



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**PRÁCTICAS DE CIMENTACIÓN DE MAQUINARIA PARA EL CURSO DE
MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE EQUIPO**

Lucía Gabriela Peralta Gómez

Asesorado por el Ing. Jorge Gilberto González Padilla

Guatemala, mayo de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PRÁCTICAS DE CIMENTACIÓN DE MAQUINARIA PARA EL CURSO DE
MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE EQUIPO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

LUCÍA GABRIELA PERALTA GÓMEZ

ASESORADO POR EL ING. JORGE GILBERTO GONZÁLEZ PADILLA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA MECÁNICO

GUATEMALA, MAYO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Victor Manuel Ruiz Hernández
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PRÁCTICAS DE CIMENTACIÓN DE MAQUINARIA PARA EL CURSO DE MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE EQUIPO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 20 de abril de 2017.


Lucia Gabriela Peralta Gómez

Guatemala, 09 de abril de 2018

Ingeniero
Carlos Pérez
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Pérez:

Me dirijo a usted deseándole éxitos en sus labores diarias. Por este medio hago constar que he tenido el agrado de asesorar el trabajo de graduación de la estudiante **LUCÍA GABRIELA PERALTA GÓMEZ**, con registro académico **200815625** y CUI **1645 68298 0101**, titulado: **“PRÁCTICAS DE CIMENTACIÓN DE MAQUINARIA PARA EL CURSO DE MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE EQUIPO”**. Habiendo supervisado su elaboración y realizado las correcciones correspondientes, doy aprobada la presente para que continúe con el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

Jorge Gilberto González Padilla
INGENIERO ELECTRICISTA
No. DE COLEGIADO 9055
Jorge
Jorge Gilberto González Padilla
Ingeniero Electricista
Colegiado 9055
ASESOR



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

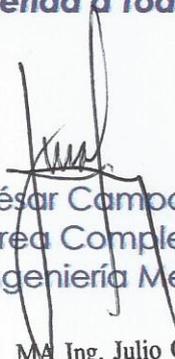
Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.123.2018

El Coordinador del Area Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **PRÁCTICAS DE CIMENTACIÓN DE MAQUINARIA PARA EL CURSO DE MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE EQUIPO** desarrollado por la estudiante **Lucía Gabriela Peralta Gómez**, CUI **1645682980101**, Registro Académico **200815625** recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Julio César Campos Paiz
Coordinador Área Complementaria
Escuela de Ingeniería Mecánica



MA Ing. Julio César Campos Paiz
Ingeniero Mecánico
Colegiado No. 2701

Guatemala, abril 2018



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.151.2018

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria del trabajo de graduación titulado: **PRÁCTICAS DE CIMENTACIÓN DE MAQUINARIA PARA EL CURSO DE MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE EQUIPO** desarrollado por la estudiante **Lucía Gabriela Peralta Gómez**, CUI **1645682980101**, Registro Académico **200815625** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, mayo de 2018

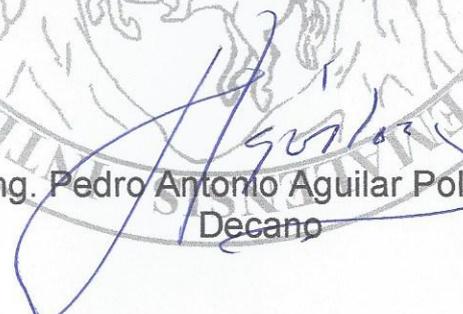
/aej





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **PRÁCTICAS DE CIMENTACIÓN DE MAQUINARIA PARA EL CURSO DE MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE EQUIPO**, presentado por la estudiante universitaria: **Lucía Gabriela Peralta Gómez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, mayo de 2018

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por derramar cada día bendiciones en mi vida.
Mi madre	Rosaura Gómez Morales (q. e. p. d.), su amor será siempre mi inspiración.
Mi abuela	María Morales (q. e. p. d.), por ser una segunda madre.
Mis tías	Luz Marina y Odilia Gómez Morales.
Mi novio	Alvaro Coronado, por estar ahí.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme una formación profesional.
Facultad de Ingeniería	Por brindar conocimientos técnicos y teóricos.
Mis primas	Dulia y Lisbeth Alfaro Gómez.
Mi sobrino y sobrinas	Diego, Karla, Fernanda Suriano Alfaro y Ximena Alfaro.
Mis amigos	Alejandra Luna, Paulo Vargas, Gabriela López, Helen López, Vivian Reynoso, con quienes viví una gran experiencia, llena de horas de estudio, pero también en donde pudimos compartir muchas aventuras y buenos momentos. Agradeceré siempre su apoyo y amistad.
Mi asesor	Gilberto González Padilla, por su valiosa colaboración en la asesoría, revisión y corrección del presente trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Descripción del curso Montaje y mantenimiento de equipo.....	1
1.2. Programa del curso	1
1.3. Cimentación de máquinas	3
1.3.1. Diseño de mezcla	4
1.3.2. Pernos de anclaje	4
2. CIMENTACIÓN PARA MAQUINARIA.....	7
2.1. Tipos de maquinaria	8
2.1.1. Máquinas reciprocantes.....	8
2.1.2. Máquinas rotatorias	10
2.1.3. Máquinas de impacto.....	11
2.1.4. Máquinas especiales	13
2.2. Tipos de cimentación.....	13
2.2.1. Cimentación tipo bloque	14
2.2.2. Cimentación tipo marco	14
2.2.3. Cimentación tipo muro.....	14
2.2.4. Cimentación tipo profundas	15

2.3.	Composición del concreto armado	15
2.3.1.	Agregado fino	16
2.3.2.	Agregado grueso	16
2.3.3.	Cemento	17
2.3.4.	Agua	17
2.3.5.	Acero	18
3.	PRÁCTICAS DE CIMENTACIÓN	19
3.1.	Ensayos de suelo	20
3.1.1.	Clasificación de suelo	21
3.1.1.1.	Sistema AASHTO	21
3.1.1.2.	Sistema unificado de clasificación de los suelos SUCS o USCS	22
3.1.2.	Plasticidad	23
3.1.2.1.	Ensayo límite líquido	25
3.1.2.2.	Ensayo límite plástico	28
3.1.2.3.	Índices de consistencia	30
3.1.3.	Ensayo de granulometría	32
3.1.4.	Ensayos dinámicos del suelo	36
3.1.4.1.	Ensayo triaxial cíclico	38
3.1.4.2.	Método de refracción sísmica	42
3.1.4.3.	Ensayo Cross-Hole	44
3.2.	Ensayos de calidad de agregados	46
3.2.1.	Ensayo de materia orgánica para agregado fino	47
3.2.2.	Ensayo de abrasión para agregado grueso	49
3.2.3.	Granulometría de agregados	52
3.3.	Ensayos de calidad del concreto fresco	54
3.3.1.	Ensayo de asentamiento	56
3.3.2.	Ensayo de temperatura	59

3.3.3.	Ensayo de masa volumétrica.....	60
3.4.	Ensayo de calidad del concreto endurecido	63
4.	VENTAJAS DE UNA CIMENTACIÓN	71
4.1.	Vida útil de la cimentación	72
4.2.	Reducción de vibración	73
4.3.	Costos de mantenimiento.....	76
	CONCLUSIONES	81
	RECOMENDACIONES.....	83
	BIBLIOGRAFÍA.....	85
	ANEXOS.....	87

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Pernos de anclaje	5
2.	Motor de combustión interna y representación gráfica del mecanismo biela-manivela.....	9
3.	Esquema del funcionamiento de un generador eléctrico primario.....	10
4.	Martinete de caída libre con pistón elevador.....	12
5.	Clasificación de suelos según el sistema unificado de clasificación de suelos.....	23
6.	Estados del suelo y límites de Atterberg	24
7.	Copa de Casagrande y diferentes ranuradores o acanaladores	26
8.	Gráfico para determinar el límite líquido.....	28
9.	Ensayo de límite plástico.....	30
10.	Curva granulométrica	36
11.	Distribución de presiones en suelo ejercidas por una cimentación	37
12.	Esquema de cámara típica triaxial cíclica	39
13.	Gráfica típica de curva de histéresis obtenida en ensayo triaxial cíclico	41
14.	Ensayo de refracción sísmica	44
15.	Ensayo Cross Hole.....	46
16.	Prueba de colorímetro.....	48
17.	Máquina de los Ángeles	50
18.	Curvas granulométricas, según parámetros norma ASTM C33.....	54
19.	Cono de Abrams y varilla apisonadora.....	56
20.	Llenado del cono de Abrams.....	57

21.	Medición de asentamiento	58
22.	Ensayo de temperatura del concreto	60
23.	Llenado y apisonado del concreto	62
24.	Gráfica de la resistencia obtenida del concreto en el transcurso del tiempo	63
25.	Moldeado de probetas de concreto.....	67
26.	Tipos de falla del concreto	69
27.	Formas de transmisión de onda.....	70

TABLAS

I.	Comparación entre ensayos de laboratorio y ensayos <i>in situ</i>	19
II.	Clasificación de los suelos según índice plástico.....	31
III.	Clasificación de los suelos según granulometría	33
IV.	Tamaño de tamices según norma ASTM E11	34
V.	Parámetros para ensayo de abrasión según norma ASTM C131	51
VI.	Ensayos de concreto fresco.....	55
VII.	Medidas de consistencia.....	58
VIII.	Tipos de ensayos en concreto endurecido	65
IX.	Efectos de las vibraciones en el organismo humano	72

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
CA	Corriente alterna
CC	Corriente continua
cm³	Centímetro cúbico
CR	Consistencia relativa
g	Gramos
Hz	Hertz
Wn	Humedad natural del suelo
IL	Índice de liquidez
It	Índice de tenacidad
IP	Índice plástico
KN	Kilonewton
LC	Límite de contracción
LL	Límite líquido
LP	Límite plástico
máx	Máximo
MPa	Megapascales
mm	Milímetro
D	Módulo de amortiguamiento
E	Módulo de elasticidad
núm	Número
in	Pulgada
in²	Pulgadas cuadrada
rpm	Revoluciones por minuto

GLOSARIO

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials.
ACI	American Concrete Institute.
AGIES	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.
Agregados	Son las arenas, gravas naturales y piedra triturada utilizadas para formar la mezcla que da origen al concreto, los agregados constituyen cerca del 75 % de esta mezcla.
Amortiguamiento	La amortiguación o amortiguamiento se define como la capacidad de un sistema o cuerpo para disipar energía cinética en otro tipo de energía. Es un parámetro fundamental en el campo de las vibraciones, también en el desarrollo de modelos matemáticos que permiten el estudio y análisis de sistemas vibratorios: estructuras metálicas, motores, maquinaria rotativa, turbinas, automóviles, etc.

Anisotrópico

Es la propiedad general de la materia según cualidades como: elasticidad, temperatura, conductividad, velocidad de propagación de la luz, etc, varían según la dirección en que son examinadas.

Arcilla

Tierra compuesta de silicatos de aluminio hidratados, usada para fabricar tejas y ladrillos. Se caracteriza por adquirir plasticidad al ser mezclada con agua, también, sonoridad y dureza al calentarla por encima de 800 °C.

ASTM

American Society for Testing and Materials.

AWS

American Welding Society.

COGUANOR

Comisión Guatemalteca de Normas.

DIN

Deutsches Institut für Normung.

Estratigrafía

Rama de la geología que trata del estudio e interpretación de las rocas sedimentarias, metamórficas y volcánicas estratificadas, y de la identificación, descripción, secuencia, tanto vertical como horizontal, cartografía y correlación de las unidades estratificadas de rocas.

Fraguado

Proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del hormigón, producido por la desecación y recristalización de los hidróxidos metálicos (procedentes de la reacción química del agua de amasado) con los óxidos metálicos presentes en el clínker que compone el cemento.

Geófonos

Son transductores de desplazamiento, velocidad o aceleración que convierten el movimiento del suelo en una señal eléctrica. Casi todos los geófonos empleados para la prospección sísmica en la superficie terrestre son del tipo electromagnético.

Histéresis

Tendencia de un material a conservar una de sus propiedades, en ausencia del estímulo que la ha generado.

ISO

International Organization for Standardization.

Licuefacción del suelo

Describe el comportamiento de suelos que, estando sujetos a la acción de una fuerza externa (carga), en ciertas circunstancias pasan de un estado sólido a un estado líquido o adquieren la consistencia de un líquido pesado.

Limo

Es un sedimento clástico incoherente transportado en suspensión por los ríos y por el viento, que se deposita en el lecho de los cursos de agua o sobre los terrenos que han sido inundados. Al no tener cohesión, es un terreno problemático para edificar sobre este; en obras de arquitectura o ingeniería, es necesario adoptar sistemas especiales de cimentación.

Nivel freático

Corresponde al nivel superior de una capa freática o de un acuífero en general. A menudo, en este nivel la presión de agua del acuífero es igual a la presión atmosférica.

Planta siderúrgica

Se dedicada al proceso completo de producir acero a partir del mineral de hierro, desde su extracción.

Rasante

Línea que define la inclinación o pendiente de una calle, camino, terreno u obra en general, respecto al plano horizontal.

Recubrimiento

Espesor de hormigón que queda entre las armaduras y la superficie de la pieza de hormigón.

Terraplen

En ingeniería civil se denomina terraplén a la tierra con que se rellena un terreno para levantar su nivel y formar un plano de apoyo adecuado para hacer una obra.

Trabajabilidad

La propiedad de la mezcla de concreto que determina su facilidad de ser moldeada, colada y acabada.

RESUMEN

Se denomina cimentación al conjunto de elementos estructurales de una edificación cuya misión es transmitir sus cargas o elementos apoyados en ella al suelo, distribuyéndolas de forma que no superen su presión admisible ni produzcan cargas zonales. Debido a que la resistencia del suelo es, generalmente, menor que la de los pilares o muros que soporta, el área de contacto entre el suelo y la cimentación debe ser proporcionalmente más grande que los elementos soportados, excepto en suelos rocosos muy coherentes.

La cimentación es importante porque es el grupo de elementos que soportan a la superestructura. La estabilidad de una edificación depende en gran medida del tipo de terreno sobre el que se asienta.

De la misma manera, las máquinas industriales transfieren a las estructuras vibraciones y otros efectos físicos inherentes a los movimientos que las cargas estáticas y dinámicas transfieren al suelo.

En el inicio del trabajo se describe el programa del curso Montaje y mantenimiento de equipo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Luego, se explica la cimentación de maquinaria industrial con énfasis en el tipo de máquinas que intervienen en los procesos; se describen los tipos de la cimentación y la composición del concreto armado.

Se describen los ensayos y las normas que se utilizan para medirlos y la vida útil de la cimentación, la reducción de la vibración y los costos de mantenimiento.

OBJETIVOS

General

Definir las prácticas de cimentación de maquinaria para el curso de montaje y mantenimiento de equipo.

Específicos

1. Establecer el contenido actual sobre cimentación, impartido en el curso de montaje y mantenimiento de equipo.
2. Categorizar los tipos de maquinaria y su correspondiente cimentación.
3. Enunciar los ensayos básicos para cimentación.
4. Determinar los beneficios de los procesos de una mala cimentación.

INTRODUCCIÓN

Se desglosa el contenido del curso de Montaje y mantenimiento de equipo. Se indica los temas que actualmente se imparte sobre cimentación en dicho curso. Se procede a enumerar los tipos básicos de maquinaria y los diferentes tipos de cimentación, ya que cada uno posee diferentes requerimientos. Se describen los componentes de una cimentación realizada de concreto armado.

Se relatan los ensayos que se realizarán en el suelo antes de ser implementada la cimentación e instalación de la maquinaria. También, se especificará los tipos de suelos y los requerimientos necesarios para la eficaz cimentación. Se proporcionan indicaciones de las diferentes pruebas que se deben realizar a los agregados y al concreto fresco y endurecido.

Estos análisis reducen los costos de mantenimiento ya que la correcta implementación de una cimentación reduce también la vibración y otros factores que pueden hacer ineficientes los procesos y reducir la vida útil del equipo.

Estas características inherentes a los costos de anclaje y vida útil son necesarias para que los estudiantes posean el conocimiento en los laboratorios realizados, de cómo se realizan los ensayos y cómo mermar las averías por causa del anclaje.

Los ensayos y las prácticas de laboratorio son la esencia del curso; porque los aspectos teóricos son necesarios, pero al realizar los eventos programados ayudan a mejorar las habilidades para formar ingenieros con

capacidad productiva y disciplina técnica para realizar cada una de las actividades pertinentes a la formación.

Dentro de la carga académica se pueden establecer las prácticas de laboratorio para fomentar el criterio de cada estudiante, el aprender realizado es entender cada uno de los procedimientos dentro de los anclajes.

El verdadero aprendizaje nace con la intervención de cada uno de los formados en la disciplina de la mecánica, con la adecuada cimentación y anclaje de máquinas industriales.

1. ANTECEDENTES

El curso Montaje y mantenimiento de equipo del pensum de la Escuela de Ingeniería Mecánica da un enfoque a los diversos mantenimientos predictivos, correctivos y sobre el montaje de equipos industriales.

1.1. Descripción del curso Montaje y mantenimiento de equipo

Dentro del programa de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería, el curso Montaje y mantenimiento de equipo hace referencia a los conceptos fundamentales de la planificación del mantenimiento, los insumos indispensables, la organización de las bitácoras de cada máquina.

Capacita en la gestión de los recursos humanos, clasificación de los lubricantes, ejecución de los planes de mantenimiento; el estudio preliminar del suelo, los cálculos para el montaje y cimentación de máquinas, necesidades eléctricas para la instalación de maquinaria.

1.2. Programa del curso

Está estructurado de forma que abarque estudios sobre mantenimiento y sus tipos; también, sobre cimentación de máquinas.

El programa cuenta con la siguiente estructura:

- Generalidades sobre que es mantenimiento
 - Índole del problema de mantenimiento.
 - Eficiencia del mantenimiento.
 - Decisiones requeridas respecto al mantenimiento.
 - Actividades del mantenimiento.
 - Funciones específicas del mantenimiento.
 - Funciones secundarias del mantenimiento.
 - Relación entre departamento de mantenimiento, dirección y producción de la empresa.
 - Nociones generales sobre mantenimiento preventivo por intercambio programado de componentes.

- Cimentaciones de máquinas
 - Conceptos generales sobre cimentación
 - Suelos
 - Análisis de carga (estática y dinámica)
 - Prácticas de cimentación
 - Factores de diseño
 - Vibraciones como factor de diseño
 - Concreto armado
 - Pernos de anclaje
 - Proyectos de cimentación

- Casos prácticos de mantenimiento aplicado a varios equipos industriales
 - Descripción de partes
 - Mantenimiento
 - Mantenimiento diario
 - Mantenimiento trimestral
 - Mantenimiento anual
 - Pruebas
 - Mantenimiento de accesorios
 - Herramienta y equipo
 - Averías, causas y remedios típicos
 - Preguntas y problemas

- *Benchmarking.*
- *Outsourcing.*
- *Empowerment.*
- Desgaste y abrasión.
- Seguridad e higiene industrial en el mantenimiento.
- Medio ambiente en el mantenimiento.
- Ética en el mantenimiento.
- Normas para la fabricación, cimentación, montaje y mantenimiento de equipos.

1.3. Cimentación de máquinas

El curso busca desarrollar los efectos ocasionados por las vibraciones y cargas dinámicas que aporta la maquinaria sobre el cimiento y, este a su vez, sobre el suelo. El diseño de una cimentación que soporte cargas estáticas varía del diseño para soportar cargas dinámicas y la combinación de ambas.

Una maquinaria sin una cimentación adecuada presentará mayor desgaste y, por ende, necesitará mayor mantenimiento; de igual forma, no trabajará eficientemente; estas son algunas de las razones por las que se estudia el tema en ingeniería mecánica.

Se entenderá por cimentación al soporte o base donde esté anclada una maquinaria. La cimentación está fabricada por concreto armado; es llamado así el concreto reforzado con acero. A los componentes del concreto, arena y pedrín se les conoce como agregados.

1.3.1. Diseño de mezcla

Una cimentación es afectada directamente por las proporciones de los agregados con que se elabore una mezcla; por lo tanto, su diseño toma gran importancia. Las propiedades inherentes a cada agregado, también, influyen en la resistencia, propiedades mecánicas, así como la durabilidad de la cimentación.

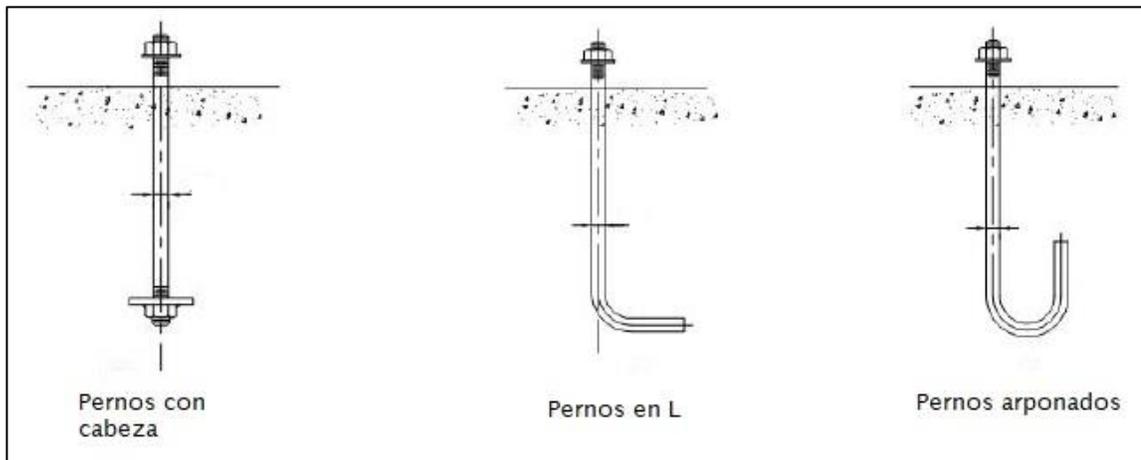
1.3.2. Pernos de anclaje

Un correcto montaje conlleva un buen anclaje, de nada sirve una cimentación resistente si el anclaje no satisface los requerimientos de la maquinaria. Se busca que el equipo trabaje eficientemente otorgando simultáneamente seguridad en su manejo. El tipo de anclaje dependerá del esfuerzo al que será sometido: tensión, corte o ambos.

Los tipos de anclajes mecánicos usados comúnmente son los de forma en L, gracias a su facilidad de fabricación y bajo costo. Existen pernos arponados,

con la desventaja de presentar un elevado costo y por ende ser difícil de adquirir; los pernos con cabeza son otra opción.

Figura 1. **Pernos de anclaje**



Fuente: *Tipos de pernos*. <http://www.taesmet.com/tipos-de-pernos-de-anclaje-y-embecidos>.

Consulta: 4 de abril de 2018.

2. CIMENTACIÓN PARA MAQUINARIA

Los diferentes tipos de maquinaria en el momento de su adquisición cuentan con manuales del fabricante donde se describen detalladamente los procedimientos y las proporciones a utilizar en la realización de su cimentación, así como el anclaje necesario. En la práctica, la utilización de estos manuales presenta ventajas al facilitar el montaje del equipo; sin embargo, la información proporcionada está regulada por ciertas condiciones, que no siempre son aplicables a todos los casos.

Es necesario un estudio del tipo de suelo y su reacción a las cargas dinámicas, estáticas y periódicas que soportará el equipo. Estas cargas pueden variar dependiendo del tipo de maquinaria y la vibración que produzcan. Es decir, el diseño de cimentación estará en términos de la reacción del suelo, su resonancia, y de la acción ocasionada por el funcionamiento de la máquina.

Existen diferentes normas que proporcionan criterios de diseño para estructuras sometidas a cargas dinámicas, así como los efectos de sus vibraciones. En Guatemala pueden ser aplicables el código ACI 351.3R-04 que presenta criterios de diseño, métodos y procedimientos de análisis, y construcción aplicados a fundaciones de equipos dinámicos; la norma alemana DIN 4150-3, una de las normas internacionales más exigente sobre el control de vibraciones; y la ISO 4866:1990 ofrece parámetros para la medición de vibración y sus efectos en edificaciones.

2.1. Tipos de maquinaria

Existen diferentes clasificaciones de maquinaria; en este caso se hará con base en las vibraciones que producen y el tipo de operación.

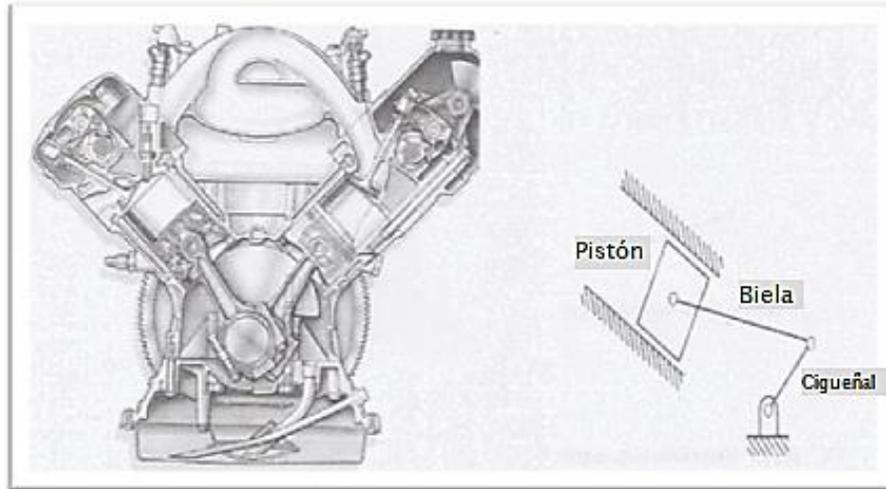
- Máquinas reciprocantes
- Máquinas rotatorias
- Máquinas de impacto
- Máquinas especiales

2.1.1. Máquinas reciprocantes

Son máquinas que generalmente trabajan a velocidades bajas, su principio de funcionamiento es el mecanismo de biela-manivela que consiste en transformar un movimiento lineal en rotacional y a la inversa. Entre estas se encuentran las máquinas de vapor y los motores de combustión interna.

La cimentación de este tipo de maquinaria se ve afectada por el desbalanceo producido por la velocidad de operación que seguirá una onda de vibración tipo senoidal o cosenoidal. Se debe tomar en cuenta la fuerza interna generada por el fluido que puede producir desbalanceo, la cimentación es la que debe resistir. De igual forma, cuando se tiene más de un pistón es importante una correcta alineación del cigüeñal para reducir fuerzas y momentos desbalanceados.

Figura 2. **Motor de combustión interna y representación gráfica del mecanismo biela-manivela**

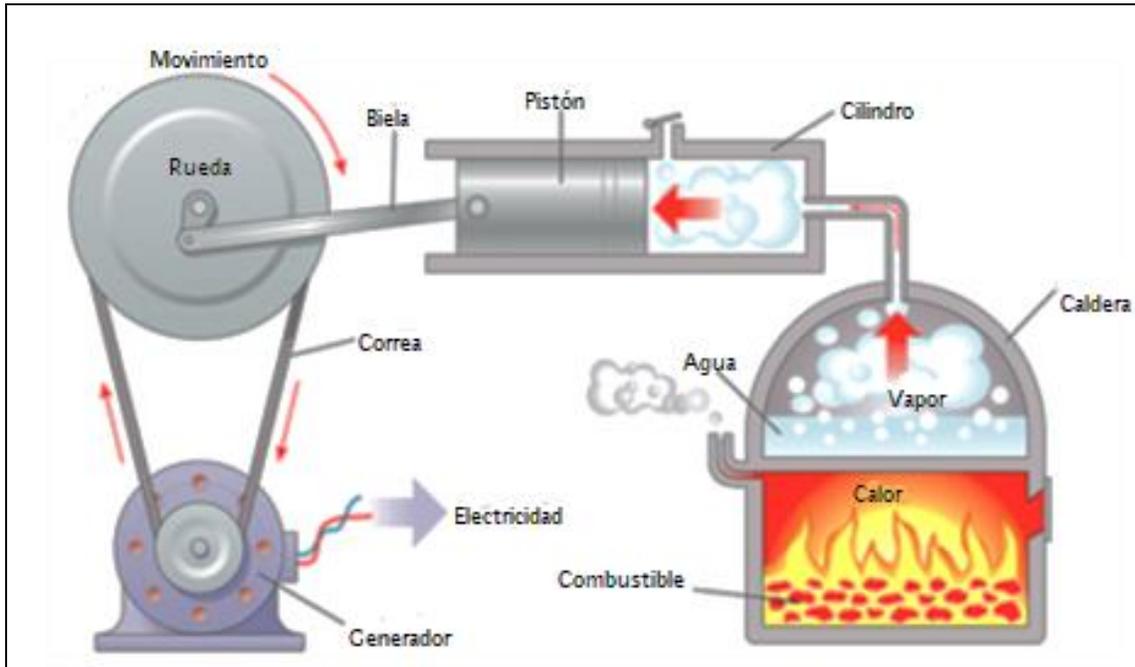


Fuente: CAMPOS, Wilmarys. *Tema I. Consideraciones generales.*

<http://fundamentosdemaquinaswmn.blogspot.com/2010/07/tema-i-consideraciones-generales-diseno.html>. Consulta: 13 de noviembre de 2017.

Entre las máquinas reciprocantes están los generadores eléctricos, transformadores de energía mecánica a eléctrica por medio de un diferencial de potencia. Una de sus clasificaciones son los generadores primarios que indican, de modo esquemático, la energía de partida y el proceso físico de conversión. Por ejemplo, el hidrógeno posee energía química y puede ser convertida directamente en una corriente eléctrica en una pila de combustible. También, sería su combustión con oxígeno para liberar energía térmica que podría expansionar un gas obteniendo así energía mecánica que haría girar un alternador para obtener, finalmente, por inducción magnética, la corriente deseada.

Figura 3. **Esquema del funcionamiento de un generador eléctrico primario**



Fuente: *Generador eléctrico*. <https://electricidadiii170aq.wikispaces.com/Generador+Electrico>.

Consulta: 13 de noviembre de 2017.

2.1.2. Máquinas rotatorias

Este tipo de máquinas pueden trabajar a velocidades por debajo de 1 500 rpm, como ventiladores, bombas centrífugas y motores generadores; o por arriba de 3 000 rpm hasta 10 000 rpm, como turbinas, generadores y turbogeneradores, entre otros. Su funcionamiento está basado en la rotación, que generan así ondas de vibración senoidal.

Debido a las velocidades tan altas a las que operan, su cimentación debe ser capaz de soportar grandes fuerzas dinámicas que buscan reducir en lo

posible el desbalance originado por la rotación del equipo, el desalineamiento durante la instalación y el mantenimiento que tenga.

- Motores eléctricos

En principio, es un generador que funcionan a la inversa; en lugar de suministrar energía mecánica al eje de entrada para producir energía eléctrica, se suministra energía eléctrica al aparato y se obtiene energía mecánica de salida en el eje del motor.

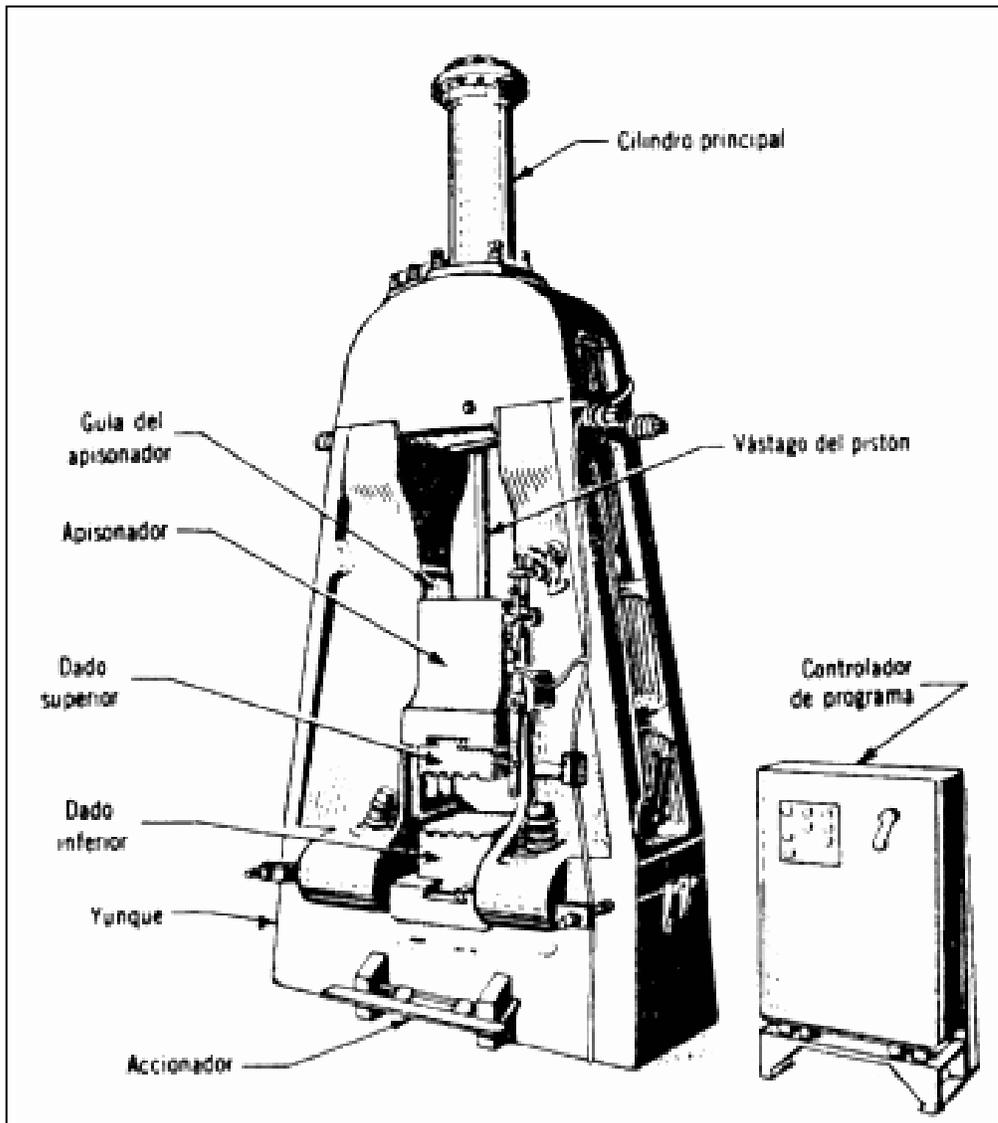
Funcionan, generalmente, bajo los principios de magnetismo; es decir, en las fuerzas de atracción y repulsión establecidas entre un imán y una bobina por donde se hace circular una corriente eléctrica. Tanto los motores de corriente continua (CC) como los de corriente alterna (CA) funcionan por inducción electromagnética, o lo que es lo mismo, un campo magnético induce o produce una fuerza rotatoria por un conductor que lleva corriente eléctrica.

2.1.3. Máquinas de impacto

Este tipo de maquinaria opera mediante pulsaciones intermitentes que ocasionan vibraciones transitorias; entre este tipo se encuentran las prensas hidráulicas y neumáticas, martillos para forja y troqueladoras. La cimentación adecuada para este tipo de maquinaria debe ser capaz de soportar esfuerzos de fatiga, para lo que se deberá contar con la información proporcionada por el proveedor sobre fuerza-tiempo de cada impulso.

En la figura 4 se presenta un ejemplo de maquinaria para forja de tipo martinete con sus respectivas partes indicadas.

Figura 4. **Martinete de caída libre con pistón elevador**



Fuente: MEDINA, Franco. *Forjado y extruido*. <https://es.slideshare.net/fcozzoto/forjado-y-extruido>. Consulta: 13 de noviembre de 2017.

2.1.4. Máquinas especiales

Son aquellas máquinas que no entran en las clasificaciones anteriores, por ejemplo, antenas de radar, prensas, trituradoras, rodillos de laminación y otras utilizadas en plantas siderúrgicas. Este tipo de maquinaria, generalmente, funciona a partir de un motor acoplado que produce cierta vibración que la cimentación debe soportar.

2.2. Tipos de cimentación

Existen diferentes tipos de cimentaciones; comúnmente, pueden dividirse en superficiales o poco profundas y profundas; esto se deberá en su mayoría a las condiciones con que cuente el suelo y el subsuelo; sin embargo, para el montaje de máquinas se debe considerar principalmente el uso que tendrá.

El tipo de cimentación dependerá del tipo de esfuerzos a los que será sometido, esto se relaciona de manera directa con el tipo de maquinaria y el tipo de oscilación que produce. De igual manera, el tipo de suelo y las instalaciones subterráneas afectan la elección del tipo de cimentación. Se pueden diferenciar cuatro tipos:

- Cimentación tipo bloque
- Cimentación tipo marco
- Cimentación tipo muro
- Cimentación tipo profundas

2.2.1. Cimentación tipo bloque

Esta cimentación es la más común, consiste en una base sólida de concreto armado, que soporta directamente la maquinaria. No debe poseer gran elevación, esto con el fin de estar lo más próxima al nivel del suelo, para así reducir las cargas dinámicas y el centro de gravedad de la máquina.

Este tipo suele diseñarse como una estructura rígida. Es utilizado para maquinarias reciprocantes, algunas de tipo rotatorio, máquinas de impacto que permitan su uso y algunas de tipo especial. Su uso es limitado por el tipo de suelo y las dimensiones del equipo que soportará.

2.2.2. Cimentación tipo marco

Este tipo de cimentación consiste en una losa flexible soportada por columnas verticales que transmiten la carga al suelo. Esta estructura facilita el acceso a las conexiones de la maquinaria que se encuentren debajo del equipo, dando la opción de un mejor mantenimiento e inspección. Puede ser utilizado en el montaje de turbogeneradores, este tipo de maquinaria cuenta con diversos equipos que pueden ubicarse debajo de la losa.

2.2.3. Cimentación tipo muro

Es una cimentación muy similar al de tipo marco, su diferencia radica en su fabricación; este tipo se construye con el fin de limitar todo el perímetro de la base que soporte la máquina. Suele ser construido por mampostería, aunque actualmente los muros de concreto prefabricado son una gran opción en la reducción de tiempo en el montaje.

2.2.4. Cimentación tipo profundas

Este tipo de cimentación es recomendado en ubicaciones donde el suelo no posee buena capacidad soporte y presenta asentamientos. Consiste en transmitir la carga hacia el suelo más profundo que cuenta con mayor capacidad. Suele ser una cimentación costosa, por lo que se recomienda utilizarla solo cuando no hay otra opción.

2.3. Composición del concreto armado

También llamado hormigón armado, consiste en una mezcla de agregados, aglomerante, agua y acero. Se entiende por agregados al piedrín y arena, que se nombrarán agregado grueso y agregado fino, respectivamente; como aglomerante se usa cemento y el acero empleado es el estructural.

La calidad del concreto dependerá de las propiedades de sus componentes, su dosificación, colocación y curado del concreto. Se debe tener claro los esfuerzos a los que será sometido, así como el servicio que prestará. Estos factores se tomarán en cuenta con el fin de conseguir un concreto de calidad que sea durable, resistente y económico.

Es muy usado debido a que posee gran resistencia a la compresión, esto gracias a la mezcla de concreto y resistencia a la tensión, otorgada por el acero. También, presenta una larga vida útil que requiere de poco mantenimiento. Para conseguir buenos resultados se debe seguir el procedimiento adecuado de mezclado, colocado, compactación y curado; ya que si no realizan apropiadamente reducen notablemente la calidad del concreto.

En Guatemala, la normalización del trabajo con concreto armado es basada en el código americano ACI 318-08 (*building code requirements for structural concrete*), en algunos casos también se aplica la norma AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). Las normas AGIES (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica) también proporcionan parámetros a tomar en cuenta en el diseño estructural y construcción.

2.3.1. Agregado fino

El agregado fino, conocido comúnmente como arena, es definido por la norma ASTM C125 (*standard terminology relating to concrete aggregates*) como el material que pasa totalmente el tamiz de 9,5 mm y en su mayoría el de 4,75 mm, la norma ASTM C33 (*standard specification for concrete aggregates*) agrega que el material puede ser natural, artificial o mezcla de ambos, dicha norma es citada en la Norma Técnica Guatemalteca NTG-41007 (agregados para concreto. Especificaciones).

Las normas mencionadas hacen énfasis en la importancia de que el agregado se encuentre libre de impurezas; sin embargo, en Guatemala al ser un país que cuenta con gran cantidad de material volcánico se hacen ciertas salvedades.

2.3.2. Agregado grueso

Este agregado es conocido como pedrín o grava. Las normas ASTM C125, ASTM C33 y NTG-41007, lo definen como el material retenido por el tamiz de 4,75 mm; al igual que el agregado fino su granulometría y la presencia

de impurezas limitan la calidad del agregado. Otra característica tomada en cuenta es la forma, ya que si es angular necesitará mayor cantidad de cemento para lograr una trabajabilidad adecuada.

El tamaño máximo aceptado de este agregado es limitado por el recubrimiento requerido y el espacio entre las barras de refuerzo, ya que debe ser capaz de colocarse y cubrir completamente este.

2.3.3. Cemento

Es el material aglomerante del concreto; es decir, une todos los componentes de la mezcla. Se considera un aglomerante hidráulico, debido a que fragua o endurece en contacto con el agua, esto gracias a que su composición cuenta con cal y no solo con puzolanas, ya que estas no son capaces de endurecer solas.

Existen diferentes tipos de cemento en la industria; sin embargo, el más utilizado es el cemento portland. La norma ASTM C150 (*standard specification for portland cement*) proporciona 10 tipos de cemento portland en los cuales varía su tiempo de fraguado, generación de calor y su composición; también, indica el tiempo en el cual alcanza su resistencia; a los 28 días de fraguado, aproximadamente.

2.3.4. Agua

Si bien en la elaboración de la mezcla se busca trabajabilidad, lograda con la adición de agua, no se puede agregar de manera indiscriminada; ya que la resistencia del concreto es afectada de manera directa por la misma. Mientras mayor cantidad de agua se le agrega a la mezcla, esta es menos resistente. Por

esta razón, es importante realizar el cálculo exacto de las proporciones de los componentes del concreto.

La cantidad de agua no es la única que afecta la resistencia, también, su calidad es importante, ya que no debe contar con materia orgánica ni aceite que pueda perjudicar la resistencia del concreto y a la vez reducir su vida útil.

2.3.5. Acero

El acero utilizado en el concreto armado generalmente es de barras corrugadas con el fin de mejorar la adherencia entre el concreto y el acero; también, pueden ser usadas mallas soldadas de alambre, en la mayoría de casos como refuerzo de losas y en situaciones donde no se puede aplicar el recubrimiento óptimo a las barras.

El acero puede presentar diferentes composiciones y, por ende, diferentes reacciones al ser sometido a esfuerzos, razón por la que se designan varios tipos de acero estructural. Las normas ASTM A615 y ASTM A706 definen los tipos de acero como de uso común a los designados con la letra S y a los utilizados para soldadura con la letra W. Estos aceros se encuentran como grado 50, cuando su resistencia es de 50 000 psi; grado 60, cuando es de 60 000 psi.

Para casos en que es necesario soldar el refuerzo, el código ACI 318 en la sección 3.5.2 recomienda auxiliarse del código AWS D1.4, el cual brinda especificaciones sobre el procedimiento y los aspectos para soldar barras de refuerzo, basadas en la composición química y su porcentaje de acero; sin embargo, previniendo que en ocasiones no es posible el conocer la composición proporciona precalentamientos mínimos.

3. PRÁCTICAS DE CIMENTACIÓN

Para poseer una cimentación resistente se debe evaluar el suelo previo al diseño de la cimentación para conocer sus condiciones: resistencia, estabilidad y su tipo; de igual forma someter a ensayos de laboratorio los materiales usados en la elaboración de la cimentación. Existen diferentes clases de ensayos para evaluar las diferentes propiedades, tanto en laboratorio como *in situ*.

La realización de ensayos de laboratorio posee ciertas ventajas sobre las realizadas *in situ*, se enumeran las principales en la tabla siguiente.

Tabla I. **Comparación entre ensayos de laboratorio y ensayos *in situ***

Ensayos	Ventajas	Desventajas
Laboratorio	Mayor exactitud en los resultados.	Más costosas.
	Corrección de errores durante los ensayos.	Mayor tiempo de elaboración
	Mejor control sobre condiciones de ensayo.	Dificultad de obtener muestras inalteradas.
<i>In situ</i>	Disminuir alteraciones de muestras.	Se dificulta el control de condiciones de ensayo, como desplazamientos y control de humedad.
	Son rápidos.	Los resultados pueden presentar mayores variaciones.
	Relativamente económicos.	Poseer el equipo para su realización.

Fuente: elaboración propia.

Debido a la gran variedad de ensayos que existen, control de humedad, control de calidad, cálculo de resistencia, clasificación de muestras, etc.; se busca estandarizarlas y normalizarlos para garantizar la menor variabilidad entre calidades; algunos de los organismos encargados son la American Standard for Testing Materials (ASTM), American Association of State High-way and Transportation Officials (AASHTO).

3.1. Ensayos de suelo

El suelo es el encargado directo de soportar las cargas estructurales proporcionadas por el equipo, esto nos indica la importancia que tiene el conocer sus propiedades y comportamiento. La mecánica de suelos se encarga del estudio de este material tan variable y complejo, el suelo en su definición más tradicional se considera un material terroso orgánico e inorgánico encontrado en la corteza terrestre.

Es considerado un material complejo ya que es multifásico y particulado, además de heterogéneo, anisotrópico, y de presentar un comportamiento no lineal. Al decir multifásico se refiere a que está compuesto por una fase sólida que puede ser orgánica o inorgánica y un sistema de vacíos; este es el espacio entre partículas comúnmente lleno por agua (fase líquida) y aire (fase gaseosa).

La mecánica de suelos clasifica las propiedades en:

- Propiedades físicas: proporcionan la información para la clasificación del suelo basadas en sus características físicas.
- Propiedades hidráulicas: aportan datos sobre la permeabilidad del suelo.

- Propiedades mecánicas, están relacionadas con la capacidad soporte del suelo.

Las propiedades hidráulicas y mecánicas son utilizadas para el análisis y diseño; se recomienda realizarse directamente en el sitio para evitar alteraciones en los resultados.

3.1.1. Clasificación de suelo

El suelo es un material que presenta gran variedad de compuestos; puede ser clasificado de diversas maneras: textura, color, tamaño, plasticidad. Existen algunas categorías básicas: grava, arena, limo y arcilla; sin embargo, en la naturaleza es más común encontrarlos mezclados como areno arcilloso, franco arcilloso y otros.

Es necesaria una forma de unificar las características generales del suelo con el fin de facilitar su clasificación y posterior aprovechamiento de sus propiedades. Existen diversos sistemas de clasificación que dependerán del uso y la necesidad que presenten: ya sea en el campo agrícola, geólogo e ingenieril.

3.1.1.1. Sistema AASHTO

Es un sistema ampliamente utilizado en la construcción de carreteras, desarrollado en 1929, bajo la designación M 145 (*The classification of soils and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes*), normaliza este procedimiento proporcionando siete grupos que van desde A-1 al A-7; se basa en ensayos de laboratorio granulométricos, límite líquido y el índice de plasticidad.

Es importante remarcar que este sistema no es utilizado en la elaboración de cimentaciones, ya que se enfoca en las características óptimas de un suelo para servir de terraplen, rasante y subrasante; sin embargo, este sistema proporciona datos sobre las características de resistencia del suelo en condiciones de campo.

La norma ASTM D3282 (*Classification of soils and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes*) es el equivalente de la norma AASHTO.

3.1.1.2. Sistema unificado de clasificación de los suelos SUCS o USCS

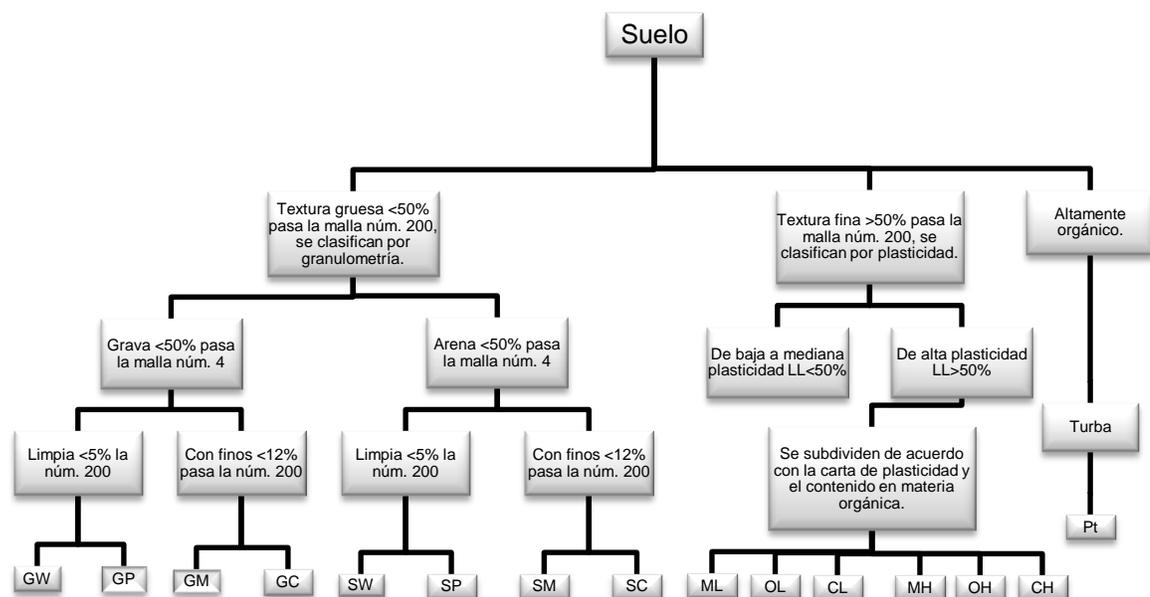
Es un sistema desarrollado con el fin de auxiliar al Departamento de Ingeniería de Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial; ha sido estandarizado y regulado por la norma ASTM D2487 (*Standard practice for classification of soils for engineering purposes unified soil classification system*); en la actualidad es el más utilizado para la clasificación de suelos. Basa su clasificación en la granulometría y plasticidad; la identificación de cada tipo es por medio de dos letras mayúsculas.

Según su granulometría se tiene: grano grueso y grano fino. Los suelos de grano grueso se dividen en grava, identificados por la letra G y arena, S. De igual forma, estos dos tipos se subdividen en cuatro; dos de ellos basados en la gradación: bien graduado, W; y mal graduado, P, y otros dos basados en la plasticidad: los que poseen gran cantidad de material fino no plástico, M; y los que poseen gran cantidad de material fino plástico, C.

Los suelos de grano fino se dividen en tres grupos: limos inorgánicos, M; arcillas inorgánicas, C; y limos y arcillas orgánicas, O. A su vez, estos tres se

subdividen según su plasticidad, basada en la cantidad de líquido que posea: baja plasticidad, L; y alta plasticidad, H. Los suelos altamente orgánicos, como la turba, no son aptos para ingeniería, y son representados por el símbolo Pt. Los suelos con características de dos grupos se deberán designar por la combinación de los símbolos de ambos grupos; por ejemplo: GW-GC.

Figura 5. **Clasificación de suelos según el sistema unificado de clasificación de suelos**



Fuente: DÍAZ RODRÍGUEZ, Jorge Abraham. *Mecánica de suelos*. p. 52.

3.1.2. Plasticidad

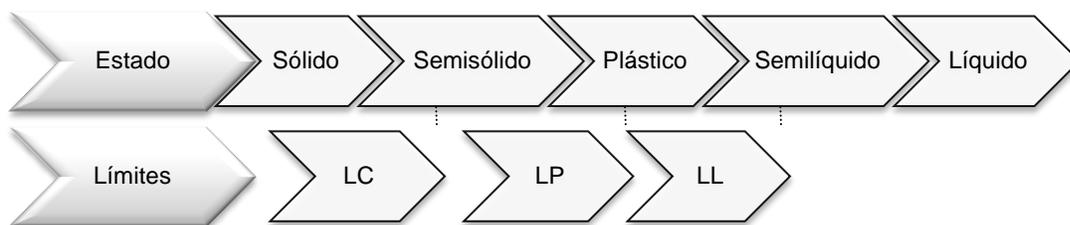
Es la propiedad del suelo de cambiar de forma mediante la aplicación de fuerzas, sin presentar mayor cambio volumétrico, grietas ni desmoronarse. El contenido de agua en el suelo regula su comportamiento plástico; el intervalo en

el que se obtiene la plasticidad del suelo abarca desde un límite inferior, llamado límite plástico, y un límite superior, denominado límite líquido.

Los límites líquido y plástico son comúnmente conocidos como límites de Atterberg o de consistencia. Esto se entiende que la consistencia del suelo puede pasar de líquido, semilíquido, plástico, semisólido y sólido; dependiendo de la cantidad de agua que posea naturalmente. Para determinarlos se debe utilizar una muestra de suelo que pase la malla número 40 (0,425 mm).

Se entiende como estado líquido cuando el suelo presenta una apariencia de suspensión; el estado semilíquido posee una forma de fluido viscoso; el estado plástico, puede moldearse sin agrietarse; el estado semisólido aparenta ser sólido, pero varía de volumen al secarse; y el estado sólido su volumen no varía al secarse.

Figura 6. **Estados del suelo y límites de Atterberg**



Fuente: HERNÁNDEZ CANALES, Juan Carlos. *Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y sus métodos de medición*. p. 47.

En la gráfica anterior se identifican tres límites propuestos por Atterberg: límite de contracción (LC), que limita el estado sólido del semisólido; límite

plástico (LP), limita el estado semisólido y plástico; y el límite líquido (LL), separa el estado plástico del semilíquido o del líquido.

3.1.2.1. Ensayo límite líquido

El límite líquido se entiende como el contenido de agua en una muestra de suelo en estado sólido que pasa a estado semilíquido/líquido. En algunos casos puede usarse cuando se presentan problemas de consolidación para estimar el asentamiento del suelo; de igual forma, es usado para su clasificación.

El ensayo para obtener este dato es regulado por las normas ASTM D423 (*Method of test for limit o soils*), ASTM D4318 (*Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils*). El ensayo se realiza mediante el método de copa de Casagrande, que puede observarse en la figura 7 con sus respectivos ranuradores; consiste en la colocación de una muestra representativa en una copa semiesférica que será golpeada repetidamente. Esto con el fin de observar la facilidad con que se desmorona.

Figura 7. **Copa de Casagrande y diferentes ranuradores o acanaladores**

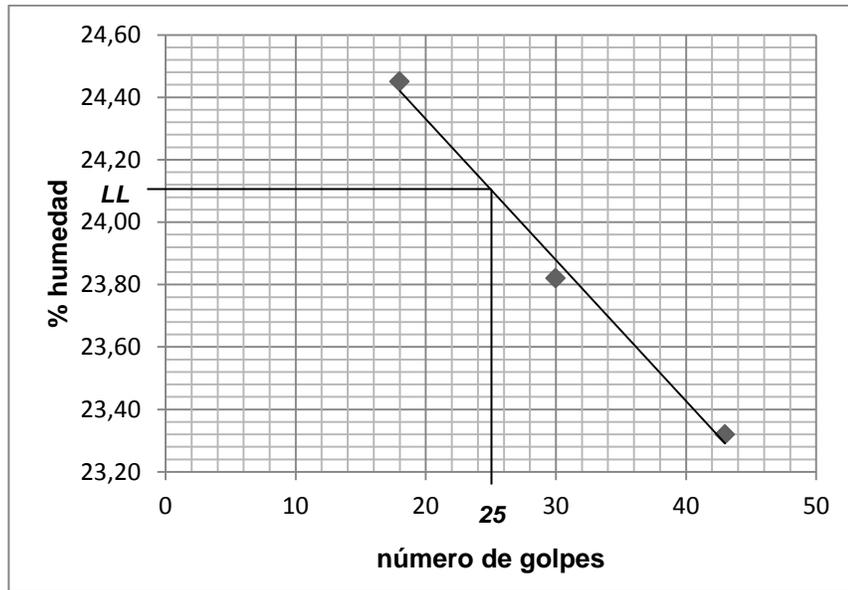


Fuente: *Manual liquid limit device*. www.testmak.com/Manual-liquid-limit-device. Consulta: 11 de octubre de 2017.

- Procedimiento del ensayo límite líquido según norma ASTM D4318
 - Se obtiene una muestra representativa de 100 g o más; se agrega agua conforme sea necesario para conseguir una pasta semilíquida homogénea.
 - Se deja en reposo dependiendo de la plasticidad del suelo: alta plasticidad ≥ 24 h, plasticidad media ≥ 12 h, baja plasticidad ≥ 1 h.

- Colocar entre 50 a 70 g de suelo en la copa, extender y nivelar con una altura de 10 mm en el punto de mayor profundidad de la copa.
- Con la ayuda de un acanalador dividir la muestra en dos, con cuidado que la medida de la ranura de 1 cm se mantenga.
- Girar la manivela a razón de 2 golpes por segundo hasta lograr que el surco se cierre 1 cm. Contar los golpes necesarios.
- Extraer 10 g aproximadamente del material en el fondo del surco para determinar su porcentaje de humedad. Esto mediante el peso de la muestra húmeda y el peso de la muestra seca.
- Este procedimiento debe realizarse por lo menos tres veces para obtener información suficiente para el gráfico semilogarítmico: número de golpes vs % humedad.
- Por medio del gráfico se encuentra el valor del porcentaje de humedad a 25 golpes, este es el límite líquido.

Figura 8. **Gráfico para determinar el límite líquido**



Fuente: elaboración propia.

La gráfica anterior permite obtener el valor del límite líquido, mediante la intersección de 25 golpes con la tendencia semilogarítmica; se desplaza este dato hacia el eje que corresponde al porcentaje de humedad; este es el LL.

3.1.2.2. **Ensayo límite plástico**

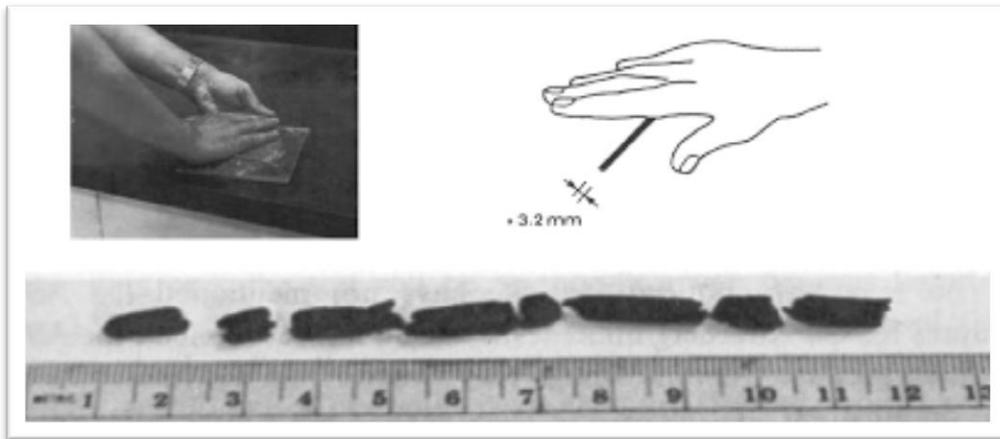
El límite plástico es la separación entre el estado semisólido y el estado plástico. La norma ASTM D4318 (*Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils*) proporciona dos métodos para la obtención de este dato: el primero utilizando una muestra en estado húmedo y el segundo en estado seco; la muestra que se utiliza para ambos procedimientos es la misma con la que se realiza el ensayo del límite líquido. Ensayo utilizado para la clasificación del suelo y predecir su comportamiento ingenieril.

El ensayo consiste en enrollar una porción de suelo hasta un diámetro de tres milímetros aproximadamente; es un ensayo muy subjetivo dependerá de la pericia de quien lo elabore.

- Procedimiento del ensayo límite plástico según norma ASTM D4318
 - Se emplea una muestra de 20 g que atraviesa el tamiz de 0,5 mm.
 - Colocar agua suficiente para modelar la muestra que logran una pasta homogénea.
 - Se deja en reposo dependiendo de la plasticidad del suelo: alta plasticidad ≥ 24 h, plasticidad media ≥ 12 h, baja plasticidad ≥ 1 h.
 - Se procede a amasar una muestra de 1 cm³ aproximadamente, y hacerla rodar sobre una placa de vidrio con la palma de la mano, tomando cuidado de no usar excesiva fuerza.
 - Cuando alcanza un diámetro de 3 mm; doblar, amasar y rodar nuevamente; se repite el procedimiento hasta que el cilindro se desintegre y no pueda ser amasado.
 - Repetir el procedimiento hasta alcanzar una cantidad entre 15 y 20 cilindros.
 - Pesar los restos de los cilindros en un recipiente, secar las muestras en horno y volver a pesar. Calcular el porcentaje de humedad, que será el límite plástico, por medio de la siguiente ecuación:

$$LP = \frac{\text{peso inicial de la muestra} - \text{peso de la muestra seca}}{\text{peso de la muestra seca}} \times 100$$

Figura 9. **Ensayo de límite plástico**



Fuente: OSORIO, Santiago. *Consistencia del suelo: límites de Atterberg, límite plástico.*
www.geotecnia-sor.blogspot.com/2010/11/consistencia-del-suelo-limites-de_25.html. Consulta:
 18 de octubre de 2017.

En la gráfica anterior se observa la realización de cilindros con espesor de 3,2 mm hasta el punto de agrietarse y desintegrarse.

3.1.2.3. **Índices de consistencia**

Por medio de los resultados obtenidos de los ensayos de límite líquido y límite plástico se pueden determinar los índices: plástico, de tenacidad, de consistencia relativa y de liquidez.

- Índice plástico (IP)

Anteriormente para su determinación se tomaba en cuenta la cantidad máxima de arena que podía agregarse a un suelo. Sin embargo, en la actualidad se define como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

$$IP = LL - LP$$

Por medio de este valor se puede determinar el comportamiento del suelo en campo. A continuación, se presenta la clasificación del suelo según su IP.

Tabla II. **Clasificación de los suelos según índice plástico**

IP=0	Si no se puede medir alguno de los límites líquido o plástico, o si la diferencia es negativa; es un suelo no plástico
IP<7	Baja plasticidad
7<IP<17	Medianamente plástico
IP>17	Altamente plástico

Fuente: HERNÁNDEZ CANALES, Juan Carlos. *Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y sus métodos de medición*. p. 70.

- Índice de consistencia relativa (CR)

Es un valor que se define en términos de la humedad natural del suelo (W_n), índice plástico (IP) y límite líquido (LL). Determina el esfuerzo de corte de un suelo, este crece en relación que el CR va de cero a uno.

$$CR = \frac{LL - W_n}{IP}$$

- Índice de liquidez (IL)

Proporciona la información necesaria sobre la consolidación del suelo.

$$IL = \frac{W_n - LP}{IP}$$

Según norma ASTM D4318 si el valor de IL es:

IL~0 suelo preconsolidado

IL~1 suelo consolidado

- Índice de tenacidad (It)

Se determina con base en los límites plásticos y de liquidez. Es de utilidad para determinar características plásticas de las arcillas. Sus valores generalmente están entre uno y tres.

$$It = \frac{IP}{IL}$$

3.1.3. Ensayo de granulometría

Anteriormente se creía que las propiedades mecánicas de un suelo dependían enteramente del tamaño de las partículas y su distribución; debido a ello, se han desarrollado diversos métodos para la clasificación del suelo en base a su granulometría. Actualmente, se sabe que únicamente los suelos gruesos determinados por mallas ven afectadas sus propiedades mecánicas por la gradación del suelo. La norma ASTM D422 (*Standard test method for*

particle-size analysis of soils) indica los procedimientos del ensayo de granulometría.

Se entiende por granulometría al tamaño de grano de las partículas de suelo. Este parámetro junto a la plasticidad proporciona la información necesaria para conocer las propiedades mecánicas y físicas de un suelo, usados en las clasificaciones AASHTO Y SUCS; sin embargo, existen clasificaciones granulométricas, es decir, basadas solamente en el tamaño de las partículas, como se ejemplifica en la siguiente tabla.

Tabla III. **Clasificación de los suelos según granulometría**

Material	Características	Tamaño mm
Piedra	---	>70
Grava	Gruesa	30 a70
	Media	5 a 30
	Fina	2 a 5
Arena	Gruesa	1 a 2
	Media	0,2 a 1
	Fina	0,1 a 0,2
Polvo	Grueso	0,05 a 0,1
	Fino	0,02 a 0,05
Limo	Grueso	0,006 a 0,02
	Fino	0,002 a 0,006
Arcilla	Grueso	0,0006 a 0,002
	Fino	0,0002 a 0,0006

Fuente: JUÁREZ, Eulalio; RICO, Alfonso. *Mecánica de suelos*. p. 99.

Las clasificaciones se hacen mediante tamices normalizados por la ASTM E11 (*Standard specification for woven wire test sieve cloth and test sieves*). Los

sistemas de clasificación toman como base el tamiz No. 200 para realizar sus clasificaciones. En la siguiente tabla se enumeran diferentes tamices.

Tabla IV. **Tamaño de tamices según norma ASTM E11**

Tamaño de tamices y sus equivalencias Normas ASTM E-11								
Abertura Estándar mm	No. Alternativo	Abertura nomila plg	abertura estándar mm	No. Alternativo	Abertura estándar plg	Abertura estándar mm	No. Alternativo	Abertura nominal plg
125 mm	5"	5	9,5mm	3/8"	0,375	425 µm	No. 40	0,0165
106 mm	4,24"	4,24	8,0 mm	5/16"	0,312	355 µm	No. 45	0,0139
100 mm	4"	4	6,7mm	0,265"	0,265	300 µm	No. 50	0,0117
90 mm	3 1/2"	3,5	6,3mm	1/4"	0,25	250 µm	No. 60	0,0098
75 mm	3"	3	5,6 mm	No. 3 1/2"	0,223	212 µm	No. 70	0,0083
63 mm	2 1/2"	2,5	4,75 mm	No. 4	0,187	180 µm	No. 80	0,007
53 mm	2,12"	2,12	4,00 mm	No. 5	0,157	150 µm	No. 100	0,0059
50 mm	2"	2	3,35 mm	No. 6	0,132	125 µm	No. 120	0,0049
45 mm	1 3/4"	1,75	2,80 mm	No. 7	0,11	106 µm	No. 140	0,0041
37.5 mm	1 1/2"	1,5	2,36 mm	No. 8	0,0937	90 µm	No. 170	0,0035
31.5 mm	1 1/4"	1,25	2,00 mm	No. 10	0,0787	75 µm	No. 200	0,0029
26.5 mm	1,06"	1,06	1,70 mm	No. 12	0,0661	63 µm	No. 230	0,0025
25.0 mm	1,00"	1	1,40 mm	No. 14	0,0555	53 µm	No. 270	0,0021
22.4 mm	7/8"	0,875	1,18 mm	No. 16	0,0469	45 µm	No. 325	0,0017
19.0 mm	3/4"	0,75	1,00 mm	No. 18	0,0394	38 µm	No. 400	0,0015
16.0 mm	5/8"	0,625	850 µm	No. 20	0,0331	32 µm	No. 450	0,0012
13.2 mm	.530"	0,053	710 µm	No. 25	0,0278	25 µm	No. 500	0,001
12.5 mm	1/2"	0,5	600 µm	No. 30	0,0234	20 µm	No. 635	0,0008
11.2 mm	7/16"	0,438	500 µm	No. 35	0,0197			

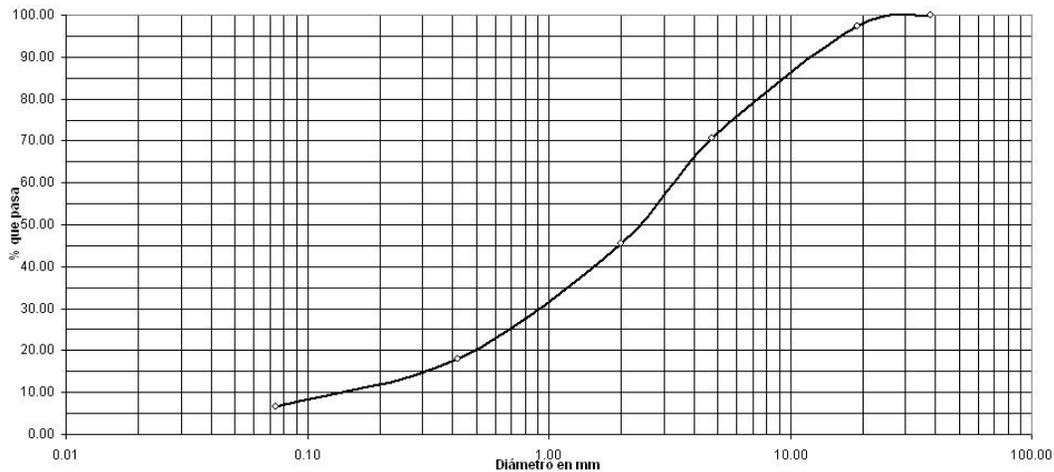
Fuente: elaboración propia.

La información obtenida en el ensayo se presenta en gráficas llamadas curvas granulométricas. Por medio de la gráfica, se conoce la distribución del grano, y de acuerdo a su forma, se puede conocer la uniformidad de gradación del suelo.

- Procedimiento del ensayo de granulometría según norma ASTM D422
 - Se utiliza una muestra representativa de 1 000 g aproximadamente; se coloca en el horno para desaparecer la humedad.
 - Pesar el material secado y pasar por una serie de tamices con la ayuda de una máquina tamizadora automática. Se usará el juego de tamices 1 ½", ¾", No. 4, No. 10, No. 40, No. 200 y fondo; colocados en ese orden de arriba hacia abajo.
 - Pesar la cantidad de material retenido en cada tamiz. Sumar y comparar con el peso del material secado al inicio del tamizado, si se obtiene una pérdida mayor del 2 % se debe repetir el ensayo.
 - Para la elaboración de la curva granulométrica, en el eje de la ordenada se coloca el porcentaje que pasa y en el de la abscisa, el tamaño de las partículas en mm. Se calcula el porcentaje que pasa por medio de la siguiente ecuación.

$$\% \text{ pasa} = \frac{\text{peso material más fino} + \text{peso material acumulado}}{\text{peso neto seco de la muestra antes del lavado}} * 100$$

Figura 10. **Curva granulométrica**



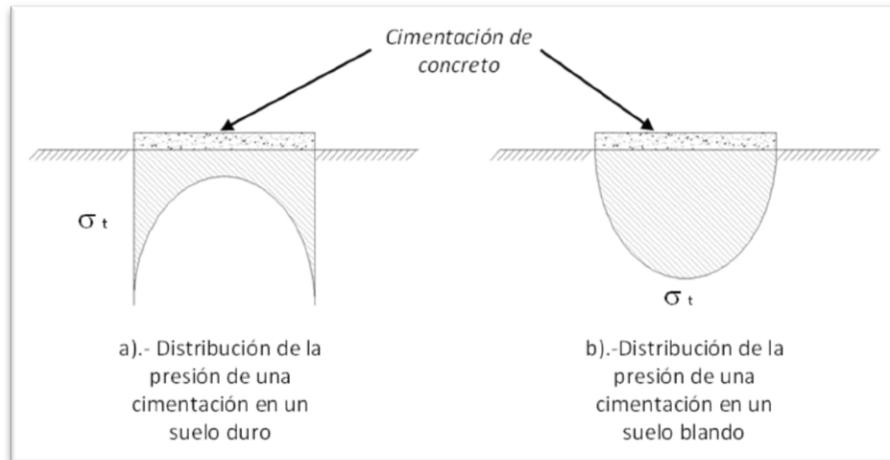
Fuente: HERNÁNDEZ CANALES, Juan Carlos. *Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y sus métodos de medición*. p. 88.

La curva se traza de acuerdo a los resultados del peso medido en cada tamiz; el eje de las abscisas es el diámetro de los tamices y el eje de ordenadas, el peso. De esta manera se observa la gradación del suelo.

3.1.4. Ensayos dinámicos del suelo

El comportamiento del suelo varía de acuerdo al tipo de fuerza al que es sometido, ya sean fuerzas estáticas o dinámicas; estas últimas producen una amplificación que dependerá de los parámetros dinámicos del suelo, como se observa en la figura 11. Las vibraciones originadas por una máquina son transmitidas hacia la cimentación que generan esfuerzos dinámicos al suelo, esto se debe a que una parte de este vibra en resonancia con la cimentación.

Figura 11. **Distribución de presiones en suelo ejercidas por una cimentación**



Fuente: ZETINA MUÑOZ, José Roberto. *Diseño práctica de cimentaciones sujetas a vibración producida por maquinaria*. p. 33.

Las cargas dinámicas generan un comportamiento no lineal y no uniforme en el suelo, variables en el tiempo. Esta interacción genera esfuerzos cortantes cíclicos similares a los producidos por un terremoto, que originan en el suelo una pérdida de resistencia, cambios volumétricos, etc. Para comprender este comportamiento se determinan parámetros dinámicos del suelo:

- Módulo de Young: determina el comportamiento elástico del suelo.
- Módulo de corte: es una medida de la dureza del material, realiza un modelado más avanzado del suelo.
- Factores de confinamiento: relacionados con la capacidad de compresión y deformación del suelo.

- Módulo de amortiguamiento: capacidad del suelo de absorber energía dinámica y cómo afecta la duración y forma de las vibraciones.
- Parámetros de licuación: proceso durante el cual el suelo pierde sus capacidades de resistencia al ser sometidos a fuerzas cíclicas.
- Relación de Poisson: es una medida que relaciona las deformaciones longitudinales y transversales originadas por una fuerza.

La obtención de estos parámetros suele ser complicada, por la precisión y exactitud que se necesita en mediciones de desplazamiento y velocidad; así como la capacidad de tomar mediciones en fracciones de segundos. Debido a esto existen diversos ensayos en los que el suelo es sometido a cargas dinámicas; pueden dividirse en ensayos de laboratorio y ensayos de campo o *in situ*.

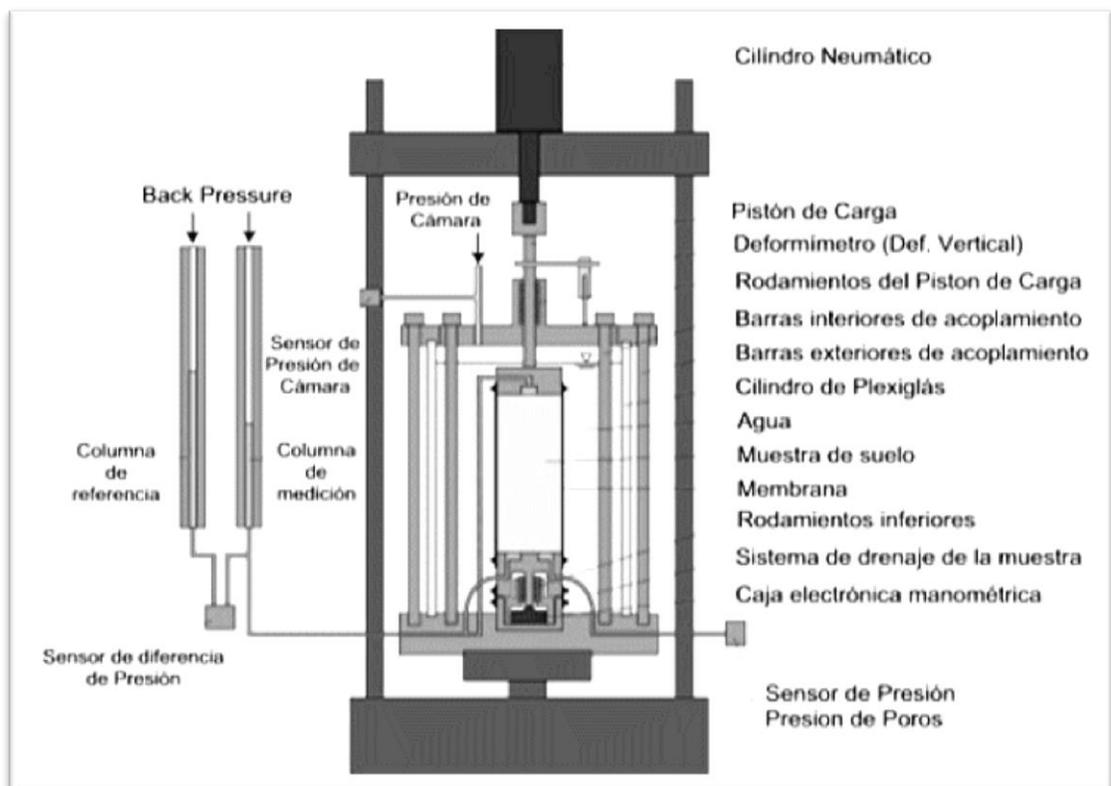
3.1.4.1. Ensayo triaxial cíclico

Es un ensayo de laboratorio cuyo propósito principal es obtener los módulos de amortiguamiento y el de Young. Está regulado por la norma ASTM D3999 (*Standard test methods for determination of the modulus and damping properties of soil using the cyclic triaxial apparatus*). Para su evaluación toma en cuenta factores como la densidad del suelo, saturación, número de ciclos, esfuerzo efectivo, nivel de tensión y tipo de material.

La norma proporciona dos métodos de ensayo: el método A, que trabaja bajo condiciones de cargas cíclicas constantes; el método B, bajo condiciones de golpe constante. En ambos casos la muestra cilíndrica de suelo se coloca en una celda de presión triaxial, con el fin de medir el esfuerzo axial y la

deformación axial resultante. Estos datos son usados para el cálculo del módulo de Young y el de amortiguamiento.

Figura 12. Esquema de cámara típica triaxial cíclica



Fuente: COLLARTE, Luis; POBLETE, Mauro. *Estimación de la historia de precarga cíclica de un suelo, con ayuda del potencial de licuación*. http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?pid=S0718-025X2004000100005&script=sci_arttext. Consulta: 25 de noviembre de 2017.

En la figura anterior se aprecia la cámara de confinamiento que consiste en un cilindro de plexiglás donde se introduce la muestra. La relación entre la muestra, la membrana y el fluido influyen en los resultados de la prueba mediante variaciones en la penetración de la membrana debido a cambios en la presión de poros.

- Procedimiento del ensayo triaxial cíclico según norma ASTM D3999

Existe una gran variedad de equipos triaxiales usados en este ensayo, por lo que no existe un paso a paso del procedimiento compatible con todos los equipos. A continuación, se estandariza procedimientos comunes para cualquier equipo y/o cualquier tipo de muestra.

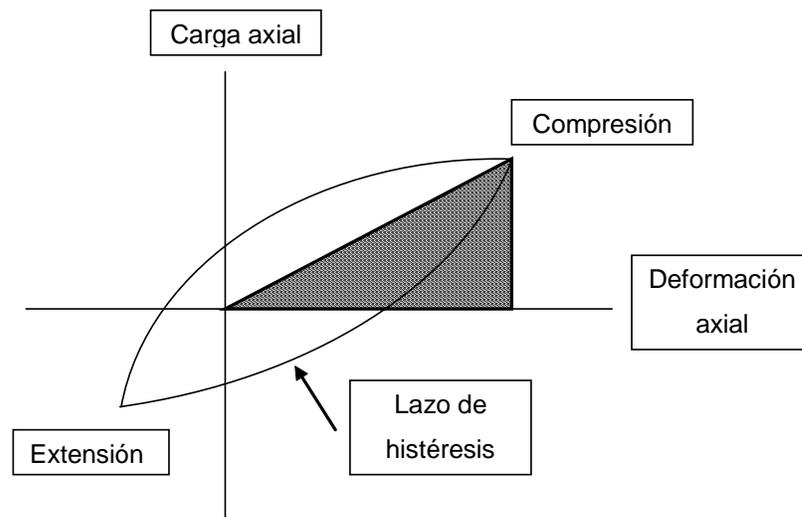
- Preparación de la muestra. Existen varios procedimientos que dependen si es una muestra alterada o no. También, se debe tomar en cuenta la densidad, saturación y consolidación de la muestra; tomando mediciones durante cada proceso. Tanto el proceso de saturación y consolidación tienen importancia ya que tienen como objeto de llenar todos los vacíos del suelo y proporcionar equilibrio a la muestra, respectivamente.
- Montar la muestra en la cámara triaxial.
- Ejecutar el ensayo de carga o deformación cíclica. En ambos casos mantener la presión constante en la cámara de confinamiento, y medir la carga axial, la deformación axial y si es posible el cambio de presión del agua entre poros con respecto al tiempo.
- Calcular módulo de Young (E) con la ecuación:

$$E = \frac{L_{DA}}{S_{DA}} \times \frac{L_S}{A_S}$$

Donde:

- L_{DA} doble amplitud de carga, Kn (lb)
 - S_{DA} doble amplitud de deformación, mm (in.)
 - L_S altura de la muestra después de la consolidación mm (in.)
 - A_S área de la muestra después de la consolidación mm^2 ($in.^2$)
- Calcular el módulo de amortiguamiento por medio de la curva de histéresis. La cual se traza con valores de carga versus deformación durante un ciclo completo, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 13. **Gráfica típica de curva de histéresis obtenida en ensayo triaxial cíclico**



Fuente: elaboración propia.

Se utiliza la ecuación:

$$D = \frac{A_L}{4\pi A_T} \times 100$$

Donde:

- A_L = área de lazo histéresis
- A_T = área del triángulo sombreado

3.1.4.2. Método de refracción sísmica

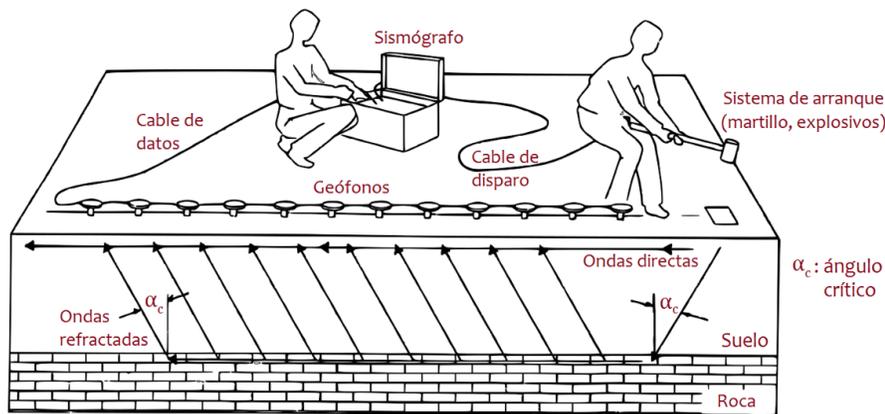
El ensayo de refracción sísmica está regulado por la norma ASTM D5777 (*Standard guide for using the seismic refraction method for surface investigation*), la cual es una herramienta básica para explorar en forma rápida y económica grandes áreas, que permite obtener con relativa precisión los espesores de los estratos y las velocidades de ondas P (primarias o de compresión); estas producen cambios de volumen sin rotación a las partículas del suelo; y las ondas S (secundarias o cizalla); estas deforman las partículas al imponerles rotación y generando esfuerzos cortantes.

Este método permite representar el perfil del subsuelo con resolución vertical. En resumen, permite determinar la respuesta del suelo a esfuerzos dinámicos, midiendo el tiempo de viaje de las ondas generadas por una fuerza localizada a distancias determinadas. Es un ensayo que provee una opción económica y confiable para evaluar parámetros elásticos del suelo.

- Procedimiento del ensayo de refracción sísmica según la norma ASTM D5777.
 - Se recomienda aislar el lugar en donde se realizara el ensayo. Consistirá en hacer un recorrido para verificar las condiciones del lugar, para proceder a la colocación de la línea de inspección.
 - Indicar la longitud, cantidad y ubicación de las líneas de inspección. Trazar las líneas con su debida separación, colocar los geófonos a presión, su colocación es de importancia para la correcta recepción de ondas. Proceder a colocar los cables de conexión.
 - La producción de ondas sísmicas se hará mediante un impacto en el suelo con un martillazo de 20 libras sobre una placa de acero de 15 x 15 cm.
 - Realizar una inspección de la recepción de ondas por el sismógrafo, junto con una prueba para determinar el nivel de ruido ambiental.
 - Adquirir datos en la línea de inspección mediante su identificación y la ubicación del punto de disparo para obtención de señales sísmicas.
 - Con los resultados obtenidos calcular el módulo de Young, que se encuentra en función de la dirección en que se aplica la fuerza; el módulo de Poisson, el cual proporciona una medida del

estrechamiento de un material elástico; y el módulo de corte, que se encuentra en términos del módulo de Young y la velocidad.

Figura 14. **Ensayo de refracción sísmica**



Fuente: ARISTIZÁBAL, Jorge; MENDOZA, Néstor. *Obtención de propiedades mecánicas a partir de la relación V_p/V_s para depósitos superficiales de ceniza volcánica en Manizales Colombia*. Consulta: 8 de enero de 2018.

En la imagen se observa la transmisión de ondas originadas por el impacto del martillo y la forma de reflectarse hacia los geófonos.

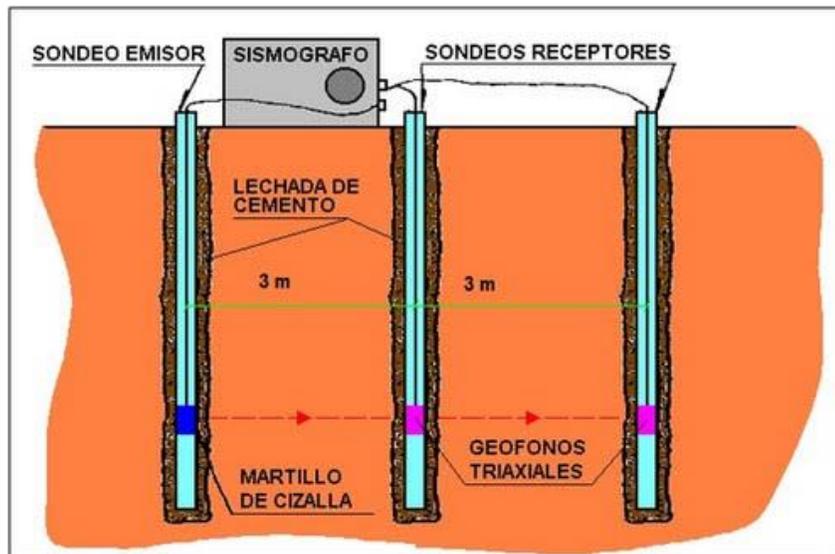
3.1.4.3. **Ensayo Cross-Hole**

Su fin es determinar la variación del módulo de rigidez a través de la propagación de ondas P y S para puntos ubicados a una misma profundidad. También, conocido como sondeo sísmico, consiste en situar una fuente emisora y una receptora a distancias entre 3 y 10 m. Se necesita por lo menos dos perforaciones; sin embargo, con el fin de minimizar los errores es recomendable usar más.

La norma ASTM D4428 (*Standard test methods for crosshole seismic testing*) da indicaciones sobre el procedimiento de ensayo. Indica algunas fuentes de energía como explosivos, martillos neumáticos, etc, como fuentes receptoras hidrófonos o geófonos. Es recomendable no exceder la separación entre ambos debido a que la calidad de la señal disminuye conforme a la distancia.

- Procedimiento del ensayo Cross-Hole según la norma ASTM D4428
 - Se realiza con un equipo portátil, que incluye un instrumento de auscultado, un dispositivo de control de profundidad y dos sondas, emisora y receptora. Dependiendo de las empresas que los fabriquen será su nombre, por ejemplo, el equipo SC-XT 2000 o el Chum de Piletest.
 - Se introducen las mismas por los tubos, llenos de agua y se va registrando la señal recibida a medida que suben. Los datos se almacenan digitalmente para su posterior tratamiento.

Figura 15. **Ensayo Cross Hole**



Fuente: *Integridad por medio de tubos (Cross Hole)*. <http://msingenierosl.com/index.php/grupo-lcc-panama/ensayo-de-pilotes/integridad-por-medio-de-tubos-cross-hole>. Consulta: 8 de enero 2018.

3.2. **Ensayos de calidad de agregados**

La calidad y características de los agregados influyen principalmente para lograr una cimentación resistente, entre sus características se encuentra la forma, el tamaño y la superficie de las partículas. En el caso de la forma afecta la trabajabilidad, cantidad de la mezcla, adherencia, contenido de cemento, resistencia y la durabilidad.

Con respecto al tamaño o granulometría de las partículas, su variación influye en la cantidad de cemento y del agua requerida en la mezcla. De igual forma, a mayor tamaño nominal, se da una mayor resistencia por unidad de

cemento y se reduce la contracción por secado. Sin embargo, se ve limitado por el costo y por el espaciamiento entre barras en concretos armados.

La superficie de las partículas tiene efecto principalmente sobre la resistencia a la flexión y la adherencia entre la pasta de cemento y los agregados, por ejemplo, al poseer una textura áspera o rugosa presentará una mejor unión.

Entre los requisitos principales de los agregados se encuentra la durabilidad y el ser químicamente inerte bajo las condiciones que estará expuesto. Debido a lo expuesto el conocer las características de los agregados, proporciona una herramienta para su aprovechamiento y mejor diseño de mezcla, así como una cimentación resistente.

Entre las funciones de los agregados se encuentra el reducir el cambio volumétrico del concreto al secar, resistir cargas y desgaste y proporcionar un material de llenado barato para el cementante.

3.2.1. Ensayo de materia orgánica para agregado fino

En los agregados, principalmente el fino, se encuentran diversidad de impurezas orgánicas, como tejidos animales y productos vegetales; estos disminuyen la hidratación del cemento, afectan el tiempo de fraguado, la resistencia y durabilidad del concreto mediante la interferencia en las reacciones químicas del cemento.

De igual forma, producen daños en las barras de refuerzo, ocasionando corrosión, disminuyendo así la vida útil de la cimentación. Por lo cual el conocer la cantidad de materia orgánica en el agregado es de importancia.

En Guatemala, la norma NTG 41010 (*Método de ensayo. Determinación de materia orgánica en los agregados finos para concreto*) proporciona dos métodos de ensayo: uno es el denominado Ensayo del colorímetro. Este procedimiento es normado por la norma ASTM C40.

- Procedimiento del ensayo de materia orgánica según norma ASTM C40
 - Llenar el 40 % de una probeta de 250 ml con agregado fino.
 - Añadir una solución de hidróxido de sodio al 3 % hasta cubrir la porción de agregado. Agitar la mezcla vigorosamente y dejar reposar 24 horas.
 - Comparar el color del líquido, por medio de una placa orgánica, llamada colorímetro, que posee cinco vidrios de colores, como se muestra en la figura 16. Siendo el tercero el valor permisible.

Figura 16. **Prueba de colorímetro**



Fuente: *Sustancias perjudiciales en el agregado*. <http://www.cuevadelcivil.com/2011/04/sustancias-perjudiciales-para-el.html>. Consulta: 10 de enero de 2018.

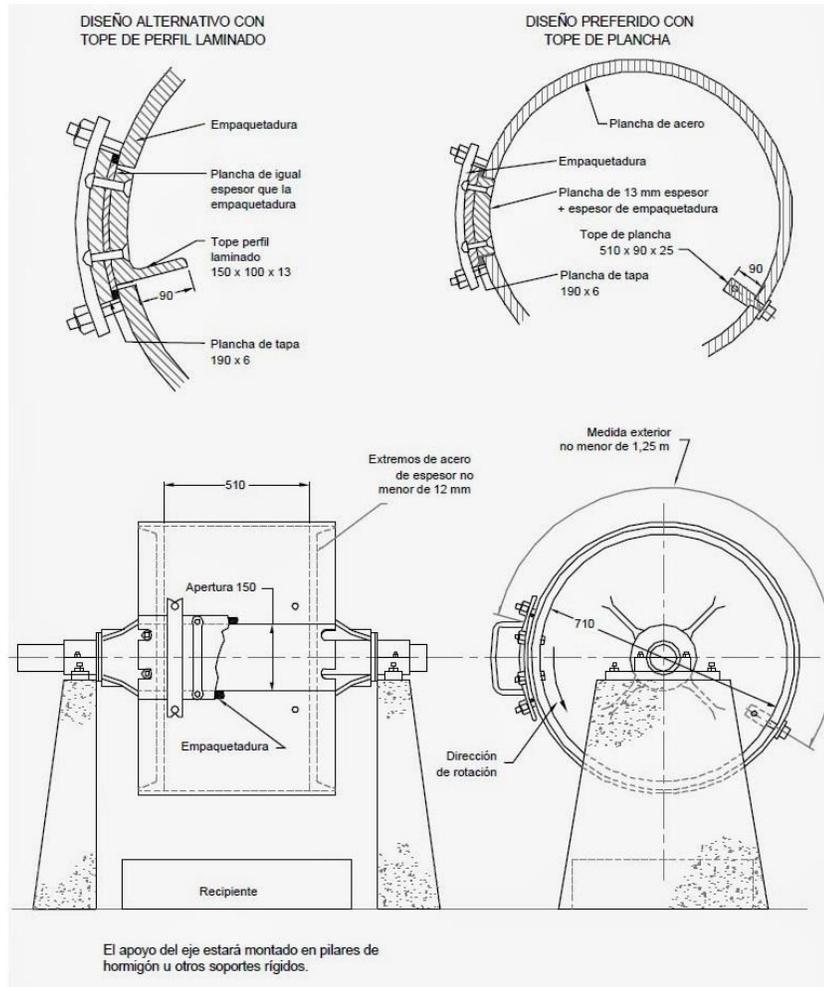
Según la norma NTG 41007 (*Agregados para concreto. Especificaciones*) el agregado con un valor mayor de 3 puede ser usado si el resultado es producto de la presencia de carbón, lignito o similares.

3.2.2. Ensayo de abrasión para agregado grueso

Por medio del ensayo se conoce la durabilidad y el nivel de desgaste que presentara el agregado grueso al ser sometido a condiciones de roce continuo. El método más utilizado es explicado en la norma ASTM C131 (*Standard test method for resistance to degradation of small. Size coarse aggregate by abrasion and impact in the los angeles machine*) y su equivalente COGUANOR NTG 41010.

El ensayo consiste en una medida de desgaste producido por impacto, trituración y abrasión en un tambor rotatorio, llamada máquina de los Ángeles, que contiene una carga abrasiva durante una cantidad estipulada de revoluciones. Este ensayo es considerado un indicador de la calidad del agregado.

Figura 17. **Máquina de los Ángeles**



Fuente: CALLAO, Raysha. *Máquina de los Ángeles*. <http://mantenimientocarreterasvias.blogspot.com/2014/07/maquina-de-los-angeles.html>. Consulta: 10 de enero de 2018.

En la figura anterior se observa el diseño de la máquina de los Ángeles; consiste en un tambor cilíndrico de acero con una abertura de cierre hermético para evitar la pérdida de material. La carga abrasiva consiste en esferas de acero de unos 46,8 mm de diámetro aproximadamente y una masa entre 390 y

445 g; la cantidad de las esferas dependerá de la granulometría del agregado, como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla V. **Parámetros para ensayo de abrasión según norma ASTM C131**

Graduación		Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	Pasa tamiz 1 1/2 Retenido tamiz 3/8	12	5000±25
B	Pasa tamiz 3/4 Retenido tamiz 3/8	11	4584±25
C	Pasa tamiz 3/8 Retenido tamiz No. 4	8	3330±20
D	Pasa tamiz No. 4 Retenido tamiz No. 8	6	2500±15

Fuente: elaboración propia.

- Procedimiento del ensayo de abrasión según la norma ASTM C131
 - Colocar una muestra seca de 5 000 g dentro del tambor junto con las esferas, girar la máquina a una velocidad constante de 30 a 33 rpm hasta alcanzar 500 revoluciones.
 - Descargar el material, proceder a separar la muestra por medio del tamiz No. 12, el material retenido debe ser lavado y secado en horno a una temperatura de 110±5 °C. Se debe pesar con una aproximación de un gramo.

3.2.3. Granulometría de agregados

Los agregados ocupan la mayor parte del concreto y la granulometría de los mismos influye en las proporciones de mezcla, variando la trabajabilidad, capacidad de bombeo, costo, contracción al secado, porosidad y durabilidad del concreto. Este ensayo se hace mediante el uso de tamices de rejilla cuadrada ubicados de forma decreciente. El procedimiento de ensayo es igual para ambos agregados; la variante es el tamaño de tamices y los parámetros deseados de cada agregado.

La norma ASTM C33 (*Standard specification for concrete aggregates*) define los pasos y requerimientos del ensayo; su norma equivalente guatemalteca NTG 41007 (*Agregados para concreto. Especificaciones*).

- Procedimiento del ensayo de granulometría según la norma ASTM C33
 - Utilizar una muestra representativa previamente cuarteada, secada y pesada.
 - Tamizar la muestra y proceder a pesar el material retenido en cada tamiz. Registrar cada dato, es aceptable una pérdida máxima del 3 % de la muestra total. Si no fuese el caso se procede a repetir el ensayo.

- Granulometría, agregado fino

Este agregado puede ser natural, manufacturado o combinación. Su parámetro de interés es el módulo de finura (MF), el cual indica el grosor del agregado, es utilizado para el diseño y estimación de mezcla. De igual forma

con los datos obtenidos se traza la curva granulométrica y se compara con los límites permitidos.

Los tamices utilizados en el caso del agregado fino son 3/8, No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100 y fondo. El MF se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$MF = \frac{\sum \%Retenido \left(\frac{3}{8}, 4, 8, 16, 30, 50, 100 \right)}{100}$$

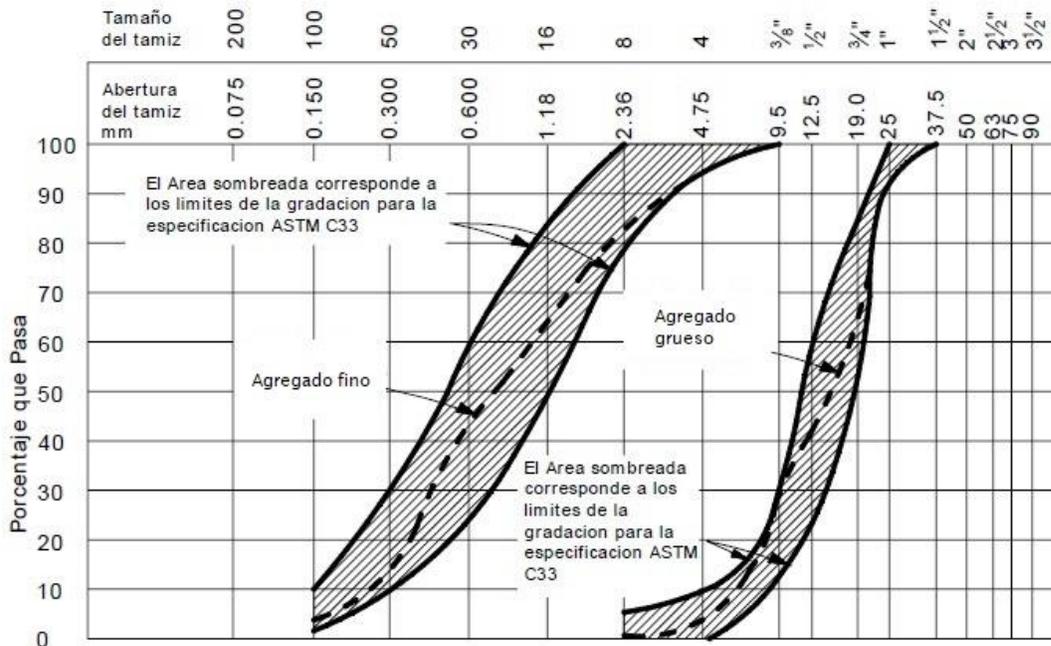
$$2,3 < MF < 3,1$$

- Granulometría agregado grueso

En este caso el dato de interés es el tamaño nominal máximo, que es el primer material retenido. Este parámetro debe satisfacer los requerimientos mínimos del espaciado entre barras de refuerzo y encofrado. De igual forma, un tamaño muy grande dificulta la trabajabilidad, compactación y genera vacíos.

La serie de tamices normados son 1 ½, 1, ¾, ½, 3/8, No. 4 y fondo; utilizados para graficar la curva granulométrica con sus respectivos límites dados en la norma.

Figura 18. **Curvas granulométricas, según parámetros norma ASTM C33**



Fuente: *Curvas granulométricas*. <http://www.cuevadelcivil.com/2011/04/curvas-granulometricas.html>. Consulta: 10 de enero de 2018.

En la figura anterior se observa el trazo de curvas granulométricas; para que un agregado sea considerado óptimo debe estar en el área sombreada delimitada por los parámetros de la norma ASTM C33.

3.3. Ensayos de calidad del concreto fresco

Un factor que influye en la resistencia final del concreto y, por ende, en su durabilidad, se refiere sus proporciones, las cuales afectan la trabajabilidad, la facilidad de segregación, la plasticidad, la consistencia, la compactibilidad, el tiempo de fraguado, etc. En obra existen procedimientos normalizados que

permiten el control de calidad del concreto en estado fresco con el fin de prevenir una cimentación con resistencia menor a la requerida.

Los ensayos en estado fresco no proporcionan los datos de resistencia final; sin embargo, representa la única herramienta para tomar decisiones rápidas, durante la fundición. Existe diversidad de ensayos, por ejemplo:

Tabla VI. **Ensayos de concreto fresco**

Ensayo	Importancia
Elaboración y curado de especímenes	Pruebas de resistencia a compresión.
Peso unitario y rendimiento	Determinar densidad y cantidad de concreto producido por mezcla.
Asentamiento	Medir consistencia del concreto.
Muestreo de concreto fresco	Obtener muestras representativas.
Contenido de aire	Determinar porcentaje de aire con relación al volumen de la mezcla.
Pruebas de curado acelerado	Acelerar el control de calidad.
Temperatura del concreto	Determinar propiedades del concreto.

Fuente: elaboración propia.

Las propiedades como cohesión y adhesión, que determinan el grado de trabajabilidad, son normalmente realizadas por inspección visual y la manipulación del concreto, debido a que no se cuenta con procedimientos que las midan directamente. Dichas propiedades se determinan en base a la consistencia, fluidez y grado de compactación del concreto.

Para la realización de cualquier ensayo al concreto se debe utilizar una muestra representativa; la norma COGUANOR NTG41057 (*Práctica para el muestreo de concreto recién mezclado*) enumera los pasos para su obtención. La norma ASTM C172 (*standard practice for sampling freshly mixed concrete*) es la norma internacional en la cual se basa.

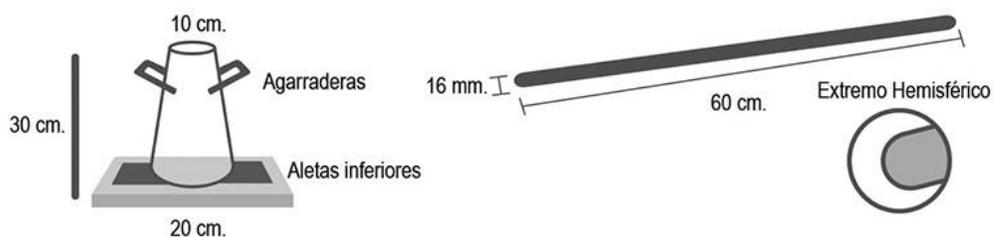
3.3.1. Ensayo de asentamiento

El ensayo de asentamiento del concreto o revenimiento es un método de control de calidad cuyo objetivo principal es medir la consistencia del concreto.

Este ensayo no mide la cantidad de agua ya que la fluidez del concreto no depende enteramente de ella; un cambio en la granulometría, las propiedades y la temperatura pueden afectar el asentamiento.

La norma ASTM C143 (*Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete*) regula el procedimiento de ensayo. Para su realización se utiliza el llamado cono de Abrams y una varilla de acero lisa de punta redonda, como se observa en la figura 19. Se debe realizar con la primera amasada del día, siempre cuando la consistencia parezca variar, y cuando se realicen en la obra cilindros para ensayos de resistencia.

Figura 19. Cono de Abrams y varilla apisonadora

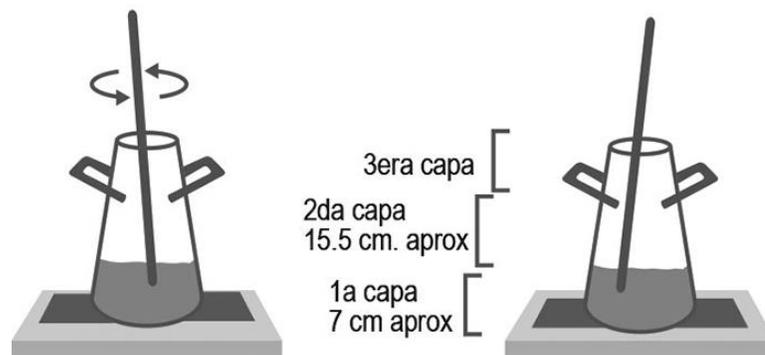


Fuente: *Control de calidad del concreto en obra.*

<http://www.unicon.com.pe/principal/noticias/noticia/uniconsejos-determinacion-del-asentamiento-slump-del-concreto/70>. Consulta: 11 de enero de 2018.

- Procedimiento ensayo de asentamiento según norma ASTM C143
 - Obtener la muestra, limpiar y humedecer los elementos que tendrán contacto con el concreto.
 - Colocar el cono en una superficie plana, libre de vibraciones y no absorbente, sujetarlo por las aletas inferiores con los pies, tratando de no moverlo, ya que afectaría la exactitud del ensayo.
 - Llenar y compactar en tres capas, con 25 golpes cada una, realizando en forma de espiral, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 20. **Llenado del cono de Abrams**



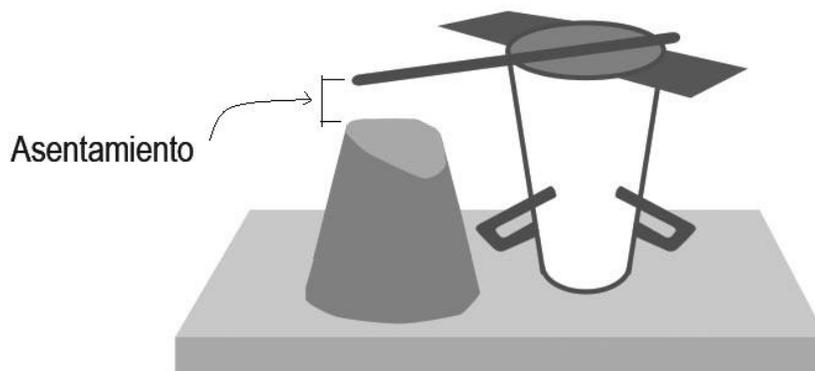
Fuente: *Control de calidad del concreto en obra.*

<http://www.unicon.com.pe/principal/noticias/noticia/uniconsejos-determinacion-del-asentamiento-slump-del-concreto/70>. Consulta: 11 de enero de 2018.

- Al finalizar la tercera capa, enrasar para quitar el sobrante de material. Retirar el cono verticalmente, teniendo cuidado de no mover las paredes laterales.

- Medir el asentamiento, como se muestra en la figura 21. Este ensayo no debe durar más de dos minutos y medio.

Figura 21. **Medición de asentamiento**



Fuente: *Control de calidad del concreto en obra.*

<http://www.unicon.com.pe/principal/noticias/noticia/uniconsejos-determinacion-del-asentamiento-slump-del-concreto/70>. Consulta: 11 de enero de 2018.

- De la medida obtenida se clasifica la consistencia del concreto con respecto a la siguiente tabla.

Tabla VII. **Medidas de consistencia**

Consistencia	Asentamiento (cm)
Seca	0-2
Plástica	3-5
Blanda	6-9
Flúida	10-15
Líquida	≥16

Fuente: Ensayo de consistencia del concreto (Slump test). <http://ingcivil-notasapuntes.blogspot.com/2015/02/ensayo-de-consistencia-del-concreto.html>. Consulta 5 de abril de 2018.

3.3.2. Ensayo de temperatura

El ensayo de la temperatura del concreto radica en que esta controla las reacciones químicas producidas en la mezcla modificando así las propiedades del concreto. La temperatura del concreto depende del aporte de cada uno de sus componentes, la energía de mezclado, del medio ambiente y del calor liberado por la hidratación del cemento.

Predecir el comportamiento del concreto sin el control de temperatura resulta muy difícil; su verificación durante la colocación del concreto da una idea de la posibilidad de agrietamiento por tensión térmica.

Un concreto con temperatura inicial alta puede dar resistencias mayores a las normales en edades tempranas y resistencias menores de lo normales en edades mayores que afecta de esa manera la calidad final del concreto. La temperatura del concreto indica el tipo de curado y protección, así como el tiempo que se deben mantener.

Al tener control sobre la temperatura se podrán evitar problemas inmediatos y futuros, ya que también afecta la inclusión de aditivos. La norma ASTM C1064 (*Standard test method for temperature of freshly mixed hydraulic-cement concrete*) permite medir la temperatura del concreto recién mezclado. El registro de la temperatura se debe mantener constante.

Figura 22. **Ensayo de temperatura del concreto**



Fuente: GRAVIL BRAVO, Caroley. *Propiedades del concreto en estado fresco*. <http://tecnologia-concreto.blogspot.com/2016/07/semana-10-concreto-en-estado-fresco.html>. Consulta: 12 de enero de 2018.

- Procedimiento del ensayo de temperatura según norma ASTM C1064
 - Colocar el termómetro de manera que el bulbo esté sumergido 3 pulgadas, presionar suavemente el concreto alrededor para evitar que la temperatura ambiental influya en el resultado (ver figura 22).
 - Dejar el dispositivo por lo menos dos minutos o hasta que la temperatura se estabilice.

3.3.3. Ensayo de masa volumétrica

Ensayo usado para el control de calidad del concreto fresco, una modificación en la masa volumétrica cambiará el desempeño del concreto,

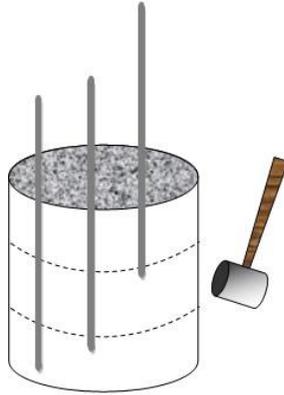
también conocido como peso unitario varía dependiendo de la cantidad del agregado, cantidad de aire ya sea atrapado o incluido y la cantidad de cemento y agua.

En el caso de que la reducción volumétrica sea debida a que posee una menor cantidad de cemento, se obtendrán resistencias menores; si la reducción se debe a un aumento en el contenido de aire, es probable aumentar la resistencia a ciclos de congelación y deshielo; sin embargo, se disminuye la resistencia a la compresión, a la abrasión, al ataque químico, etc.

Una variación en la masa volumétrica influye negativamente la resistencia, bombeabilidad, colocación del concreto. El término masa volumétrica o peso unitario es modificado a ensayo de densidad según la norma ASTM C138 (*Standard test method for density (unit weight), yield, and air content (gravimetric) of concrete*). Dicha norma también proporciona parámetros para determinar el rendimiento y el contenido de aire del concreto.

- Procedimiento del ensayo de masa volumétrica según la norma ASTM C138
 - Tarar el recipiente vacío. Anotar el dato.
 - Llenar el recipiente en tres capas del mismo volumen, como se aprecia en la figura 23. Durante cada capa apisonar con una varilla de punta redonda, golpear uniformemente 25 veces en forma de espiral. Golpear la parte externa del recipiente de 10 a 15 veces con un martillo de hule para cerrar los huecos dejados en el momento del apisonado.

Figura 23. **Llenado y apisonado del concreto**



Fuente: elaboración propia.

- En la tercera capa es aceptable agregar material después de compactar.
- Enrasar la parte superior dejando una superficie plana. Limpiar el exterior del recipiente.
- Pesar el recipiente y calcular la masa unitaria mediante la ecuación siguiente:

$$Densidad = \frac{W_{R+M} - W_R}{V_R}$$

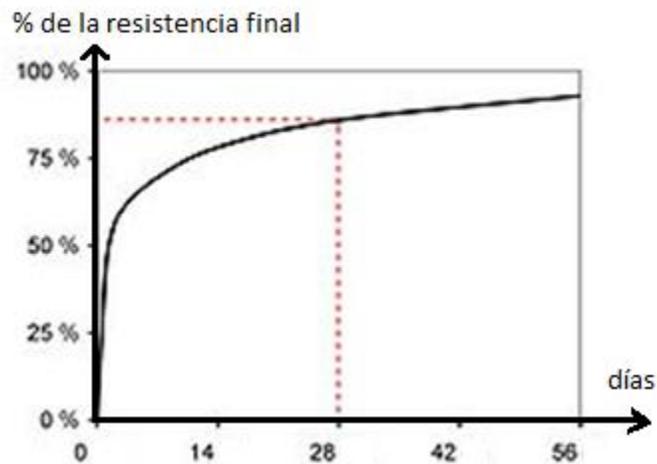
Donde:

- W_{R+M} = peso del recipiente más el material
- W_R = peso del recipiente
- V_R = volumen del recipiente

3.4. Ensayo de calidad del concreto endurecido

El control de calidad del concreto finaliza con los ensayos de concreto endurecido; dicho estado se consigue por la pérdida de agua; es durante este proceso en que el concreto obtiene su resistencia; en los primeros días se realiza de manera rápida y conforme avanza el tiempo disminuye la velocidad. El tiempo en que se mide usualmente la resistencia del concreto es a 3, 7, 28, y 90 días, como se observa en la en la figura 24.

Figura 24. **Gráfica de la resistencia obtenida del concreto en el transcurso del tiempo**



Fuente: SANCHEZ, Nestor. *Fraguado y endurecimiento del hormigón (concreto)*.
<https://civilgeeks.com/2013/12/13/fraguado-y-endurecimiento-del-hormigon-concreto/>. Consulta:
15 de enero de 2018.

La resistencia de un concreto se ve afectada no solo por la calidad de sus componentes y proporciones; también, por el tiempo de fraguado, es decir la velocidad en que la mezcla se transforma de estado plástico a estado

endurecido; debido a lo expuesto es de importancia un control sobre la pérdida de agua.

La pérdida se da por efecto de la temperatura, sol, viento, humedad relativa. El objeto del curado es mantener tan saturado como sea posible el concreto para permitir la total hidratación del cemento; pues si esta no se completa la resistencia final del concreto disminuirá.

Existen varias formas de curar el concreto:

- Métodos que mantienen un ambiente húmedo mediante la aplicación continua de agua.
- Métodos que mantienen la presencia de parte del agua de mezclado en el concreto durante el periodo inicial de endurecimiento.
- Métodos que aceleran la ganancia de resistencia.

Entre las formas más recomendadas tenemos la de inundación o completa inmersión de la pieza, sin embargo no siempre es factible debido al espacio. La más utilizada es la de rociado, que debe ser de manera continua; si se hace de manera intermitente, el concreto puede secarse entre las aplicaciones de agua, generando ciclos de humedecimiento y secado que pueden generar agrietamientos superficiales.

Dependiendo del parámetro a conocer del concreto serán los ensayos a realizarse, en la siguiente tabla se enumeran algunos.

Tabla VIII. **Tipos de ensayos en concreto endurecido**

	Ensayo	Importancia
Ensayos destructivos	Resistencia a compresión	Determinar la resistencia a compresión.
	Resistencia a flexión	Determinar la resistencia a la flexión.
	Resistencia a tensión	Determinar la resistencia a la tensión.
	Contenido de aire	Determinar parámetros del sistema de vacíos.
	Densidad relativa	Determinar la densidad relativa, el peso específico, el porcentaje de absorción.
Ensayos no destructivos	Pruebas dinámicas o de vibración	Determinar la frecuencia resonante de un espécimen.
	Método de penetración	Medir la dureza para determinar la resistencia relativa del concreto.
	Método del esclerómetro	Medir la dureza de la superficie para revisar la uniformidad del concreto.
	Pruebas de arranque	Medir la resistencia directa al cortante en el concreto.
	Radiación gamma	Determinar la densidad del concreto sin endurecer y endurecido.

Fuente: elaboración propia.

La cimentación de maquinaria se ve afectada por cargas estructurales estáticas y dinámicas, debido a lo cual los ensayos mínimos recomendados para concreto endurecido serán los de compresión y las pruebas dinámicas o de vibración.

- Ensayo de compresión

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por

unidad de área; se expresa en términos de esfuerzo, generalmente, en kg/cm², MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi).

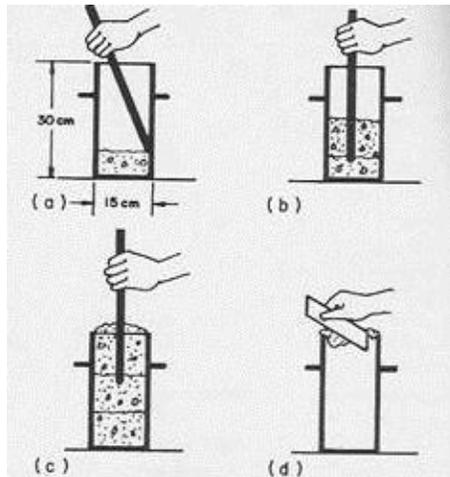
El ensayo de compresión debe realizarse en probetas normalizadas por la ASTM C31 (*Standard practice for making and curing concrete test specimens in the field*), esto con el fin de obtener resultados confiables. La norma detalla el moldeado, es decir, la forma de llenado y compactado; el método de curado bajo condiciones de temperatura de 16 a 27 °C y una humedad mayor del 95 %. La norma NTG 41061 es basada en la norma ASTM.

La norma COGUANOR NTG 41060 (*Práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en laboratorio*) trata sobre los procedimientos para preparar y curar especímenes de concreto para ensayo en el laboratorio bajo un control preciso de materiales y condiciones de ensayo, usando concreto que pueda ser consolidado por varillado o vibración.

De acuerdo a la norma ASTM C31 para la elaboración de las probetas se puede utilizar moldes de acero, hierro forjado, PVC u otro material no absorbente y que no reaccione con el cemento; los cuales deben ser cubiertos ligeramente con aceite mineral o un agente separador de encofrado no reactivo. Las probetas son de altura igual al doble del diámetro.

El llenado de los especímenes según norma ASTM C31 se realiza en 3 capas del mismo volumen; se apisona 25 veces cada una de manera uniforme con una varilla de punta redonda; se procede a golpear 15 veces el exterior con un martillo de hule. En la última capa se rasa y nivela.

Figura 25. **Moldeado de probetas de concreto**



Fuente: *Cilindros de prueba de concreto, ASTM C-31, descripción.*

<https://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/10900267/Cilindros-de-prueba-de-concreto-ASTM-C-31-descripcion.html>. Consulta: 15 de enero de 2018.

Las probetas se retirarán de los moldes entre las 18 y 24 horas después de moldeadas. Después de desmoldar las probetas y antes de que transcurran 30 minutos, almacenar las probetas en condiciones adecuadas de humedad, según norma ASTM C31.

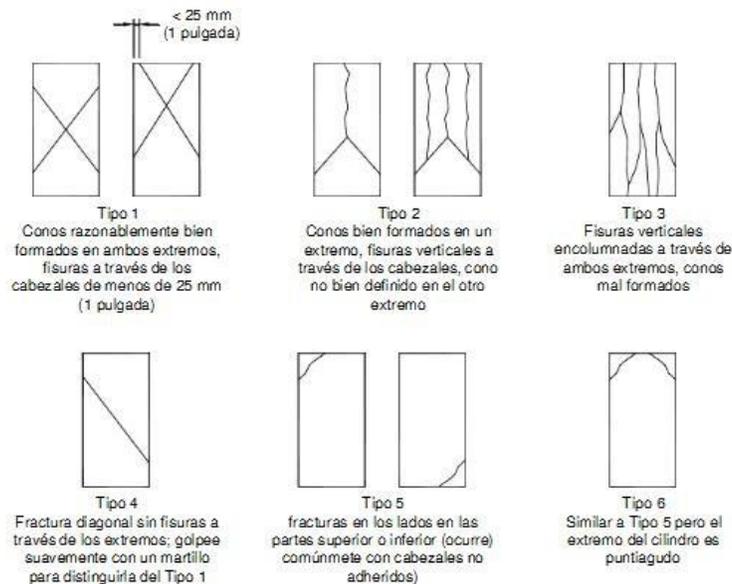
El ensayo para determinar la compresión de cilindros elaborados bajo la norma ASTM C31 es regulado por la norma internacional ASTM C39 (*Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens*) y su equivalente COGUANOR NTG 41017 (*Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*).

- Procedimiento del ensayo de compresión según la norma ASTM C39
 - Se mide el diámetro del cilindro en dos sitios en ángulos rectos entre sí y deben promediarse para calcular el área de la sección. Si los diámetros medidos difieren en más de 2 % no se debe someter a prueba el cilindro. El ensayo debe realizarse en condición húmeda.
 - Los cilindros se deben centrar en la máquina de ensayo de compresión y cargados hasta completar la ruptura. El régimen de carga con maquina hidráulica se debe mantener en un rango de 0,20 a 0,30 MPa/s durante la última mitad de la fase de carga.
 - La resistencia del concreto se calcula mediante la ecuación:

$$Resistencia\ concreto = \frac{Carga\ máxima}{Área\ promedio}$$

La norma ASTM C39 presenta fracturas típicas producidas en ensayos a compresión (ver figura 26).

Figura 26. Tipos de falla del concreto



Fuente: BRICEÑO, Angela. *La deformación del concreto*.

<http://angelabriesingcivil.blogspot.com/2015/07/semana-13.html>. Consulta: 16 de enero de 2018.

- Velocidad de pulso a través del concreto

Este método de ensayo pertenece a las pruebas dinámicas o vibración realizadas al concreto endurecido; consiste en determinar la velocidad de propagación de pulsos longitudinales de ondas de esfuerzos a través del concreto. No se utiliza para la aceptación o rechazo del hormigón. Permite identificar zonas de deterioro y monitorear su evolución, así como verificar la efectividad de las reparaciones empleadas.

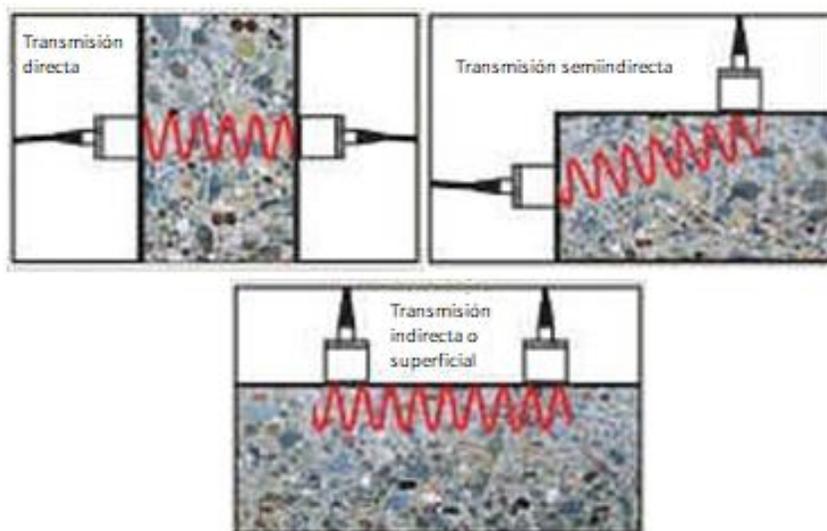
La norma ASTM C597 (*Standard test method for pulse velocity through concrete*) y la NTG 41017 (*Método de ensayo. Determinación de la velocidad*

del pulso ultrasónico a través del concreto) proporciona especificaciones para la realización del ensayo.

Consiste en generar pulsos de ondas longitudinales de esfuerzos por un transductor electro-acústico que se mantiene en contacto con una superficie del concreto bajo ensayo; se debe evitar la medida de la velocidad de manera paralela al reforzamiento de acero; después de atravesar el concreto, los pulsos son recibidos y convertidos en energía eléctrica por un segundo transductor localizado a una distancia L del transductor transmisor. El tiempo de tránsito T se mide electrónicamente. La velocidad del pulso se calcula dividiendo L entre T.

La colocación de los emisores y receptores de onda puede variar dependiendo de la forma del espécimen a evaluar y el espacio en donde se encuentra. La figura 27 muestra tres diferentes formas.

Figura 27. **Formas de transmisión de onda**



Fuente: *Técnicas de control no destructivo para morteros*. <http://www.dagasl.es/art9.htm>.

Consulta: 17 de enero de 2018.

4. VENTAJAS DE UNA CIMENTACIÓN

La cimentación de una maquinaria tiene diversas aplicaciones que debe acoplarse a la máquina y el efecto que ejerce sobre el suelo. Existe una cimentación de maquinaria apropiada para cada tipo de necesidad.

Entre los parámetros que influyen el diseño de una cimentación para maquinaria, se encuentran las propiedades geométricas del sistema máquina-cimentación como el centro de gravedad, el momento de la inercia de la base y de la masa; y las características del terreno, entre estas la rigidez efectiva de la base-soporte y el amortiguamiento.

Diferentes máquinas son montadas normalmente en el suelo pero tiene un sistema especial que les permite aislar las vibraciones que éstas puedan producir; además, de permitirles el buen manejo que estas deben tener.

Se debe tomar en cuenta el satisfacer diferentes requisitos al momento de diseñar una cimentación sometida a esfuerzos dinámicos:

- Los esfuerzos dinámicos inducidos en la cimentación producidos por la maquinaria, en combinación con los esfuerzos debidos al peso propio de la cimentación y el de los accesorios, no debe exceder el límite permisible para la cimentación.
- El suelo debe ser capaz de soportar las fuerzas periódicas que se transmiten a través de la superficie de contacto, sin sufrir deformaciones importantes.

- El movimiento de la cimentación y del suelo en que se apoya, para cualquier tipo de vibración no debe ser perjudicial para la operación de la máquina, de los equipos y estructuras vecinas, ni para los operarios. En la tabla siguiente se enumeran algunos de los efectos ocasionados al ser humano.

Tabla IX. **Efectos de las vibraciones en el organismo humano**

Síntomas	Rango de frecuencia (Hz)
Sensación de incomodidad	4-9
Influencia sobre la palabra	13-20
Dolor de cabeza	13-20
Síntomas en mandíbula inferior	6-8
Nudo en la garganta	12-16
Dolor de tórax	4-7
Dolor de abdomen	4-10
Incitación a orinar	10-18
Contracciones musculares	4-8

Fuente: REYES, Oscar. *Peligro vibraciones Cesar Sena Bucaramanga 2011*.

<https://www.slideshare.net/oscarreyesnova/peligro-vibraciones-cesar-sena-bucaramanga-2011>.

Consulta: 18 de enero de 2018.

4.1. **Vida útil de la cimentación**

Una cimentación que soporta carga dinámica y carga estática tiene mayores posibilidades de fallar. Es por esta situación que se debe diseñar de una manera resistente, capaz de soportar cargas por largos periodos de tiempo y proporcionar mayor seguridad a los operarios.

La presencia de fallas observables a simple vista es un indicio de que la cimentación sobrepasado su vida útil, por lo cual se debe proceder a la sustitución completa de la cimentación. Esto con el fin de cuidar la integridad de

los equipos para evitar así daños posteriores que desbalanceen y aumenten sus vibraciones.

El operar con una cimentación que ya presenta este tipo de fallas es un riesgo que en cualquier momento la maquinaria pierda su anclaje y provoque accidentes a los operarios; dan como resultado aumento de costos no solo de una nueva cimentación y anclaje de la maquinaria sino una sanción por la poca seguridad industrial y mantenimiento proporcionados por la empresa.

Un principio básico para extender la vida útil de una cimentación es darle el uso adecuado para el cual fue diseñada; es decir, no sobrepasar sus límites de resistencia; buscan así cero fallas en el sistema de cimentación y montaje de equipos industriales.

4.2. Reducción de vibración

Durante el funcionamiento, las máquinas de gran tamaño y peso ocasionan sacudidas que causan ruidos y vibraciones las cuales, a su vez, repercuten en los procesos de fabricación y calidad cercanos, en las personas que habitan las zonas próximas y en el medio ambiente.

Cuando una cimentación es diseñada con una frecuencia natural numéricamente más pequeña que la frecuencia de operación de la maquinaria, las amplitudes de vibración deben ser revisadas para asegurar que la amplitud excesiva no ocurra durante el tiempo que esté funcionando la maquinaria.

Las causas de la generación de vibraciones en maquinaria se atribuyen a las siguientes causas:

- El desbalance: constituye una de las fuentes más comunes en el problema de vibración en maquinaria, siendo la causa principal en los casos de vibraciones excesivas.
- Desalineamiento: esto ocurre en diferentes partes de una máquina rotatoria. Por ejemplo, puede estar presente entre dos rodamientos o en un par de ruedas dentadas. No obstante, se presenta con mayor frecuencia en el acople de dos máquinas, o sea, entre la unidad conductora y la unidad conducida.

En toda máquina existen imperfecciones, al momento de construir y montar, que originan vibraciones. La existencia de averías en algún elemento de la maquinaria provoca la aparición de fuerzas de origen eléctrico, mecánico o debido al proceso de la máquina.

Una máquina eléctrica sufre de todos los defectos de otra maquinaria rotativa, con la complicación adicional de efectos puramente eléctricos. La constricción magnética o magnetostricción es la deformación de un material magnético en presencia de un campo magnético, y causa vibración a 120 Hz en todos los aparatos eléctricos como motores, generadores, transformadores, etc.

Las vibraciones de generadores pueden viajar a través de toda la estructura del edificio y causar muchas molestias a los habitantes o trabajadores de éste. De manera similar, un compresor grande montado en el techo de una fábrica puede crear un gran número de vibraciones durante sus intermitentes encendidos y apagados.

Mientras se puedan reducir las vibraciones de estas máquinas al seguir los esquemas de mantenimiento adecuados, el hecho es que eventualmente

cuando las máquinas como generadores, compresores, motores y bombas, etc. vayan teniendo más años de funcionamiento, los costos de mantenimiento incrementarán y el tiempo sin actividad por este mismo factor. En este escenario, las vibraciones no se pueden evitar en su totalidad, pero sí disminuir.

Existen varias almohadillas para máquinas disponibles en el mercado con el único propósito de disminuir el sonido y la vibración. Las vibraciones pueden dañar en gran medida las partes internas como los rodamientos, los engranajes y ejes de algunas máquinas. Por lo tanto, es primordial bloquear todas las altas vibraciones generadas por estas máquinas.

Las almohadillas están fabricadas con materiales para absorber la vibración como resortes, hule, corcho o neopreno para disminuir de manera eficaz la vibración. La ventaja de estas almohadillas antivibración es que aíslan efectivamente todas las vibraciones que se producen por las máquinas. De este modo, las vibraciones generadas por la máquina no pasan de las almohadillas antivibración, controlan, absorben y aíslan muy bien las vibraciones nocivas y molestas que se transmiten de estas máquinas.

Durante el funcionamiento, las máquinas originan vibraciones en los cuerpos sólidos y en los componentes de la maquinaria.

- Peligros y efectos indirectos de vibración en maquinaria

La utilización de muchos de los equipos y herramientas que originan vibración pueden ser el origen de otros riesgos:

- Contactos eléctricos directos o indirectos (en el caso de máquinas o herramientas eléctricas).

- Riesgos ergonómicos (fatiga física, posturas forzadas, movimientos repetitivos, manipulación de cargas).
- Cortes y/o golpes, tanto con el propio equipo como en el caso del material de trabajo.
- Proyección de fragmentos o partículas (dependiendo del equipo/herramienta).
- Ruido.

4.3. Costos de mantenimiento

Los costos por pérdidas de producción a causa de las fallas de los equipos, por disminución de la tasa de producción y pérdidas por fallas en la calidad producto al mal funcionamiento de los equipos. Para tomar decisiones basadas en la estructura de costos, se debe tener en cuenta los componentes que la dividen: costos que tienen relación directa con operaciones de mantenimiento, costo global y costo de mantenimiento

Todo proyecto debe ir sustentado de una planificación, donde la visión, los objetivos y las estrategias reflejen el entorno de la inversión y las expectativas de la corporación con dicho proyecto. Los costos de mantenimiento no deben quedarse de lado, ya que permitirán minimizar las fallas, prolongar la vida útil de los equipos, reducir los tiempos de reparación.

El diseño del plan de mantenimiento lo determinan los aspectos comerciales y financieros de la empresa, así como los compromisos con los clientes.

Dicho plan coordina el orden de las actividades a ejecutar, especifica los procedimientos de control y la exactitud del trabajo a realizar. Los trabajos se asignan a grupos específicos, con tiempos de iniciación y culminación, que tratan conservar el balance entre la capacidad del equipo y la carga de trabajo, optimizando en la medida posible, los costos asociados a este.

Son los gastos causados por las acciones ejecutadas para conservar los equipos o maquinas en buen estado y funcionamiento o restáuralos a un estado específico de funcionalidad.

- Importancia de los costos de mantenimiento

El mantenimiento puede ser considerado: un gasto, una inversión o un seguro de producción. Las empresas organizadas conciben los costos de mantenimiento y manifiestan interés por dicho costo y su crecimiento basados en el bienestar y la funcionabilidad de la planta y los equipos utilizados en la producción.

El manejo adecuado de los costos de mantenimiento puede discrepar entre la competitividad y la ruina de la empresa que debe prepararse para el reto de nuevos conocimientos y procesos.

- Costos directos

Relacionados con el rendimiento y mientras mayor es la conservación de los equipos los precios serán menores. Dependen del tiempo de empleo del equipo y la atención que el mismo requiere. Comprende:

- Mano de obra directa y contratada
 - Materiales y repuestos
 - Utilización de herramientas y equipos
 - Contratos de revisiones e intervenciones
- Costos indirectos

Son aquellos gastos que no pueden atribuirse directamente a una operación específica. La supervisión, instalaciones, almacén, servicio de taller, administración, servicios públicos.

- Costos financieros

Son gastos ocasionados por el valor de los repuestos y por las amortizaciones de los equipos. Los costos por recambios para realizar reparaciones son un desembolso que limita la liquidez de la empresa. Esta inversión la hace la empresa para mantener la capacidad productiva, sin embargo, con el tiempo se convierte en un gasto que no genera beneficio alguno para la empresa.

- Costos de tiempos perdidos

Son aquellos que no están relacionados con mantenimiento, pero se originan de alguna forma por el mismo. Cuando una máquina queda fuera de servicio, se incurre en costos debido a las horas de trabajo de dicha máquina. Que ocasiona bajas en la capacidad productiva, en este caso se necesita información para manejar los tiempos perdidos y necesidad de materiales, de esta manera evitar los costos que ocasionan: Paros en la producción,

desperdicios de materia prima, fallas en la calidad del producto, demoras en las entregas, etc.

- Mantenimiento de las máquinas y herramientas en buenas condiciones.
- Las vibraciones generadas pueden variar en función del estado de mantenimiento de los equipos de trabajo durante su funcionamiento. Por lo tanto, un mantenimiento regular según las instrucciones del fabricante permitirá mantener los valores de vibración.
- Se recomienda establecer un control específico relativo a las vibraciones dentro del mantenimiento de los equipos, atendiendo entre otros aspectos, al manual de instrucciones del equipo, al asesoramiento técnico de la entidad fabricante y a la realización de una comparativa entre los niveles de vibraciones actuales con el valor de la vibración en el momento de la puesta en funcionamiento del equipo.
- Puede ser necesario en cimentaciones revisar el estado de rodamientos, motores, correas, piñones y otros elementos de transmisión. En los rodamientos de las líneas instalar sensores que disponen de un acelerómetro de manera que cuando los rodamientos empiecen a causar problemas de vibraciones, alerten al personal de mantenimiento para que proceda a su sustitución.

CONCLUSIONES

1. Se definió de manera exacta los ensayos de laboratorio más recomendados para cimentación de maquinaria con el fin de auxiliar el curso de Montaje y mantenimiento de equipo.
2. Se dispone la temática impartida en este curso sobre la cimentación de maquinaria, que abarca el diseño de mezcla y la elección del tipo de anclaje.
3. Se categorizaron los tipos de maquinaria de acuerdo a la vibración que originan, así como los diferentes tipos de cimentación que se seleccionará de acuerdo a la vibración que origine la máquina y las características del lugar donde se montará el equipo.
4. Se enumera los ensayos más recomendados para estructuras que soportan cargas dinámicas; inician desde la clasificación del suelo y su valor soporte, calidad de los agregados de concreto y resistencia final de una cimentación. Cada ensayo cuenta con su respectivo procedimiento.
5. Se determinan las ventajas de realizar una cimentación que toman en cuenta las propiedades del suelo y del equipo; aumenta la vida útil de la cimentación mediante la reducción de vibración y su mantenimiento.

RECOMENDACIONES

1. Crear un manual de ensayos de cimentación.
2. Investigar contenido actual sobre cimentación de las máquinas más utilizadas en la industria.
3. Categorizar los tipos de maquinaria y su correspondiente cimentación.
4. Crear un laboratorio que apoye al curso de Montaje y mantenimiento de equipo.
5. Determinar los costos en que se incurren por una mala cimentación.

BIBLIOGRAFÍA

1. BRAN, José; GONZÁLEZ, Rafael; ORTIZ, Hugo. *Métodos de ensayo para la determinación de las principales propiedades dinámicas de los suelos de El Salvador*. Tesis de pregrado. Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería, 2009. 130 p.
2. GUALDRÓN PERNÍA, Karla Andreina. *Estudio de los riesgos técnicos aplicados al diseño y construcción de cimentaciones para máquinas*. Tesis de maestría. Universidad Politécnica de Madrid, Facultad de Ingeniería, 2013. 148 p.
3. HERNÁNDEZ CANALES, Juan Carlos. *Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y sus métodos de medición*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 88 p.
4. REYNA VALDIVIA, Daniel Enrique. *Criterios de diseño para cimentación de maquinaria*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Aguascalientes, Facultad de Ingeniería, 2009. 150 p.

ANEXOS

Anexo 1. **Norma Técnica NTG – 41017h1 guatemalteca**

Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.

Esta norma es esencialmente equivalente a la norma ASTM C39/C39. Especímenes cilíndricos de concreto.

- Resumen del método de ensayo
 - Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla. La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por el área de la sección transversal del espécimen.

- Importancia y uso
 - Se debe tener cuidado en la interpretación del significado de las determinaciones de resistencia a la compresión por este método de ensayo, dado que la resistencia no es una propiedad fundamental o intrínseca del concreto hecho de materiales dados. Los valores obtenidos dependerán del tamaño y la forma del espécimen, la dosificación, procedimientos de mezclado, los métodos de muestreo, moldeo, fabricación y de la edad, temperatura, y las condiciones de humedad durante el curado.

Continuación del anexo 1.

- Este método de ensayo es usado para determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos preparados y curados de acuerdo con las prácticas C 31/C 31M, C 192/C 192M, C 617, y C 1231/C 1231M y los métodos de ensayo C 42/C 42M y C 873.
- Los resultados de este método de ensayo son usados como base para el control de calidad de las operaciones de dosificación, mezclado, y colocación del concreto; determinación del cumplimiento de las especificaciones; control para la evaluación de la efectividad de aditivos; y usos similares.
- El individuo que ensaye los cilindros de concreto para el ensayo de aceptación debe cumplir los requisitos de técnico de laboratorio de concreto de la Práctica C 1077, incluyendo un examen donde se requiera una demostración del desempeño que es evaluado por un examinador independiente.

Fuente: Normas COGUANOR, Guatemala.

Anexo 2. **Cimentaciones para máquinas eléctricas**

Una máquina eléctrica es un dispositivo capaz de transformar cualquier forma de energía en energía eléctrica o a la inversa y también se incluyen en esta definición las máquinas que transforman la electricidad en la misma forma de energía, pero con una presentación distinta más conveniente a su transporte o utilización. Se clasifican en tres grandes grupos: generadores, motores y transformadores.

Los generadores transforman energía mecánica en eléctrica, mientras que los motores transforman la energía eléctrica en mecánica haciendo girar un eje. El motor se puede clasificar en motor de corriente continua o motor de corriente alterna. Los transformadores y convertidores conservan la forma de la energía, pero transforman sus características.

Una máquina eléctrica tiene un circuito magnético y dos circuitos eléctricos, normalmente uno de los circuitos eléctricos se llama excitación, porque al ser recorrido por una corriente eléctrica produce los amperevueltas necesarios para crear el flujo establecido en el conjunto de la máquina.

Desde una visión mecánica, las máquinas eléctricas se pueden clasificar en rotativas y estáticas. Las máquinas rotativas están provistas de partes giratorias, como las dinamos, alternadores, motores. Las máquinas estáticas no disponen de partes móviles, como los transformadores.

En las máquinas rotativas hay una parte fija llamada estator y una parte móvil llamada rotor. Normalmente el rotor gira en el interior del estator. Al espacio de aire existente entre ambos se le denomina entrehierro. Los motores y generadores eléctricos son el ejemplo más simple de una máquina rotativa.

Continuación del anexo 2.

La cimentación es con base en la vibración que se suscite en la intervención de los movimientos mecánicos y movimientos de elementos eléctricos, los cuales deben aislar la estructura de un edificio para no interferir con las cargas sobre los cimientos.

Fuente: *Curso de diseño de máquinas*. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.