no tiene límites de consistencia son suelos granulares finos. No se encontró el nivel freático en las ocho excavaciones consideradas en el estudio.

El peso específico de los sólidos es de 2.716gs/cc.

TABLA N° 3.1: FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA

ϕ	N_c	N_q	N_γ	$N_q N_c$	$\text{Tan } \phi$
0	5.14	1.00	0.00	0.20	0.00
1	5.35	1.09	0.07	0.20	0.02
2	5.63	1.20	0.15	0.21	0.03
3	5.90	1.31	0.24	0.22	0.05
4	5.19	1.43	0.34	0.23	0.07
5	6.49	1.57	0.45	0.24	0.09
6	6.81	1.72	0.57	0.25	0.11
7	7.16	1.88	0.71	0.26	0.12
8	7.53	2.06	0.86	0.27	0.14
9	7.92	2.25	1.03	0.28	0.16
10	8.35	2.47	1.22	0.30	0.18
11	8.80	2.71	1.44	0.31	0.19
12	9.28	2.97	1.69	0.32	0.21
13	9.81	3.26	1.97	0.33	0.23
14	10.37	3.59	2.29	0.35	0.25
15	10.98	3.94	2.65	0.36	0.27
16	11.63	4.34	3.06	0.37	0.29
17	12.34	4.77	3.53	0.39	0.31
18	13.10	5.26	4.07	0.40	0.32
19	13.93	5.80	4.68	0.42	0.34
20	14.83	6.40	5.39	0.43	0.36
21	15.82	7.07	6.20	0.45	0.38
22	16.88	7.82	7.13	0.46	0.40
23	18.05	8.66	8.20	0.48	0.42
24	19.32	9.60	9.44	0.50	0.45
25	20.72	10.66	10.88	0.51	0.47
26	22.25	11.85	12.54	0.53	0.49
27	23.94	13.20	14.47	0.55	0.51
28	25.80	14.72	16.72	0.57	0.53
29	27.86	16.44	19.34	0.59	0.55
30	30.14	18.40	22.40	0.61	0.58
31	32.67	20.63	25.9	0.63	0.60
32	35.49	23.18	30.22	0.65	0.62
33	38.64	26.09	35.19	0.68	0.65
34	42.16	29.44	41.06	0.70	0.67
35	46.12	33.30	48.03	0.72	0.70
36	50.59	37.75	55.31	0.75	0.73
37	55.63	42.92	66.19	0.77	0.75
38	61.35	48.83	78.03	0.80	0.78
39	67.87	55.93	92.25	0.82	0.81
40	75.31	64.20	109.41	0.85	0.84
41	83.86	73.90	130.22	0.88	0.87
42	93.71	85.38	155.55	0.91	0.901
43	105.11	9.02	186.54	0.94	0.93
44	118.37	115.31	224.64	0.97	0.97
45	133.88	134.88	271.76	1.01	1.00
46	152.10	158.51	330.35	1.04	1.04
47	173.64	187.21	403.67	1.08	1.07
48	19.26	222.31	496.01	1.12	1.11
49	229.93	265.61	613.16	1.15	1.15
50	266.89	319.07	762.89	1.20	1.19

ACI-PERU

VESIC (1973)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos y Pavimentos

Av. Tupac Amaru N° 210 - Lima 25 - Perú Telefax 381-3842 Central Telefónica 481-1070 Anexo 308

INFORME N° S11-658-1

SOLICITANTE : JOSE ELISEO FLORES GOMEZ
PROYECTO : TESIS DE MAESTRIA FIC-UNI "ANALISIS DINAMICO DE CIMENTACIONES
 PARQUE INDUSTRIAL - ICA"
UBICACION : URB. SAN JOAQUIN - PARQUE INDUSTRIAL
 DISTRITO, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE ICA
FECHA : 05 DE AGOSTO 2011

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-1
 Muestra : M-1
 Prof. (m.) : 4.80

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial Retenido	(%) Acumulado Retenido	Pasa
3"	76.200			
2"	50.300			
1 1/2"	38.100			
1"	25.400			
3/4"	19.050			
1/2"	12.700			
3/8"	9.525			
1/4"	6.350			
N°4	4.760			
N°10	2.000			100.0
N°20	0.840	0.2	0.2	99.8
N°30	0.590	1.4	1.6	98.4
N°40	0.426	9.2	10.9	89.1
N°60	0.250	28.8	39.7	60.3
N°100	0.149	31.7	71.4	28.6
N°200	0.074	14.6	86.0	14.0
- N°200		14.0		

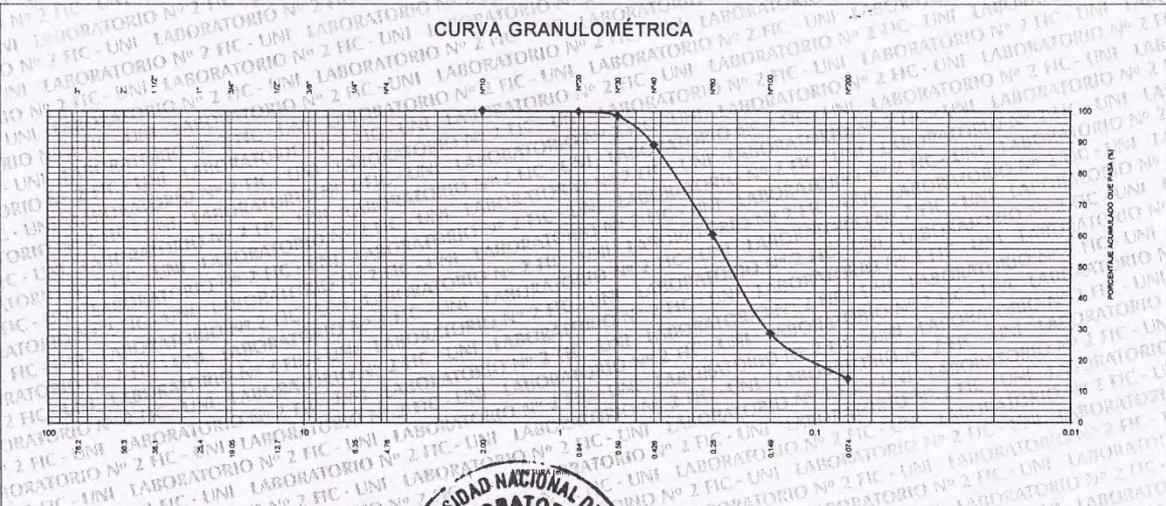
% grava : ----
 % arena : 86.0
 % finos : 14.0

LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318

Límite Líquido (%)	NP
Límite plástico (%)	NP
Índice Plástico (%)	NP

Clasificación SUCS ASTM D2487 : SM

CURVA GRANULOMÉTRICA



Nota: Muestra remitida e identificada por el Solicitante

Ejecución: Tec. Julio Chavez

ING. LUISA ESTHER SHUAN LUCAS
 JEFE DEL LABORATORIO N° 2 - UNI - FIC





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil

Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos y Pavimentos

Av. Tupac Amaru N° 210 - Lima 25 - Perú Teléfax 381-3842 Central Telefónica 481-1070 Anexo 308

INFORME N° S11-658-2

SOLICITANTE: JOSE ELISEO FLORES GOMEZ
 PROYECTO: TESIS DE MAESTRIA FIC-UNI "ANÁLISIS DINÁMICO DE CIMENTACIONES
 PARQUE INDUSTRIAL - ICA"
 UBICACIÓN: URB. SAN JOAQUÍN - PARQUE INDUSTRIAL
 DISTRITO: PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE ICA
 FECHA: 05 DE AGOSTO 2011

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata: C-2
 Muestra: M-2
 Prof (m.): 4.50

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial Retenido	(%) Acumulado Retenido	Pasa
3"	76.200	-	-	100.0
2"	50.300	-	-	100.0
1 1/2"	38.100	-	-	100.0
1"	25.400	-	-	100.0
3/4"	19.050	-	-	100.0
1/2"	12.700	-	-	100.0
3/8"	9.525	-	-	100.0
1/4"	6.350	-	-	100.0
N°4	4.760	-	-	100.0
N°10	2.000	0.1	0.1	99.9
N°20	0.840	0.3	0.4	99.6
N°30	0.590	1.7	2.1	97.9
N°40	0.426	10.8	12.9	87.1
N°60	0.250	29.6	42.5	57.5
N°100	0.149	36.2	78.7	21.3
N°200	0.074	13.1	91.8	8.2
- N°200		8.2		

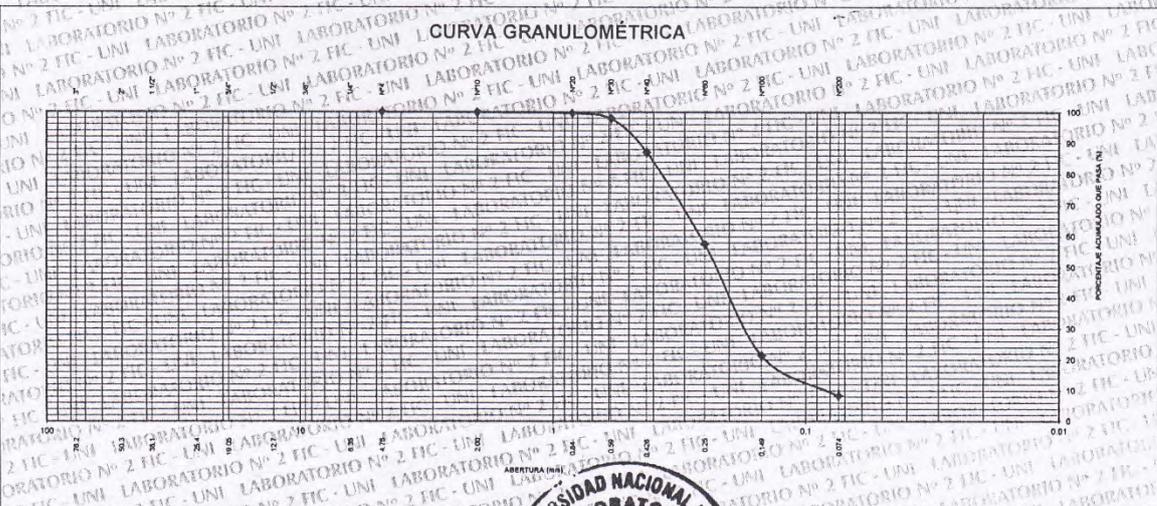
% grava	0.0
% arena	91.8
% finos	8.2

LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318

Límite Líquido (%)	NP
Límite plástico (%)	NP
Índice Plástico (%)	NP

Clasificación SUCS ASTM D2487 : SP-SM

CURVA GRANULOMÉTRICA



Nota. Muestra remitida e identificada por el Solicitante

Ejecución: Tec. Julio Chavez

ING. LUISA ESTHER SUAN LUCAS
 JEFE DEL LABORATORIO N° 2 - UNI





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil Laboratorio N° 2 Mecánica de Suelos y Pavimentos

Av. Túpac Amaru N° 210 - Lima 25 - Perú Telefax 381-3842 Central Telefónica 481-1070 Anexo 308

INFORME N° S11-658-3

SOLICITANTE : JOSE ELISEO FLORES GOMEZ
 PROYECTO : TESIS DE MAESTRIA FIC-UNI "ANALISIS DINAMICO DE CIMENTACIONES
 PARQUE INDUSTRIAL - ICA"
 UBICACIÓN : URB. SAN JOAQUIN -PARQUE INDUSTRIAL
 DISTRITO, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE ICA
 FECHA : 05 DE AGOSTO 2011

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-3
 Muestra : M-3
 Prof.(m.) : 4.50

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial Retenido	(%) Acumulado Retenido	Pasa
3"	76.200	-	-	100.0
2"	50.300	-	-	100.0
1 1/2"	38.100	-	-	100.0
1"	25.400	-	-	100.0
3/4"	19.050	-	-	100.0
1/2"	12.700	-	-	100.0
3/8"	9.525	-	-	100.0
1/4"	6.350	-	-	100.0
N°4	4.760	-	-	100.0
N°10	2.000	-	-	100.0
N°20	0.840	0.2	0.2	99.8
N°30	0.590	1.3	1.4	98.6
N°40	0.426	9.9	11.4	88.6
N°60	0.250	33.5	44.9	55.1
N°100	0.149	34.7	79.6	20.4
N°200	0.074	13.3	92.8	7.2
- N°200		7.2		

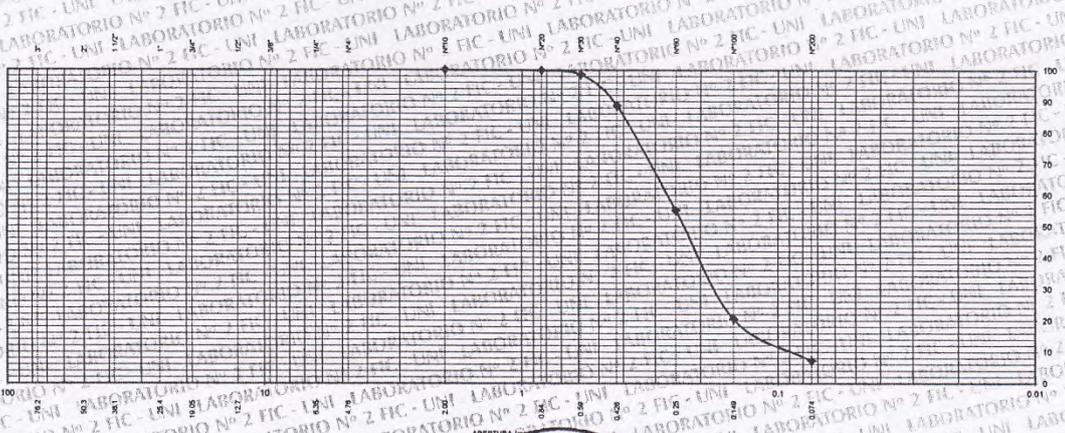
% grava	---
% arena	92.8
% finos	7.2

LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318

Límite Líquido (%)	NP
Límite plástico (%)	NP
Índice Plástico (%)	NP

Clasificación SUCS ASTM D2487 : SP-SM

CURVA GRANULOMÉTRICA



Nota: Muestra remitida e identificada por el Solicitante
 Ejecución : Tec. Julio Chavez

ING. LUISA ESTHER SHUAN LUCAS
 JEFE DEL LABORATORIO N° 2 - UNL - FIC





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Civil Laboratorio N° 2 - Mecánica de Suelos y Pavimentos

Av. Tupac Amaru N° 210 - Lima 25 - Perú Telefax 381-3842 Central Telefónica 481-1070 Anexo 308

INFORME N° S11-125-3

SOLICITANTE : ING. JOSE FLORES GOMEZ
PROYECTO : TESIS DE GRADO DE MAESTRO - ANALISIS DINAMICO DE CIMENTACIONES
UBICACIÓN : PARQUE INDUSTRIAL DEL DISTRITO, PROVINCIA Y DPTO. DE ICA
FECHA : 07 DE MARZO 2011

REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-5
Muestra : U-M-1
Prof.(m.) : 5.00

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial	(%) Acumulado Reteni	(%) Acumulado Pasa
3"	76.200	-	-	-
2"	50.300	-	-	-
1 1/2"	38.100	-	-	-
1"	25.400	-	-	-
3/4"	19.050	-	-	-
1/2"	12.700	-	-	-
3/8"	9.525	-	-	-
1/4"	6.350	-	-	-
N°4	4.760	-	-	-
N°10	2.000	-	-	100.0
N°20	0.840	0.2	0.2	99.8
N°30	0.590	0.7	0.9	99.1
N°40	0.426	3.0	3.9	96.1
N°60	0.250	33.6	37.5	62.5
N°100	0.149	32.3	69.9	30.1
N°200	0.074	22.5	92.4	7.6
< N°200		7.6		

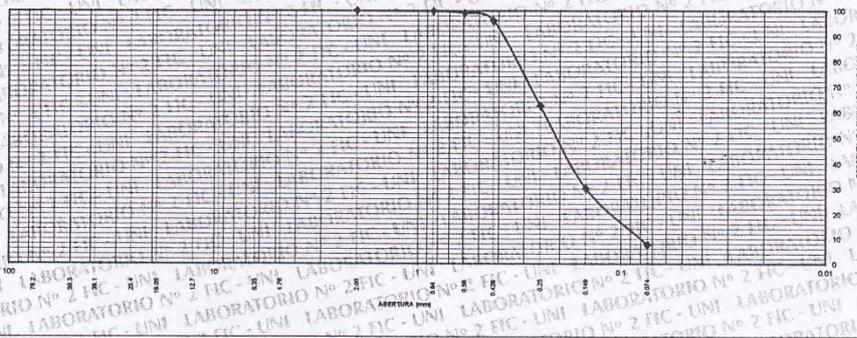
% grava	----
% arena	92.4
% finos	7.6

LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318

Límite Líquido (%)	NP
Límite plástico (%)	NP
Índice Plástico (%)	NP

Clasificación SUCS ASTM D2487 : SP-SM

CURVA GRANULOMÉTRICA



Nota. Muestra remitida e identificada por el Solicitante

ING. LUISA ESTHER SHUAN LLO
JEFE(e) DEL LABORATORIO N° 2 - ICA
Mecánica de Suelos y Pavimentos



CAPÍTULO IV

4.0. PARÁMETROS BÁSICOS DEL SUELO

En lo que respecta a los parámetros básicos de los estratos del suelo, éstos se refieren a los parámetros geotécnicos que poseen los suelos y a sus propiedades físicas y mecánicas de comportamiento para lo cual se llevó a cabo la exploración de campo para ubicar las ocho calicatas requeridas en los 80,000m² de superficie que tiene el Parque Industrial, luego se sacaron las muestras y se llevaron al laboratorio de mecánica de suelos de la UNI, obteniéndose los parámetros siguientes:

Las muestras de las 08 calicatas realizadas son similares y consisten en una arena fina pobremente graduada S.P. para los cálculos se ha considerado la muestra de la calicata N° 04, cuyos valores de sus propiedades son los siguientes:

Contenido de humedad: $\omega = 8.09\%$

Peso específico relativo de los granos del suelo $G_s = 2.716$

Densidad seca máxima = 1.78 gr/cm³

Densidad seca de campo = 1.60 gr/cm³

Densidad mínima = 1.47 gr/cm³

Angulo de fricción interna: $\phi = 27.7^\circ$ y 28.1°

Densidad Relativa $D_r = 46.54\%$

$e_{\max} = 0.893$

$e_{\min} = 0.753$

Módulo de elasticidad E: 150 kg/cm² (Promedio)

4.1. Parámetros Dinámicos

Para el análisis dinámicos de las cimentaciones vibratorias es necesario conocer los parámetros dinámicos del suelo donde se va ha cimentar totales como la densidad de masa (DM), el módulo de corte (G) el coeficiente de Poisson(μ) y el amortiguamiento, cuyos valores se determinan a continuación con el inicio del cálculo del coeficiente de esfuerzo lateral geostático.

- En este tipo de suelo se usará la relación propuesta por: Jaky (1948)¹¹

$$K_0 = \frac{1 - \text{sen } \phi}{1 + \text{sen } \phi} \left(1 + \frac{2}{3} \text{sen } \phi\right) \dots\dots\dots 4.1.$$

Si $\phi = 27.7^\circ$.

$$K_0 = \frac{1 - \text{sen } 27.7^\circ}{1 + \text{sen } 27.7^\circ} \left(1 + \frac{2}{3} \text{sen } 27.7^\circ\right)$$

$$K_0 = \frac{1 - 0.4648}{1 + 0.4648} \left(1 + \frac{2}{3} \times 0.4648\right) = \frac{0.5352}{1.4648} (1 + 0.3099)$$

$$K_0 = 0.425$$

- Cálculo del módulo de elasticidad

Calicata C-4 Muestra M-1

Del ensayo edométrico se ha considerado 2 puntos

Puntos	σ	ε %
1	2.5	6.022
2	4.00	7.123

Luego E = módulo de elasticidad será:

¹¹ JAKY J. (1948)
 “The Coefficient of Earth Pressure at Rest”

$$E_1 = \frac{4.00 - 2.5}{\frac{7.123 - 6.022}{100}} = \frac{1.5}{1.10} \times 100$$

$$E_1 = 136.36 \text{ kg/cm}^2$$

Del mismo modo de la calicata 5 – Muestra 1 se tomó dos puntos:

Puntos	σ	$\varepsilon\%$
1	2.5	4.218
2	4.00	5.136

Luego:

$$E_2 = \frac{4.00 - 2.5}{\frac{5.136 - 4.218}{100}} = \frac{1.50}{0.916} \times 100 = 163.75 \text{ kg/cm}^2$$

Para el valor del módulo de la elasticidad de este estudio se uso un $E = 150 \text{ kgs/cm}^2$ (Valor promedio)

4.1.1. Densidad de Masa

La densidad de masa es la relación del peso total del suelo en su estado natural entre la aceleración de la gravedad, es importante considerar el peso de la fase líquida y sólida del suelo. En este caso del proyecto la muestra de la calicata N° 4 su peso natural considerado en el ensayo de densidad de campo fue:

$$W = 1.723 \text{ kg}$$

$$DM = \frac{1.723 \text{ Kg}}{9.8 \frac{m}{s^2}} = 0.1758 \text{ kg} \frac{\text{seg.}}{m}$$

$$DM = 0.1758 \text{ kg} \frac{\text{seg}}{m}$$

4.1.2. Módulo de Corte

El mecanismo que gobierna el comportamiento esfuerzo de formación de los suelos para niveles de deformación bajos, está relacionada con las características de esfuerzo desplazamiento entre los contactos de las partículas constituyentes del suelo. No está controlado por el desplazamiento relativo entre las partículas que constituyen las deformaciones más grandes. Los factores más resaltantes que influyen en la magnitud del módulo de corte, según Hardin B.D. y Drnevich V.P. 1972 son⁹:

- La amplitud de la deformación dinámica
- La presión de confinamiento efectivo y tiempo de aplicación
- La relación de vacíos
- Características de las partículas y de la estructura del suelo
- La historia de esfuerzos
- La frecuencia de vibración
- La temperatura

⁹ Hardin B.D. y Drnevich V.P. (1972)
Shear modulus and Damping in Soils
Measurement and parameter

Por otro lado Seed e Idris (1970) han demostrado la variación decreciente del módulo de corte a medida que aumenta la deformación unitaria por corte en diferentes tipos de suelos.

El valor del módulo de corte en vibraciones de maquinarias debe ser consistente con las deformaciones pequeñas esperadas.¹⁶

Para la determinación del módulo de corte en el presente estudio se ha buscado el mejor método alternativo que nos proporcione el valor de este parámetro que esté acorde con el tipo de suelo existente en su estado natural de la zona en estudio.

a) Aplicando la relación de Hardin y Black.⁸

$$G = 6,900 \frac{(2.17 - e)^2}{1 + e} \sqrt{\sigma_0} \dots\dots\dots 4.2.$$

Dónde:

G = Módulo de corte

e = Relación de Vacíos

σ_0 = Esfuerzo Efectivo Normal

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \dots\dots\dots 4.3$$

Calicata C-4 ... Muestra M-1

Del ensayo edométrico se obtuvo que:

$$e = 0.893$$

$$\sigma_1 = \sigma_t = 1.60 \times 4.50 = 7.20 \text{ Tn/m}^2 \times 9.81 = 70.63 \text{ Kp}$$

$$\sigma_2 = \sigma_3 = K_o \sigma_1 = 0.425 \times 70.62 = 30.02 \text{ Kp}$$

Luego:

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} = \frac{70.63 + 30.02 + 30.02}{3} = 43.55 \text{kp}$$

¹⁶ Seed H.B.-e Idris I.M. (1970 b)
Soil Moduli and Damping factors for Dynamic. Response analyses

⁸ Hardin B.O. Black A.M. (1968). "Vibration Modulus of normally consolidate clay"

Reemplazando valores en 4.2.

$$G_1 = \frac{6,900 (2.17 - 0.893)^2}{1 + 0.893} \times \sqrt{43.55}$$

$$G_1 = \frac{6,900 (1.63)^2 \cdot 6.599}{1.893} = 39,207.05 \text{ Kp}$$

$$G_1 = 3996.64 \frac{\text{Tn}}{\text{m}^2} = 399.64 \text{ kg/cm}^2$$

$$G_1 = 399.64 \text{ kg/cm}^2$$

Calicata C-5 Muestra M-1

Del ensayo edométrico se obtuvo

$$e = 0.856$$

$$\sigma_1 = \sigma_t = 1.60 \times 4.50 = 7.20 \text{ Tn/m}^2 \times 9.81 = 70.63 \text{ Kp}$$

$$\sigma_2 = \sigma_3 = K_o \sigma_1 = \frac{70.63 + 30.02 + 30.02}{3} = 43.55 \text{ Kp}$$

Reemplazando valores en 4.2:

$$G_2 = \frac{6900 (2.17 - 0.856)^2}{1 + 0.856} \xi \sqrt{43.55}$$

$$G_2 = \frac{6900 (1.726)^2}{1.856} \times 6.599 = 42,343.82 \text{ Kp}$$

$$G_2 = 4316.39 \text{ Tn/m}^2 = 431.64 \text{ kg/cm}^2$$

- b)** El módulo de corte "G", también es definido por el módulo esfuerzo deformación ó módulo de elasticidad del suelo mediante la relación siguiente:

$$E = 2(1+\mu) G \rightarrow G = \frac{E}{2(1+\mu)}$$

Calicata C-4 Muestra M-1

$$G_3 = \frac{136.36}{2(1+0.25)} = 54.54 \text{ kg/cm}^2$$

$$G_3 = 54.54 \text{ kg/cm}^2$$

Calicata C-5 Muestra M-1

$$G_4 = \frac{163.75}{2(1+0.25)} = 65.50 \text{ kg/cm}^2$$

$$G_4 = 65.50 \text{ kg/cm}^2$$

- c) De la obra Fundamentos de la dinámica de suelos Braja M. DAS.

De la tabla para arenas finas densas y limpias el valor de “ G ” esta entre 12-20 M Pa (Mega pascal) esto equivale a que “ G ” esta entre un valor de 120 a 200 kg/cm². Considerando a $G_5=120$ kg/cm²

Resumiendo y analizando valores de “ G ” tenemos:

Cuadro N° 3.01

$G_1 = 399.64\text{kg} / \text{cm}^2$
$G_2 = 431.64\text{kg} / \text{cm}^2$
$G_3 = 54.54\text{kg} / \text{cm}^2$
$G_4 = 65.50\text{kg} / \text{cm}^2$
$G_5 = 120.00\text{kg} / \text{cm}^2$

De todos estos valores de G , se tomó un módulo de corte $G = 100\text{kg/cm}^2$; como el más conveniente, dada a la naturaleza en que se encuentra el suelo natural en la zona en estudio.

4.1.3. Coeficiente de Poisson

Todo material incluyendo al suelo, cuando es sometido a esfuerzos sufren deformaciones. Si se sigue aumentando los esfuerzos se llegará a alcanzar un punto en el cual el material falla al no poder resistir un nuevo incremento de esfuerzos.

En ese punto de falla todo material reacciona de diferentes maneras, unos se desintegran y otros sólo se deforman. En el caso específico de los suelos que de naturaleza granular y que están compuestos de tres fases, presentan una amplia variedad de deformaciones muy características y la falla que se produce es mucho más compleja que cualquier otro tipo de material

Los incrementos de esfuerzos a parte de la falla, también producen una deformación o combadura en las direcciones laterales en el sentido del eje X y el eje Y, siendo dichas deformaciones laterales correspondientes y la deformación vertical Z. a la relación entre las deformaciones laterales y la vertical directa ϵ_z es lo que se denomina módulo o coeficiente de Poisson.

El coeficiente de Poisson en el cálculo de las cimentaciones se obtendrá por la expresión.

$$E = 2 (1 + \mu) G \quad \dots\dots\dots 4.4$$

$$1 + \mu = \frac{E}{2G} \rightarrow \mu = \frac{E}{2G} - 1$$

$$E = 150 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

$$G = 100 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

$$\mu = \frac{150}{2 \times 100} - 1 = 0.75 - 1 = -0.25$$

$$\mu = 0.25$$

Además este coeficiente de Poisson se puede asumir mediante la Tabla N° 4.01¹⁹ planteada y que se pone a consideración, su valor depende del tipo de suelo.

¹⁹ GAZETAS (1991) Planteo Tabla 4.01

Tipo de Suelo	Coefficiente de Poisson
Arcillas y arenas sueltas debajo del N.F	0.50
Arcillas casi saturadas, encima del N.F	0.40
Arenas limosas húmedas (Dr = 50 a 90%)	0.35
Arenas secas, arcilla rígidas y rocas	0.25

Tabla N° 4.01

4.1.4. Amortiguamiento

En un sistema conformado por el suelo y la cimentación ante cargas dinámicas que inducen movimientos vibratorios, a dicho sistema, el efecto principal del amortiguamiento es ocasionar que las vibraciones se atenúen.

La energía concentrada es disipada en los suelos y las estructuras por varios mecanismos, que incluyan fricción, generación de calor y fluencia plástica. Sin embargo el mecanismo operativo no está entendido plenamente como para permitirnos modelarlos explícitamente, en consecuencia los efectos de varios mecanismos de pérdidas de energía son usualmente juntados y representados por algún mecanismo conveniente de amortiguamiento.

El amortiguamiento total del sistema se obtiene sumando las relaciones de los amortiguamientos geométrico e interno. Este amortiguamiento interno es significativo en el análisis de los modos rotacionales, en tanto que no suele serlo para los modos de vibración restantes, a menos que la frecuencia de las fuerzas desbalanceadas estén cercanas a la frecuencia de resonancia del sistema. El amortiguamiento geométrico es la radiación progresiva de la energía hacia las zonas alejadas de la cimentación. El amortiguamiento interno es la pérdida de la energía por efecto de histéresis.

El amortiguamiento interno depende primordialmente de la amplitud de la deformación unitaria cortante y el tipo de suelo (Seed(e Idris 1970), aunque en vibración inversa a la del módulo de corte¹⁶.

En la Tabla 4.02 se presentan algunos valores típicos de amortiguamiento de acuerdo al tipo de suelo planteado por (Whitman y Richart,1967

Tabla N° 4.02

Tipo de Suelo	Amortiguamiento Equivalente
Arena o grava seca	0.03 a 0.07
Arena seca o saturada	0.01 a 0.03
Arenas y gravas secas o saturadas	0.02 a 0.06
Arcilla	0.03 a 0.05
Arena limosa	0.03 a 0.10

¹⁶ Seed H.B.e Idris I.M. (1970)

“Soil Modulo Danping Factors For Dynamic Response Analyses

4.2. Efectos de la Superficie de Contacto

La presión de contacto es aquella que actúa entre la superficie inferior de la cimentación y el área de contacto del suelo que la soporta

Los análisis planteados por Terzaghi y Meyerhof respecto a la ecuación general para el cálculo de la capacidad de carga de un suelo, fue considerado a la cimentación de un largo infinito, en donde los factores de carga son funciones del ángulo de fricción interna ϕ , pero cuando la cimentación tiene una longitud limitada, es cuadrada, circular o rectangular, el comportamiento de la presión de contacto es diferente, se producen esfuerzos cortantes en superficies que forman ángulo recto con las previamente descritas y los factores de capacidad de carga N_c y N_γ cambian en la ecuación general. Se da a continuación la Tabla N° 4.03 que nos proporciona los factores de corrección por los que deben multiplicarse los factores de capacidad de carga; siendo L el largo y B el ancho de la cimentación.

Estos son los efectos debido a la forma de la superficie de contacto que es limitada ya no se trata de una cimentación de longitud infinita.

Factores de corrección para cimentaciones rectangulares y circulares.

Tabla N° 4.03.

Forma de la Cimentación	Corrección para N_c	Corrección para N_γ
Cuadrada	1.25	0.85
Rectangular $\frac{L}{B} = 2$	1.12	0.90
$\frac{L}{B} = 5$	1.05	0.95
Circular	1.20	0.70

Gorbunov, Possadov y Serebrajanyi (1961)

Un análisis práctico para formas diferentes tomaría en cuenta un radio equivalente, lo cual presentaría limitaciones, sobre todo al no considerar las relaciones entre las dimensiones de la cimentación. Los investigadores rusos Gorbunov, Possadov y Serebrajanyi en 1961 y Barkan en 1962³; propusieron relaciones para el cálculo de la rigidez en cimentaciones rectangulares, asumiendo la influencia de la forma de la cimentación mediante un factor variable con la relación de las dimensiones en planta. Para los modos vertical, traslacional y rotacional, las expresiones respectivamente son:

$$K_z = \frac{G}{(1-\mu)} \beta_z \sqrt{BL} \quad \dots\dots\dots 4.5.$$

$$K_x = 0.2(1+\mu) 6\beta_y \sqrt{BL} \quad \dots\dots\dots 4.6$$

$$K_y = \frac{G}{(1-\mu)} BL^2 \beta_y \quad \dots\dots\dots 4.7.$$

Los factores de forma β se presentan en la Figura N° 4.1 para cada uno de los modos de vibraciones. (Whitman y Richart)¹⁵

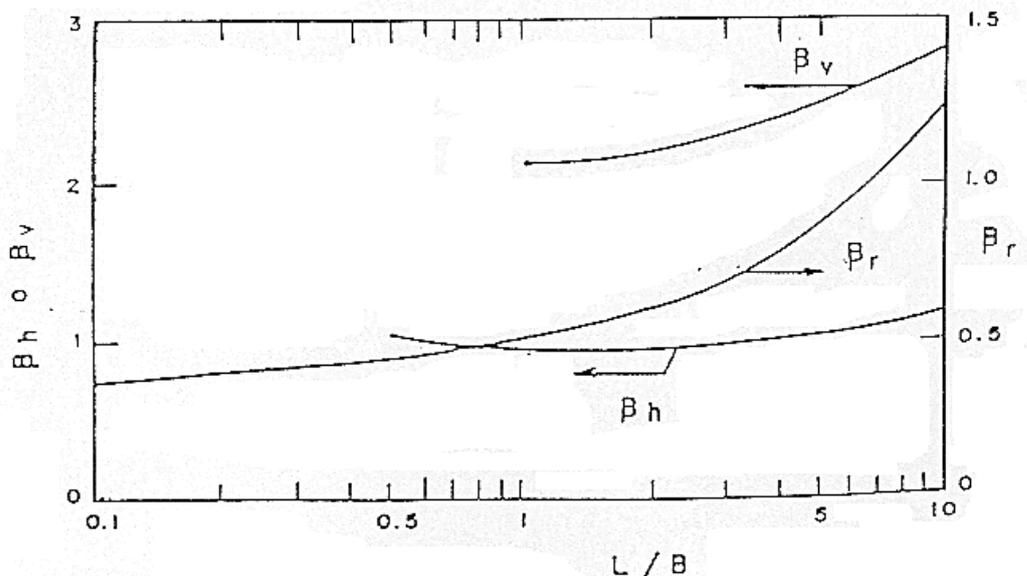


Fig. 4.1. Coeficiente de forma para cimentaciones rectangulares

³ Barkan D.D. (1962)
Dynamics of bases and foundations Mc. Graw Hill New York
⁸ Richart F.E. et al (1970)
"Vibration of Soil and Foundations"

4.3. Consecuencias del Empotramiento de la Cimentación

Las consecuencias del empotramiento de la cimentación se refiere a los efectos que ocasiona dicho empotramiento y según Gazetas-1983) se consideran de mayor importancia, entre otras a las siguientes⁶:

- a. La influencia de la variación de la rigidez del suelo con la profundidad, dado el caso que a mayor profundidad, el suelo es más denso es decir aumenta la rigidez del suelo con la profundidad; las cimentaciones empotradas transmiten esfuerzos al suelo más rígido en una forma más directa que a una cimentación más superficial, por lo que la rigidez estática resulta mayor. Pero si la rigidez del suelo decrece con la profundidad, la rigidez del sistema empotrado puede ser igual o menor al superficial,. Por esta razón es importante el conocimiento de la profundidad y la variación de las propiedades dinámicas de los depósitos de suelo.
- b. El efecto de foso, este se manifiesta por la restricción que sobre el movimiento ejerce el suelo que yace sobre el nivel del fondo de la cimentación, por consiguiente la rigidez a la vibración es mayor que en la superficie.
- c. El efecto del área de contacto lateral, se produce cuando una parte de la carga aplicada es transmitida al suelo a través de esfuerzos normales y de corte; aplicados sobre las caras laterales de la cimentación. El incremento de esfuerzos transmitidos conduce a una mayor rigidez en una cimentación empotrada.

En la Tabla N° 4.04, se presentan las constantes de rigidez y coeficientes de amortiguamiento para cimentaciones circulares con empotramiento considerando un material lateral de propiedades G_s y P_s distintos del semi espacio homogéneo para la vibración

⁶ Gazetas G. (1983)
“Analysis of Machine Foundation Vibrations”

vertical, los modos acoplados entre el horizontal y cabeceo, y el movimiento torsional. En estas relaciones la rigidez es directamente proporcional al producto de su módulo de corte; por la relación de empotramiento y se adiciona al aporte del estrato de fondo; sin embargo el aporte al amortiguamiento es dependiente de la frecuencia adimensional y por lo tanto existe cierta interrelación entre las propiedades dinámicas de ambos estratos. Los parámetros de proporcionalidad de estos aportes se presentan en la Tabla N° 4.04.

Por otra parte, Gazetas (1987-1991), teniendo en cuenta los efectos de foso y de contacto lateral ya descritos, han presentado expresiones para las rigideces estáticas y los coeficientes de amortiguamiento para cimentaciones de distintas formas, en diferentes condiciones de ubicación y sobre semi espacios homogéneos o con una base rígida.⁶

⁶ Gazetas G. (1983)
“Analysis of Machine Foundation Vibrations”

TABLA 4.04: PARÁMETROS DE RIGIDEZ Y AMORTIGUAMIENTO PARA CIMENTACIONES EMPOTRADAS¹⁹

Modo de Vibración	Relación de Poisson	Semiespacio elástico		Rango de Validez	
		Parámetro simplificado	Rango de Validez	Parámetro Simplificado	Rango de Validez
Vertical	0.0	C ₁ = 3.90 C ₂ = 3.50	A ₀ ≤ 1.5	S ₁ = 2.70 S ₂ = 2.70	A ₀ ≤ 1.5
	0.25	C ₁ = 5.20 C ₂ = 5.00	(Todos los valores de μ)	(Todos los valores de μ)	(Todos los valores de μ)
	0.50	C ₁ = 7.50 C ₂ = 6.80			
Horizontal	0.00	C _{u1} = 4.30 C _{u1} = 2.70	A ₀ ≤ 2.0	S _{μ1} = 3.60 S _{μ2} = 3.60	A ₀ ≤ 1.5
	0.25			S _{μ1} = 3.60 S _{μ2} = 3.60	A ₀ ≤ 2.0
	0.40			S _{μ1} = 3.60 S _{μ2} = 3.60	A ₀ ≤ 1.5
	0.50	C _{u1} = 5.10 C _{u2} = 3.15	A ₀ ≤ 2.0	S _{μ1} = 3.60 S _{μ2} = 3.60	A ₀ ≤ 2.0 A ₀ ≤ 1.5
Cabeceo		C _{r1} = 2.50 C _{r2} = 3.50	A ₀ ≤ 1.0 μ = 0	S _{r1} = 2.50 S _{r1} = 1.80	
Torsional	Todo valor de μ	C _{t1} = 34.30 C _{t2} = 4.30	A ₀ ≤ 2.0	S _{t1} = 12.4 S _{t1} = 10.2 S _{t2} = 2.0 S _{t2} = 5.4	

¹⁹ Novak y beredugo, 1972; Novak y Sanchs, 1973

CAPÍTULO V

5.0. ANÁLISIS DE LAS CIMENTACIONES

Algunos métodos de cálculo aproximado de las frecuencias propias y de las amplitudes de las vibraciones horizontales forzadas a las cimentaciones de máquinas debido a la aplicación de las cargas dinámicas tienen como objetivo fundamental:

- Transmitir las fuerzas dinámicas originadas por las máquinas al suelo de tal manera que todo efecto perjudicial sea eliminado o minimizado.
- Proveer a la cimentación la resistencia, masa y rigidez necesaria para soportar las cargas estáticas y dinámicas juntas impuestas por el funcionamiento de las máquinas industriales.

Para cumplir con estos objetivos se debe tener en cuenta medios racionales para el predimensionamiento de los cimientos macizos, tales como:

- Considerar una profundidad mínima de instalación, en general esta profundidad depende no sólo de las condiciones de ubicación y fijación de la máquina sino también de las características del terreno de fundación.
- Para la elección de las medidas mínimas de la cimentación, éstas deben satisfacer la condición de que las amplitudes de sus vibraciones forzadas no superen los valores admisibles.

5.1. Tipos de Cimentaciones de Máquinas.

Los tipos de cimentación de maquinarias de acuerdo a la forma estructural que tengan; se clasifican en los siguientes géneros:

a. Bloque Masivo Rígido

Este consiste en un pedestal de concreto masivo o en un conjunto de bloques que forman un todo rígido, sobre el cual está ubicada la maquinaria.

Las máquinas reciprocantes, y las rotatorias con frecuencia menores a 600 r.p.m. tienen como base o cimentación un bloque de concreto, macizo de sección rectangular y las de impacto también es un bloque de concreto macizo pero de sección cuadrada.

b. Cajón de Cimentación

Este es construido de concreto armado, pudiendo ser de gran utilidad, si el cajón de cimentación resulta ser de menor peso que el del bloque anterior, sin modificar la superficie o base de sustentación.

c. Muros de Cimentación

En este caso la cimentación está compuesta por dos muros que sostienen la maquinaria sobre sus caras superiores y que pueden ser de concreto simple o concreto armado.

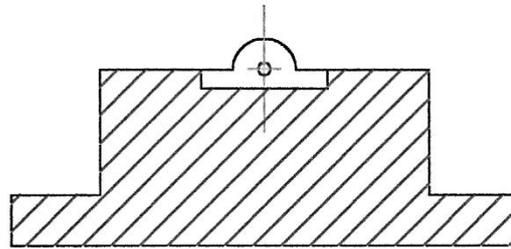
d. Pórtico de Cimentación

Este es de concreto armado; las vigas del pórtico son las que soportan los componentes vibratorios principales en tanto que el espacio entre las columnas resguarda el equipo auxiliar.

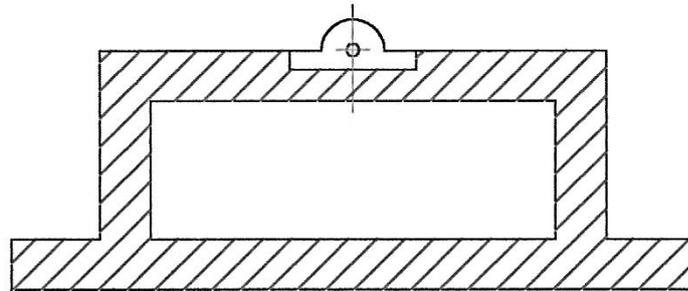
5.1.1. Máquinas de Impacto

Este tipo de máquinas se caracteriza por la producción de fuertes impactos sobre la cimentación durante su funcionamiento, por lo que en la evaluación de sus efectos se consideran algunas propiedades de disipación y absorción de energía. La carga dinámica es intermitente.

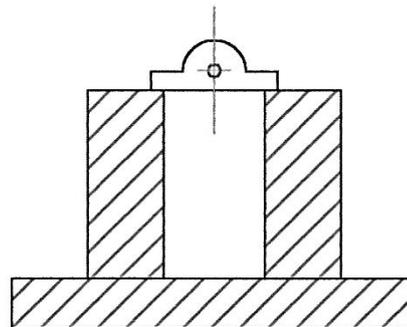
Tipos de cimentación de maquinas



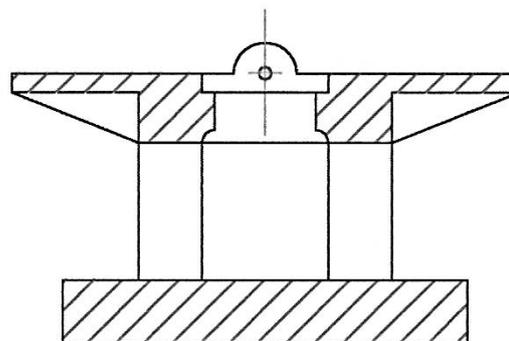
BLOQUE DE CIMENTACIÓN



CAJÓN DE CIMENTACIÓN



MUROS DE CIMENTACIÓN



PÓRTICO DE CIMENTACIÓN

Figura 5.1

Las maquinarias que actúan por impacto son las prensas, selladoras, los martillos de forja de metales, martillos neumáticos, y equipos automáticos para la hincada de pilote y algunas máquinas especiales.

Una máquina de impacto consta de un martillo de caída libre, un marco de sujeción del martillo y un bloque macizo de acero que sirve de yunque.

Por lo general entre la cimentación y el yunque que recibe el impacto se disipa una interfase de material elástico para reducir la energía originada por el golpe del martillo

5.1.2. Máquinas de Rotación

Estas máquinas están compuestas en su totalidad por elementos giratorios alrededor de sus propios ejes. Las vibraciones son producidas como consecuencia del deslizamiento natural existente entre el eje de giro del rotor de la máquina y sus ejes principales de inercia. Estas máquinas operan a frecuencias que estén por las 600 r.p.m. Corresponden a este tipo, las turbinas, los ventiladores, las compresoras centrífugas, las bombas y los motores eléctricos.

5.1.3. Máquinas Reciprocantes

Estas máquinas tienen un mecanismo Biela – Manivela y las cargas dinámicas que generan durante su funcionamiento y que son las que provocan las vibraciones de sus respectivas cimentaciones, se deben a las fuerzas de

inercia no equilibradas de los elementos que constituyen el mecanismo biela – manivela.

Estas máquinas tienen elementos que giran alrededor de su eje y además cuentan con partes que tienen un movimiento traslacional, (vertical).

Generalmente no superan las 600 r.p.m. dentro de este tipo de máquinas están los motores de combustión interna, motores diesel, compresoras y bombas reciprocantes, alimentadores de vaivén y zarandas vibratorias.

5.2. Limitación de los Niveles Vibracionales

En el diseño de cimentaciones para máquinas vibratorias uno de los criterios más importantes en el análisis es limitar las amplitudes de vibración ante dichas cargas vibratorias; para ello se debe conocer la relación entre la magnitud de las vibraciones y los efectos que éstas causan a las estructuras, a las maquinarias y a las personas que se encuentran cerca de la maquinaria.

De esta forma pueden definirse estados de vibración que consideran no afectar el rendimiento laboral de la gente que trabaja cerca de la maquinaria o en caso contrario asegurar la operatividad satisfactoria del equipo.

a) Efectos sobre las Estructuras.

El daño de las estructuras relacionado con las vibraciones está basado en los efectos causados por las vibraciones relativamente transitorias. En 1949 Crandell⁷ estudió estos efectos, en pequeñas estructuras y encontró que no

⁷ Grandell F.J. (1949)
“Ground Vibration due to blasting and its effect updm
structures”

presentaban daños a amplitudes de velocidad menores que 34 mm/seg, en tanto que podían presentarse si sobre pasaban los 119 mm/seg; el rango intermedio entre tales valores fue calificado como una zona de precaución.

En la tabla se presentan los límites de amplitud de desplazamiento.

Límites de amplitud de desplazamiento vibracional en Estructuras ante explosivos²⁰

Tabla N° 5.01.

Descripción	Amplitud permisible (mm)
Estructuras ingenieriles comunes	0.76
Propiedades aisladas	0.40
Propiedades cercanas entre sí	0.20
Estructuras de gran envergadura	0.10

b) Efectos sobre las Maquinarias

Rausch, en 1943²¹ fue quien evaluó diversos casos de daños en maquinarias por vibraciones, quien propuso los siguientes límites para las vibraciones en maquinarias y su cimentación

Velocidad máxima : 25 mm/seg, para $f < 33$ Hz

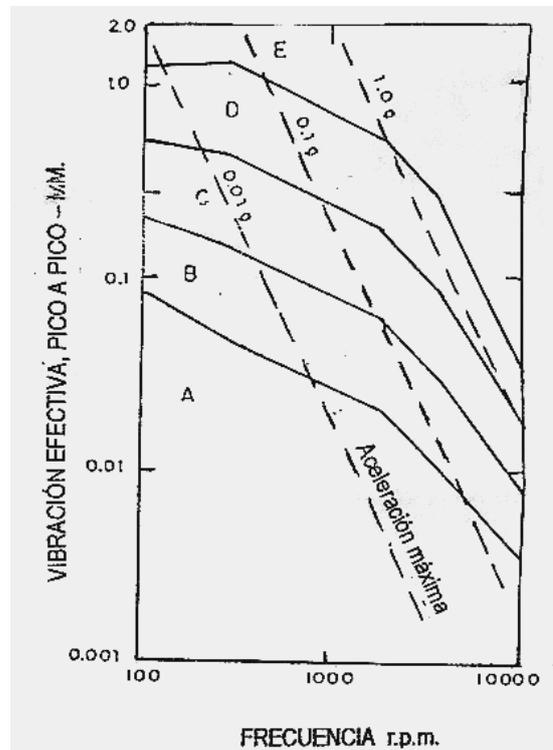
Aceleración Máxima = 0.5 g, para $f > 33$ Hz

Donde g representan la aceleración de la gravedad; sin embargo tales magnitudes deben ser interpretadas como límites máximos de seguridad, los cuales no aseguran la operatividad normal de la maquinaria rotatorias que están representados según como se muestra en la Figura N° 5.2.

²⁰ Teichmann y Wesrmater (1969)

²¹ Rausch (1943)

FIGURA 5.2: CARTA DE CLASIFICACIÓN DE ESTADO DE OPERACIÓN PARA MAQUINARIAS ROTATORIAS²²



ESTADOS DE OPERACIÓN

- A. Sin fallas. Equipos Nuevos
- B. Fallas menores
- C. Defectuoso, medidas de corrección en diez días para ahorrar gastos
- D. Colapso cercano, medidas de corrección en dos días para evitar daños mayores
- E. Peligroso. Cese inmediato de operaciones para evitar daños mayores

²² Blake (1964)

También consideró importante presentar una relación de amplitudes de velocidad que indican el grado de severidad de la operación de las máquinas rotatorias.

**Amplitudes de velocidad y estados de servicio en
maquinarias rotatorias²³**

Tabla Nº 5.02.

Velocidad Horizontal Máxima (mm/seg)	Operatividad
Menor que 0.12	Extremadamente tranquila
0.12-0.25	Muy tranquila
0.25-0.50	Tranquila
0.50-1.00	Muy buena
1.00-2.00	Buena
2.00-4.00	Regular
4.00-8.00	Ligeramente irregular
8.00-16.00	Irregular
Mayor que 16	Muy irregular

c) Efectos sobre las Personas

Los efectos que las vibraciones pueden originar en las personas que permanentemente trabajan cerca de la fuente vibracional, son de naturaleza muy compleja.

Es posible que sin ser de gran magnitud, produzca una sensación de incomodidad que perjudique el normal rendimiento laboral. De hecho las amplitudes consideradas como perceptibles al sentido humano son menores que

²³ Baxter y Bernhard 1967

aquellas asociadas a estados de precaución para una maquinaria o una estructura.

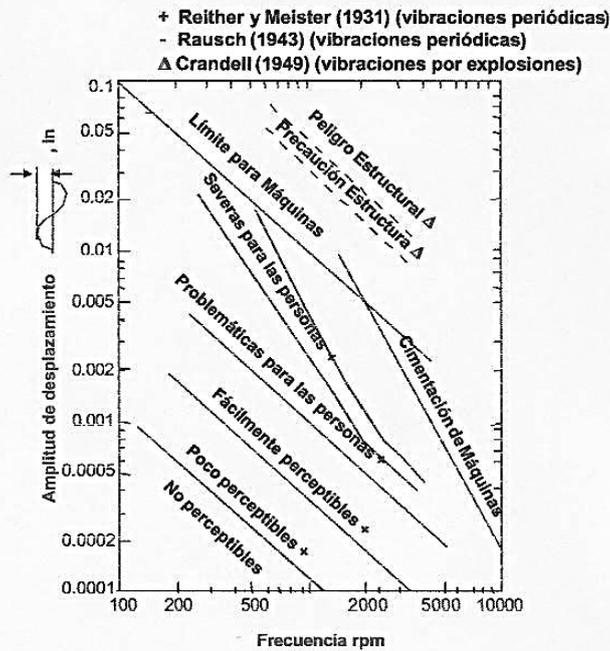
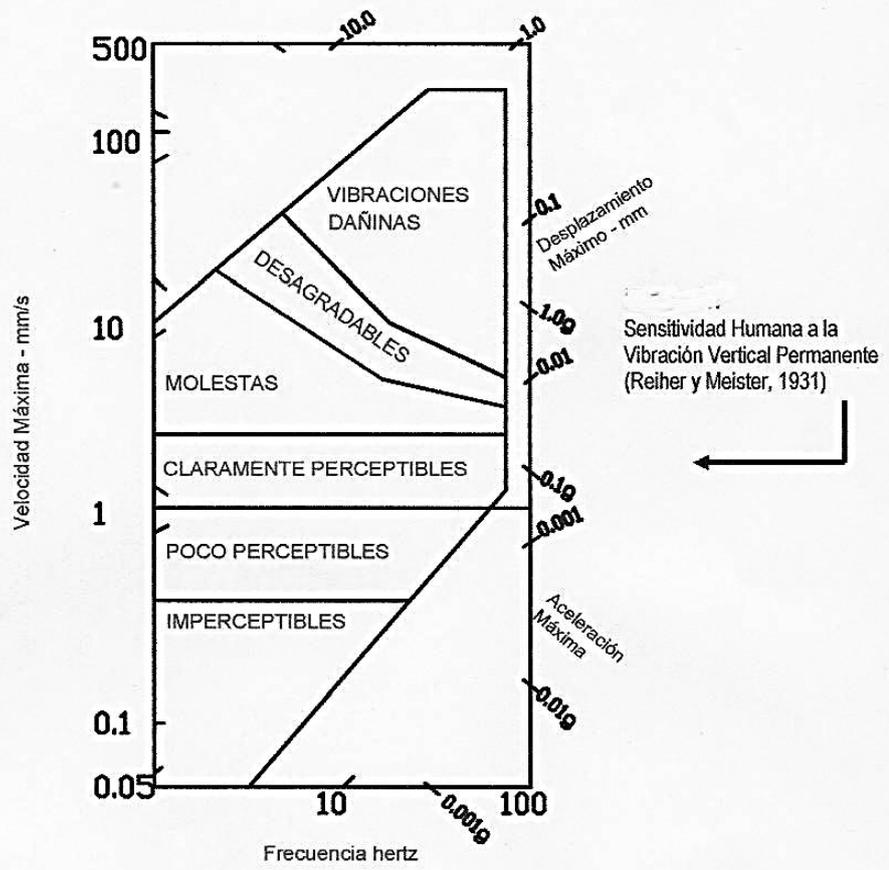
Para maquinarias con una frecuencia de operación entre 10 y 100 Hertz, el límite de vibración perceptible es del orden de 0.50 mm/seg. y la vibración empieza a causar molestias al ser humano a partir de los 6 mm/seg²⁴.

Los valores inferiores a estos límites hacen que sus efectos sean a menudo los más importantes a considerar en los criterios de diseño.

Los límites de amplitud de desplazamiento versus la frecuencia de operación, de acuerdo a las recomendaciones de Crandell, Rausch, Reiher y Meister, han sido reunidos por Richart²⁵ en los diagramas siguientes, los mismos que se adjuntan de este gráfico se deduce que en la comprobación del diseño de la cimentación de maquinarias, es usual tratar con magnitudes de desplazamiento dinámico del orden de 0.05 a 0.002 mm, para satisfacer las condiciones de seguridad.

²⁴ Soliman, 1968

²⁵ Richart 1962. Diagrama según Gráfico N° 1.8



Límites de amplitud de desplazamiento en función de la frecuencia de vibración (Richart, 1962).

Fig. N°5.3

5.3. El Sistema Vibratorio y sus Componentes.

En términos generales el análisis dinámico de una estructura vibratoria, puede realizarse por diversos métodos, desde los más simplificados, en los cuales las propiedades principales se cuantifican en parámetros generalizados, hasta los métodos más refinados como el que emplea los elementos finitos para modelar fundamentalmente al suelo como un medio de propagación de las vibraciones.

Los principales componentes del sistema vibratorio son:

- **La inercia al movimiento del sistema**

Constituido por la inercia traslacional (Masa) y las inercias rotacionales que constituyen los momentos de inercia de masas.

- La rigidez del medio que depende de la profundidad de la cimentación y de la capacidad portante del suelo para resistir las cargas que transmite la cimentación, se supone que un bloque masivo de cimentación tiene rigidez infinita.

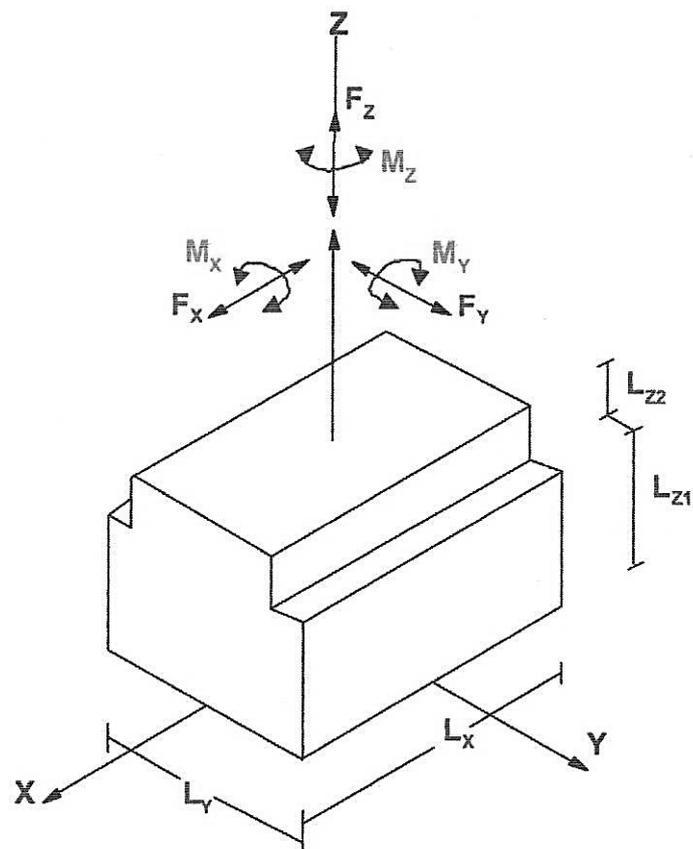
- **La capacidad de amortiguamiento.**

Cuando una masa rígida está conectada en paralelo a un resorte de rigidez y un amortiguamiento con coeficiente de amortiguamiento viscoso y está sujeto a alguna carga externa, se asume que el resorte y el amortiguador no tienen masa y el origen del desplazamiento coincide con la posición de equilibrio estático. El amortiguamiento se representa en la cimentación por la resistencia a la fricción en la interface de la superficie de contacto y produce la disipación de la energía de las vibraciones a través y en el interior del suelo de fundación.

- **La amplitud y frecuencia de la fuerza excitadora.**

La fuerza excitadora resulta de las vibraciones de los soportes de todo un sistema que constituye la maquinaria concentrada en el centroide de los componentes vibratorios, a la altura de sus ejes de oscilación, antes que de cargas dinámicas externas, distinguiéndose seis modos de vibración, tres de traslación y tres de rotación.

FIG: 5.4. COMPONENTES DEL SISTEMA VIBRATORIO



CAPÍTULO VI

6.0. DISEÑO DE CIMENTACIONES PARA MAQUINAS VIBRATORIAS

GENERALIDADES:

Estos tipos de cimentaciones se deben diseñar para distribuir la carga de la máquina instalada en el terreno a fin de que no ocurran asentamientos excesivos, o inclinaciones del bloque de cimentación, con respecto al piso ó de otras instalaciones fijas. Los cimientos deben tener suficiente rigidez para prevenir su fracturación o una deflexión excesiva como consecuencia del esfuerzo hecho por las cargas pesadas concentradas, o por la rotación no balanceada ó maquinaria alterna, también las cimentaciones deben absorber o disminuir, vibraciones con el objetivo de prevenir daños o deterioros a las propiedades adyacentes o a sus instalaciones vecinas .

Los problemas de diseño de cimentaciones para máquinas que tienen partes móviles no balanceadas son muchos más difíciles que las cimentaciones estáticas. (M.L. Tomlinson 2002)¹²

En el diseño de una cimentación para máquina, el principal objetivo es asegurarse que las frecuencias en que las máquinas estén alejadas de la frecuencia en que las máquinas van a funcionar, la razón de este objetivo es evitar las amplitudes magnificadas del movimiento que ocurrieran si la máquina y las frecuencias naturales coinciden, dando la condición de resonancia.

Los cálculos de las cimentaciones para las máquinas vibratorias se han hecho, con la aplicación del Programa de Cómputo CIMAQ (Tesis Ing. Rafael Salinas Vasualdo). Es preciso destacar que la eficiencia y rapidez de los cálculos se debe al uso de dicho programa CIMAQ, sobre todo para los efectos de procesamiento de datos, comparación y variación de parámetros de diseño, resulta ser una herramienta de cálculo muy práctica y eficaz.

¹² M.L. Tomlinson (2002)
Cimentaciones Diseño y Construcción
Editorial Trillas -Mexico

FORMATO DE ENTRADA AL PROGRAMA CIMAQ (Rafael Salinas Basualdo)

Línea 1: Título, con un máximo de 70 caracteres.

Línea 2: Subtítulo , con un máximo de 70 caracteres.

Línea 3: Indicadores (i1 ... i6) y número de puntos de interés)

Formato : 7i2

Si un indicador es igual a 1, se presentarán los resultados concernientes a su respectivo modo de vibración, en el orden siguiente:

i5: Movimiento longitudinal (dimensión mayor) – eje x

i2 : Movimiento transversal (dimensión mayor) – eje y

i3 : Movimiento vertical (dimensión mayor) – eje x

i4: Movimiento por cabeceo-eje longitudinal (rocking) – mto.x

i5 : Movimiento por cabeceo- eje transversal (pitching) – mot.y

i6. Movimiento por torsión (twisting) – mto.z

Máximo de puntos : 5

Línea 4: Código “kode” de datos de entrada (1 ó 0), Anotarlo dentro de las dos primeras columnas de la línea.

Línea 5: Datos del suelo.

Peso específico, Módulo de corte, Coeficiente de Poisson, presión admisible, profundidad del estrato.

Formato : 5f10.2

Línea 6:Amortiguamiento interno (Di) a considerar y valor de la Aceleración de la gravedad.

Di para movimientos traslacionales, Di para movimientos rotacionales, magnitud de g.

Formato. 2fs.2, fb.2

Línea 7:Número de frecuencias de cálculo

Formato i2.

Línea 8: Juego de frecuencia y fuerzas actuantes a dicha frecuencia y siguientes.

En el eje de la máquina (1 juego por línea)

Frecuencia en rpm, fza, en sentido y /Fy), fza, en sentido z (Fz) momento de cabeceo en el eje longitudinal (Mx), momento de cabeceo en el eje transversal (My) y momento de torsión (Mz).

Formato : f5, 0, 6f10.2

Línea siguiente: Datos del sistema según el valor de kode.

**** Si kode = 1 se registran “n”, por línea:

Peso de la máquina, altura de su centro de gravedad y radio de giro

(f12.2, 2f5.2)

Dimensiones del bloque inferior de cimientos: Longitud – eje, ancho – eje y- y altura –eje z – o sólo diámetro.

(3f10.2)

Dimensiones del bloque superior de cimentación, en igual orden

Profundidad de empotramiento, altura de empotramiento efectivo

Peso específico del material

(3f10.2)

*** Si kode = 0 se registran n, por línea

Masa total, momentos de inercia de masas: al cabeceo en el eje x, al cabeceo en el eje y, aa la torsión en el eje z.

(4f12.2)

Altura total de gravedad de la máquina, Altura del c.g. del sistema máquina-cimentación, Longitud de cimentación –eje x – o sólo diámetro, ancho de cimentación –eje y- Profundidad de empotramiento y altura de empotramiento efectivo.

(6f10.2)

Líneas Siguiente: Notación y coordenadas de los puntos de interés (una línea por cada unto) Notación, coordenada x, coordenada y, coordenada z.

Línea siguiente: Datos de la superficie de contacto (Base Irregular):

Área total, Área en acción de corte por traslación en eje x

Área en acción de compresión por traslación en eje x

Área en acción de corte por traslación en eje y

Área en acción de compresión por traslación en eje y

Factor de reducción de propiedades rotacionales respecto de una base rectangular – por defecto 0.90

(5f12.2, f5.2).

PROYECTO

PROYECTO : ANALISIS DINAMICO DE CIMENTACIONES
PARQUE INDUSTRIAL - ICA

CIMENTACION DE MAQUINA RECIPROCANTE - DISEÑO

Autor Jose Eliseo Flores Gomez

Metodo de solucion: Compilacion de whitman

DATOS DEL SUELO

Presión estática admisible = 24.10
Peso específico = 1.60
Módulo de Corte = 1000.00
Coeficiente de Poisson = .25

Aceleración de la gravedad = 9.80

DATOS DE LA MAQUINARIA

Peso de la maquinaria = 30.00
Altura del centro de gravedad a la base = 1.20

Frecuencia # 1 : 1200. r.p.m.
Fuerza longitudinal = .00
Fuerza transversal = .00
Fuerza vertical = .00
Momento-eje longitudinal = .00
Momento-eje transversal = 1.75
Momento torsional = .00

Frecuencia # 2 : 900. r.p.m.
Fuerza longitudinal = .00
Fuerza transversal = .00
Fuerza vertical = .00
Momento-eje longitudinal = .00
Momento-eje transversal = .50
Momento torsional = .00

Dimensiones de la cimentación

Bloque inferior : 5.00 x 2.50 x 2.00
Bloque superior : .00 x .00 x .00

Profundidad de empotramiento = .00
Empotramiento efectivo = .00
Peso específico del material = 2.40

Altura del c.g. del sistema = 1.73

Presión estática promedio = 7.20

< 0.5 Presión admisible = 12.05

CARACTERISTICAS DEL MOVIMIENTO POR CABECEO-EJE TRANSVERSAL

PROYECTO

Inercia total= 52.265

Radio equivalente= 2.400
 Relación de masas= 1.132
 Efectos de empotramiento
 -Sobre la rigidez : Nz= 1.000
 -Sobre el amortiguamiento: Az= 1.000

Amortiguamiento geométrico= .07
 Amortiguamiento interno = .05
 Amortiguamiento total = .12

Coefficiente beta= .60

Constante de rigidez= .5000E+05

Frecuencia circular natural= 30.93 rad/s
 Frecuencia natural = 295.36 r.p.m.
 Frecuencia de resonancia = 291.35 r.p.m.

Efecto de las acciones externas

Frecuencia 1 : 1200.00 r.p.m.
 Amplitud de la fuerza: 1.75

Factor de magnificación = .06437
 Amplitud de desplazamiento= .22529E-05
 Factor de transmisibilidad= .08851
 Fuerza transmitida = .15

Frecuencia 2 : 900.00 r.p.m.
 Amplitud de la fuerza: .50

Factor de magnificación = .12026
 Amplitud de desplazamiento= .12026E-05
 Factor de transmisibilidad= .14734
 Fuerza transmitida = .07

AMPLITUDES DE DESPLAZAMIENTO

A. SIN CONSIDERAR ACOPLAMIENTO

Punto # 1

Coordenada x: 2.50
 Coordenada y: 1.25
 Coordenada z: 2.10

Frecuencia # 1

	Comp.x	Comp.y	Comp.z
Componente traslacional	.000E+00	.000E+00	.000E+00

	PROYECTO		
Componente de rotación transversal	.473E-05	.000E+00	.563E-05
Desplazamiento total (conservador)	.473E-05	.000E+00	.563E-05

Frecuencia # 2

	Comp.x	Comp.y	Comp.z
Componente traslacional	.000E+00	.000E+00	.000E+00
Componente de rotación transversal	.253E-05	.000E+00	.301E-05
Desplazamiento total (conservador)	.253E-05	.000E+00	.301E-05
SUMATORIA DE DESPLAZAMIENTOS	.726E-05	.000E+00	.864E-05

Punto # 2

Coordenada x: 5.00
 Coordenada y: 2.50
 Coordenada z: 2.00

Frecuencia # 1

	Comp.x	Comp.y	Comp.z
Componente traslacional	.000E+00	.000E+00	.000E+00
Componente de rotación transversal	.451E-05	.000E+00	.113E-04
Desplazamiento total (conservador)	.451E-05	.000E+00	.113E-04

Frecuencia # 2

	Comp.x	Comp.y	Comp.z
Componente traslacional	.000E+00	.000E+00	.000E+00
Componente de rotación transversal	.241E-05	.000E+00	.601E-05
Desplazamiento total (conservador)	.241E-05	.000E+00	.601E-05
SUMATORIA DE DESPLAZAMIENTOS	.691E-05	.000E+00	.173E-04

AMPLITUDES MAXIMAS ESTIMADAS - CASO NO ACOPLADO

Amplitudes verticales en la frecuencia primaria = .1126E-04
 Amplitudes horizontales en la frecuencia primaria = .4731E-05
 Amplitudes totales verticales (conservador) = .1728E-04
 Amplitudes totales horizontales (conservador) = .7257E-05

PROYECTO

AMPLITUDES VIBRACIONALES PERMISIBLES

Poco notables para las personas	=	.7032E-05	mts
		.2306E-04	pie
Perceptibles para las personas	=	.1789E-04	mts
		.5867E-04	pie
Problem ticas para las personas	=	.4898E-04	mts
		.1607E-03	pie
Severas para las personas	=	.9874E-04	mts
		.3239E-03	pie
Ljmite para maquinarias	=	.2117E-03	mts
		.6943E-03	pie

PROYECTO

PROYECTO: ANALISIS DINAMICO DE CIMENTACIONES
PARQUE INDUSTRIAL - ICA

CIMENTACION DE MAQUINA ROTATORIA - DISEÑO

Autor Jose Eliseo Flores Gomez

Metodo de solucion: Compilacion de Whitman

DATOS DEL SUELO

Presión estática admisible = 24.10
Peso específico = 1.60
Módulo de Corte = 1000.00
Coeficiente de Poisson = .25

Aceleración de la gravedad = 9.80

DATOS DE LA MAQUINARIA

Peso de la maquinaria = 25.00
Altura del centro de gravedad a la base = 1.20

Frecuencia # 1 : 700. r.p.m.
Fuerza longitudinal = .00
Fuerza transversal = .00
Fuerza vertical = .00
Momento-eje longitudinal = .00
Momento-eje transversal = 1.50
Momento torsional = .00

Frecuencia # 2 : 1200. r.p.m.
Fuerza longitudinal = .00
Fuerza transversal = .00
Fuerza vertical = .00
Momento-eje longitudinal = .00
Momento-eje transversal = .15
Momento torsional = .00

Dimensiones de la cimentación

Bloque inferior : 6.00 x 3.00 x 2.00
Bloque superior : .00 x .00 x .00

Profundidad de empotramiento = .00
Empotramiento efectivo = .00
Peso específico del material = 2.40

Altura del c.g. del sistema = 1.49

Presión estática promedio = 6.19

< 0.5 Presión admisible = 12.05

CARACTERISTICAS DEL MOVIMIENTO POR CABECEO-EJE TRANSVERSAL

CÁLCULO DE LA ARMADURA DE HIERRO PARA LAS CIMENTACIONES.

Se ha procedido para este cálculo la aplicación de la norma T.U. 60-49 URSS para cimientos macizos de soporte de máquinas electro y turbomáquinas de forma de paralelepípedo en general estipula lo siguiente:

1) Cuando la relación:

$$\frac{a}{h_f} \leq 5$$

Dónde :

a = Longitud del apoyo del cimiento

h_f = Altura del cimiento

En este caso el cimiento debe tener dos mallas de fierro, una superior y otra inferior compuesta por fierros de diámetros 12 a 20 mm y con una separación de 0.20 a 0.30 m. Entre fierros.

2) Si la relación:

$$\frac{a}{h_f} > 5$$

El número de fierros necesarios en la sección a, se determina:

$$f_a = (cm^2) = \frac{Q}{20} \times \frac{a}{H_s}$$

Q = Peso de toda la instalación (cimiento más máquina)

H_f = Altura de cimiento

La sección de fierros e la malla superior debe ser por lo menos igual a la mitad de la f_a calculada.

3) Cuando los cimientos tengan un volumen mayor de 40.00 m³ de concreto se deben colocar mallas laterales de fierro con diámetros 12 a 16 mm y una separación de entre fierros de .30 y 0.40 m.

CÁLCULO DE ACERO MÁQUINA RECIPROCANTE

Condición 1:

$$\frac{a}{H_j} = \frac{5.00}{1.90} = 2.63 < 5$$

Considerar dos mallas una superior y otra inferior con fierros de 15.87 mm que viene hacer en nuestro medio un ϕ 5/8" separados a 0.33 mts.

Condición 2: No Corresponde.

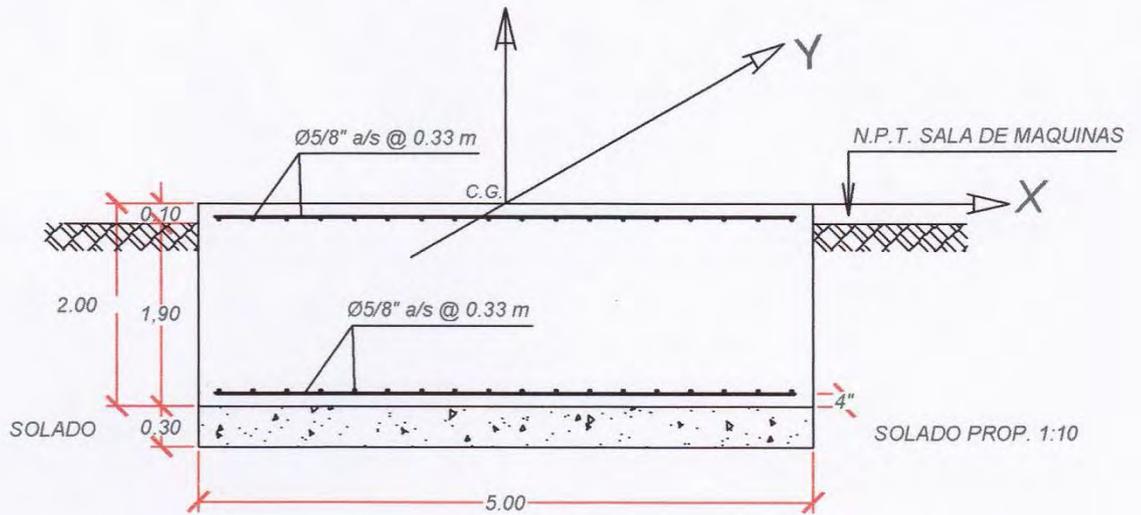
Condición 3:

Cálculo del volumen de concreto

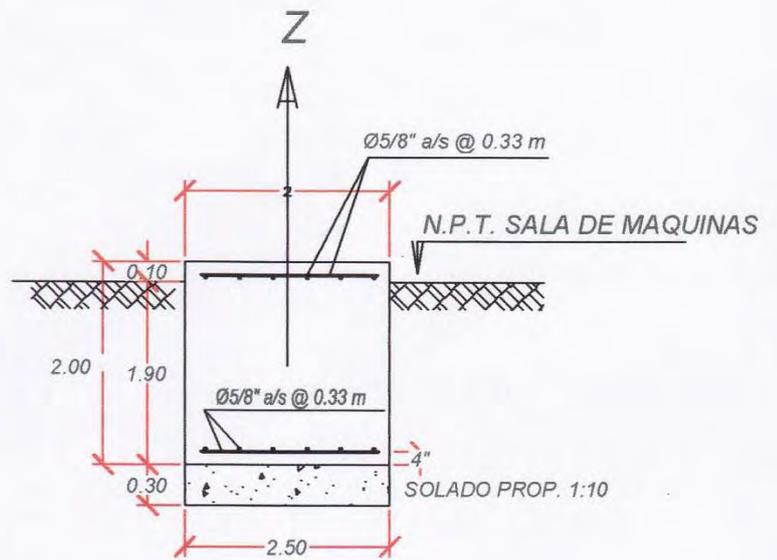
$$5.00 \times 2.50 \times 2.00 = 25.00 \text{ m}^3 < 40.00 \text{ m}^3$$

Por lo tanto no requiere armadura lateral

CIMENTACION PARA MAQUINA RECIPROCANTE



CORTE LONGITUDINAL



CORTE TRANSVERSAL

ARMADURA DEL CIMIENTO PARA MÁQUINAS ROTATORIA

CONDICIÓN 1:

$$\frac{a}{H_j} = \frac{6.00}{1.90} = 3.157 < 5$$

Consideran dos mallas, una superior y otra inferior con fierro de 15.87 mm y que en nuestro medio viene a hacer un ϕ de 5/8" separados a 0.33 mts.

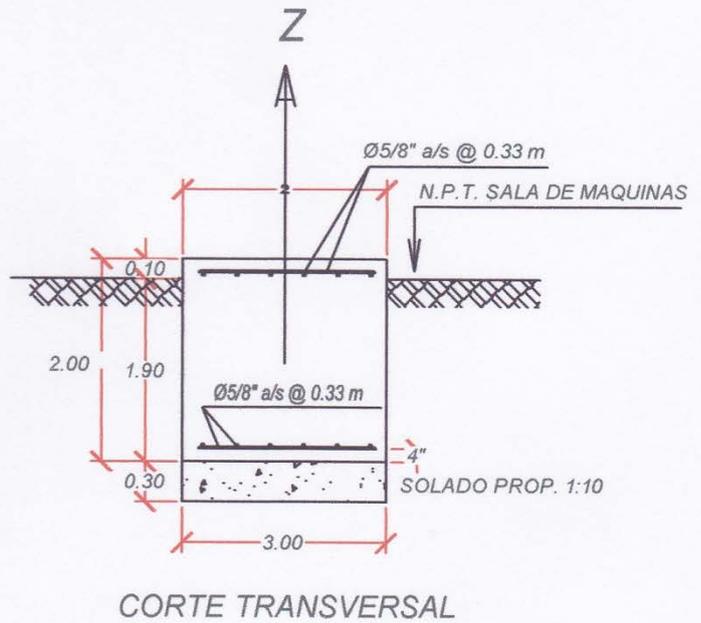
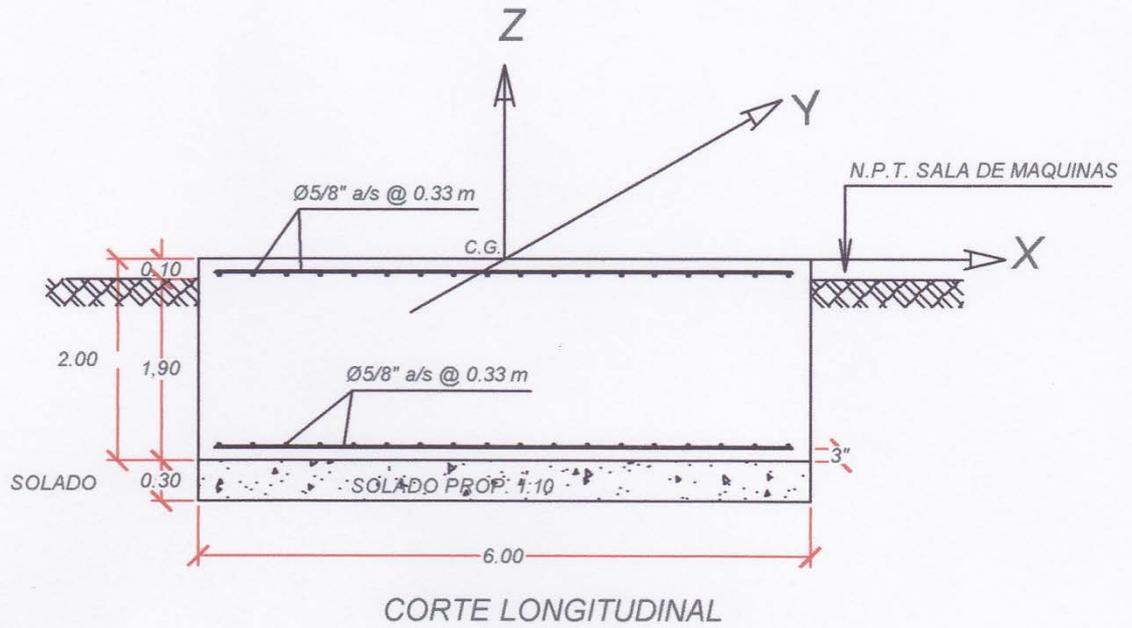
CONDICIÓN 2: NO CORRESPONDE

CONDICIÓN 3: Cálculo del volumen de concreto.

$$6.00 \times 3.00 \times 2.00 = 36.00 \text{ m}^3 < 40$$

Por lo tanto no requiere armadura lateral.

CIMENTACION PARA MAQUINA ROTATIVA



CAPITULO VII

7.0.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1.- Conclusiones

7.1.1. Para la obtención de los parámetros dinámicos de los estratos de suelos requeridos en la presente investigación, lo más apropiado es que éstos sean determinados mediante los ensayos de campo y de laboratorio, tales como el de refracción sísmica, o el ensayo de placa cíclica no pudiéndose hacer éstos, por falta de equipos, no existen en toda la Región Ica. En tal sentido en este proyecto se optó hacer en los laboratorios de la UNI – Lima, un ensayo de laboratorio de compresión **edométrica** a las muestras de las calicatas C-4 y C5 con carga normal de 0.5, 1.00, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5 y 4.0 kg/cm². Para la obtención del valor de G por otro método se aplicó el módulo de esfuerzo – deformación ó módulo de elasticidad del suelo mediante la expresión.

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}$$
 de la mismas muestras. De todos estos valores obtenidos se tomó un valor de corte G=100 kg/cm².

Se llega a la conclusión que, si es posible hallar los valores de estos parámetros geotécnicos con los ensayos de laboratorio, depende sólo del buen criterio técnico del diseñador.

7.1.2. En el análisis dinámico de las cimentaciones para maquinarias vibratorias destinadas a la industria se ha aplicado el programa de computo Cimaq que sintetiza los cálculos dinámicos en los tipos de cimentaciones consideradas en la presente investigación. Los análisis se

han realizado con modificaciones en la magnitud del módulo de corte del suelo, dentro de los límites definidos por los ensayos de laboratorio y el ensayo de densidad de campo (cono de arena) considerados en el estudio. Se concluye que la rapidez para ejecutar los análisis comparativos y paramétricos es la principal ventaja obtenida con la aplicación de este programa de cómputo, permitiendo la consideración de métodos más actualizados de poca o nula aplicación de operaciones matemáticas manuales.

7.1.3. El conocimiento y evaluación de las condiciones dinámicas de los estratos del suelo donde se construirá la cimentación para las máquinas, es de vital importancia que la investigación se haga hasta una profundidad que llegue al basamento rocoso, es lo ideal y de no ser así por lo menos se debe investigar a una profundidad de cuatro veces el radio de la cimentación si ésta es circular y un medio del lado menor si es cuadrada o rectangular, ésta investigación se puede hacer mediante una excavación a tajo abierto para estar seguros que la altura del cimiento determinada en el diseño estará apoyado en un terreno compatible con el bloque de cimentación diseñado.

7.1.4. En el caso que se presente capas de suelos poco consistentes a la profundidad de cimentación, o su homogeneidad no fuera la necesaria, este suelo no podrá ser considerado como un suelo firme natural capaz de soportar a la cimentación. El cimiento podrá ser vaciado sobre un colchón o lecho formado con un material poco compresible tales como la arena, el canto rodado y hormigón. El que será bien compactado para mejorar las propiedades de densidad relativa y aumento de la capacidad portante del suelo.

7.2.- Recomendaciones

7.2.1 Es importante tener en cuenta que cuanto mayor es la superficie de apoyo del cimiento tanto menor es la presión específica transmitida al suelo y tanto más alta es la frecuencia propia del cimiento, en tal sentido se recomienda que los cimientos para máquinas de baja frecuencia deben ser proyectados de manera tal que sus frecuencias sean mucho más elevadas que las frecuencias del funcionamiento de las máquinas.

Sobre la magnitud de la frecuencia propia del cimiento influyen no solamente los valores absolutos de la masa del cimiento sino también su distribución en el espacio.

7.2.2 Se recomienda evitar las cimentaciones para máquinas vibratorias en superficies de suelos no compatibles con el diseño de la cimentación tales como arenas muy sueltas y suelos cohesivos de naturaleza compresiva toda vez que estos son susceptibles a grandes asentamientos ante las acciones vibratorias, de las maquinas industriales .en tales casos extremos se recomienda apoyar el bloque de cimentación sobre un sistema de pilotes que mejoren la densidad relativa del suelo de cimentación, es decir aumentar su capacidad portante del suelo por confinamiento.

7.2.3 Debido a las características litológicas de porosidad y de alta permeabilidad del suelo existente en la zona, siendo muy favorable para la filtración de cualquier líquido se recomienda que como medidas de protección para evitar la contaminación de la napa freática y en todo caso esto sea mínima, la construcción de pavimentos de concreto en todas las áreas destinadas al tránsito operacional de las fábricas,

así mismo la construcción de tanque de concreto armado revestido con cemento pulido para el almacenamiento de cualquier líquido a utilizarse en los procesos de producción de las fabricas agro industriales

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1.- Alva Hurtado J. (1985) "Ensayo de la Placa Cíclica y determinación de parámetros dinámicos" Cimentación para la compresora Milpo.
- 2.- Alva Hurtado Jorge, **Dinámica de Suelos** - Primera Edición - 2002 - Lima.
- 3.- Barkand D.D. (1962), *Dynamics Bases And Foundations*. Me. Graw - Hill, New York.
- 4.- Braja M. Dass (1999) "Fundamentos de la Ingeniería Geotecnia" California State University Sacramento.
- 5.- Pra Kash S. (1981) "Soil Dynamics" Me Graw Hill, New York.
- 6.- Gazetas G. (1983). *Analysis Of Machine Foundation Vibrations*.
- 7.- Grandell F.J. (1949). "Ground Vibration Due to Blasting and Its Effect Upon Structures"
- 8.- Hardin B.D. y Black A.M. (1968). "Vibration Modulus of Normally Consolidate Clay"
- 9.- Hardin B.O. y Drnevich V.P. (1972). *Shear Modulus and Damping in soils measurement and parameter*.
- 10.- Dass B; (1983) "Fundamentals Of Soil Dynamics". El Sevier, New York
- 11.- Jaky J. (1948). "The Coefficient of Earth Pressure At Rest"
- 12.- M.L. Tomlinson (2002). *Cimentaciones Diseño y Construcción*. Editorial Trillas – Mexico.
- 13.- Víctor P. Ivanoff. *Cimentaciones para máquinas*. Editorial Librería Buenos Aires.
- 14.- Richard F.E. (1962) *Foundations Vibration. Transactions*", A.S.C.E, Vol 127. *Foundatios For Vibration Machines*" Gulf Publishing Company Houston.
- 15.- Richart F.E., Hall J y Woods R. (1970). *Vibrations of Soil and Foundations*. Prentice – Hall INC; New Jersey.
- 16.- Seed H.B. e Idriss I.M. (1970). "Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analyses".
- 17.- Seed H.B.e Idriss I.M. (1970 a). "Simplefied procedure for Evaluating soil liquefaccion potencial" – University of California.
- 18.- *Mecánica de Suelos*. T. William Lombe - Robert V. Whitman (Sexta Reimpresión - 1989)