

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**“Estudio para la actualización, restauración,
reforzamiento y recuperación del Hospital
Nacional Docente Madre Niño San Bartolomé”**



TESIS: PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR: MASITAS CASTILLO, ALEJANDRO
GERMÁN

LIMA-PERÚ

Año 2012

INDICE

INTRODUCCIÓN	10
1. UBICACIÓN	12
2. HISTORIA Y ANTECEDENTES	12
OBJETIVOS Y MÉTODOS DE TRABAJO.....	8
Objetivo general	8
Objetivos específicos	9
Metodología	9
2.1 ESTRUCTURACIÓN.....	11
RIGIDEZ.....	11
RESISTENCIA	11
DUCTILIDAD	12
3.1 ARQUITECTÓNICA	14
Propuesta inicial	14
Características funcionales y formales.....	14
Aspecto constructivo.....	14
Descripción:	15
DESCRIPCIÓN DE LOS PISOS:.....	16
ESTRUCTURA	18
DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES	19
VULNERABILIDAD SISMICA DE LA EDIFICACIÓN.....	20
RESULTADOS DE ESCLEROMETRÍA	21
ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	24
METODO DE ANÁLISIS	24
PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	26
ESTADO ACTUAL DE LA EDIFICACIÓN.....	26
CARGAS VERTICALES	27
ANÁLISIS	27
FILOSOFÍA Y PRINCIPIO DEL DISEÑO SISMORESISTENTE.....	27

ANÁLISIS DE LA EDIFICACIÓN	28
DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y SOLUCIÓN	31
Planta General	34
COSTO DE LA EDIFICACIÓN PROYECTADA	34
1. PANEL FOTOGRAFICO	39
2. PLANOS	42
3. CALCULOS.....	43
NOMENCLATURA	43
PARÁMETROS DE SITIO	44
Zonificación	44
Condiciones Geotectónicas	45
Factor de Amplificación sísmica.....	45
Categoría de las edificaciones.....	45
Sistema estructural	46
Concreto Armado	46
4. COSTO.....	59
PROPUESTA DE PROYECTO	59
5. TEORIA	60
ANÁLISIS ESTÁTICO	61
2.1. ESTADO GENERAL DE ANISOTROPÍA EN MEDIO LINEALMENTE ELÁSTICO	61
2.2. MEDIO CONTINUO ORTOTRÓPICO.....	64
2.3. CONSTANTES ELÁSTICAS EN GENERAL	68
2.4. FORMA DE LA FUNCIÓN DE ENERGÍA DE DEFORMACIÓN	72
2.5. DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS EN UN CUERPO.....	74
2.6. LIMITACIONES DE LA TEORÍA MATEMÁTICA DE LA ELASTICIDAD.	76
BIBLIOGRAFIA	78

Índice de Ilustraciones

Instituto Nacional del cáncer 1945 (Hospital Materno Infantil “San Bartolomé).	
13	
Diseño arquitectónico correspondiente al Estilo Republicano post-guerra.	13
Arq. José Marquina, Ing. Guillermo Payet.	13
Instituto Nacional del cáncer 1960 (Hospital Materno Infantil “San Bartolomé)	6
Instituto Nacional del cáncer 1945 (Hospital Materno Infantil “San Bartolomé)	6
Ambientes internos 40’s, cuerpo medico	6
Instituto Nacional del cáncer 1960 (Hospital Materno Infantil “San Bartolomé)	7
Av. Alfonso Ugarte	7
1970	2012 7
1970	2012 8
Hospital Madre niño “San Bartolomé” Av. Alfonzo Ugarte	18
Elevación Av. Alfonso Ugarte	32
Elevación Jirón. Chota	32
Elevación Jirón. Delgado	33
VISTA DESDE LA AVENIDA ALFONSO UGARTE	39
VISTA DESDE EL JIRON CHOTA	39
PORTICO PRINCIPAL DEL HOSPITAL	40
VISTA DESDE EL JIRON CHOTA	40
VISTAS DE AMBAS ALAS DE LA EDIFICACION EN FORMA DE “C”	
41	
ANTIGUA PLAZUELA TRAIDA DESDE EL ANTIGUO HOSPITAL UBICADO EN BARRIOS ALTOS	41
Vista frontal Edificio principal “C”	42
Vista de perfil de la edificación principal “C”	42
Figura 2.1 Punto P referido al sistema coordenado cartesiano	123 61
Fig 2.2: Sólido referido a un sistema coordenado cartesiano	123 64
Figura2.4	75

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Hospital Nacional Madre Niño “San Bartolomé”

INTRODUCCIÓN

El Hospital San Bartolomé es una institución que tiene como misión brindar servicios de salud especializados de alta calidad y de carácter integral dirigidos a la mujer, al neonato, niño y adolescente, que proceden de cualquier parte del ámbito nacional.

Un servicio que se sustenta en dar calidad, equidad y eficacia. Aportando a la sociedad con la docencia e investigación que en forma permanente realizan.

En el ámbito local se observa importantes sectores sociales en situación de pobreza que evidencian precarias condiciones de vida y que requieren de atenciones especializadas de salud que no son adecuadamente atendidas.

Por lo expuesto, es de importancia prioritaria la optimización y ampliación de la cobertura de atención del Hospital Nacional Docente Madre “Niño San Bartolomé” sin interrumpir las funciones del hospital y sin modificar la Arquitectura por considerarse Patrimonio cultural.

Es muy importante mencionar que El Edificio del Hospital Materno Infantil “San Bartolomé” se integra muy bien al entorno paisajístico que la rodea. Su diseño interior plantea cubrir luces relativamente cortas en concreto armado usando un sistema aporticado ordenado.

Históricamente hablando, en la mitad del siglo pasado, los requisitos de cubrir grandes luces y áreas, llevó a los Ingenieros a plantear otro tipo de Estructuras: Estructuras de Autosoporte o Estructuras Tipo Cáscara, entre las que se encuentran los Paraboloides, los Elipsoides, los Hiperboloides, las Bóvedas, etc. En esos años se construyó en Francia el Mercado de Du Pont; en Alemania, los almacenes de Hamburgo con la Bóveda Zeiss. En el Perú se construyó, además de las Bóveda del Hall Central del Edificio Anselmo Barreto, el Paraboloide de las Universidad Nacional de Ingeniería que en aquellos años se llamaba Escuela de Ingeniería, que albergó a la sección de Estructuras de la Facultad de Ingeniería

Civil; muchos Hiperboloides invertidos se construyeron en los Balnearios de Ancón y Santa Rosa, etc.

1. UBICACIÓN

El Hospital Docente Madre Niño San Bartolomé se encuentra ubicado en la cuadra 8 de la Avenida Alfonso Ugarte, en el Cercado de Lima, Provincia de Lima. El Edificio que alberga el Hospital tiene una antigüedad de 72 años.

El acceso al Hospital, puede realizarse a través de la Avenida Alfonso Ugarte – Cuadra 8, o por la puerta lateral del Jr, Chota. El edificio tiene un área aproximada de 5000m² y un estacionamiento de 1430.74m².

2. HISTORIA Y ANTECEDENTES

La historia de esta edificación se remonta hacia el 11 de mayo de 1939, cuando se promulgó la Ley N° 8892 que estableció la creación del “Instituto Nacional del Cáncer”, cuyas actividades primigenias se orientaron a la prevención y asistencia social anticancerosa, asistencia especializada en sus consultorios externos y de hospitalización, y como centro de estudios y enseñanza superior universitaria sobre cáncer.

El 13 de mayo de 1939, la salud pública peruana dio un gran salto en su desarrollo. En medio de un clima de entusiasmo y esperanza por parte de miles de personas afectadas por el cáncer, se colocó la primera piedra de un hospital dedicado exclusivamente a la cura de dicha enfermedad. Esta sede se ubicó en la céntrica Av. Alfonso Ugarte N° 825, en el Cercado de Lima (hoy funciona ahí el Hospital San Bartolomé).

Posteriormente, el 4 de diciembre de ese mismo año, fue inaugurado de manera oficial, iniciándose de este modo el camino de la ciencia oncológica en el Perú.

Por aquellos días los destinos del país eran conducidos por el general Oscar R. Benavides, mientras que en el Ministerio de Salud y Provisión Social se encontraba el reconocido Dr. Guillermo Almenara Irigoyen.

De otro lado, el antiguo edificio Hospital Militar San Bartolomé en los Barrios Altos fue confiado al Ministerio de Salud, el cual lo destinó para la atención del llamado binomio madre-niño. Esta segunda transformación republicana del objetivo institucional, ha generado la actual denominación de **Hospital Materno Infantil San Bartolomé**. Con este nombre, la institución se trasladó para continuar sus funciones, a partir de 1988, al edificio de la octava cuadra de la avenida Alfonso Ugarte. Ese local fue construido en 1939 y fue utilizado por el Instituto de Enfermedades Neoplásicas hasta 1988.



Instituto Nacional del cáncer 1945 (Hospital Materno Infantil “San Bartolomé).

Diseño arquitectónico correspondiente al Estilo Republicano post-guerra.

Arq. José Marquina, Ing. Guillermo Payet.



Instituto Nacional del cáncer 1960 (Hospital Materno Infantil "San Bartolomé")



Instituto Nacional del cáncer 1945 (Hospital Materno Infantil "San Bartolomé")

Ambientes internos 40's, cuerpo medico



Instituto Nacional del cáncer 1960 (Hospital Materno Infantil “San Bartolomé”)
Av. Alfonso Ugarte



1970



2012



1970



2012

OBJETIVOS Y MÉTODOS DE TRABAJO

Objetivo general

Mejorar la capacidad de atención del establecimiento de salud. La optimización y ampliación de la cobertura de atención del Hospital Nacional Docente Madre “Niño San Bartolomé” sin interrumpir las funciones del hospital y sin modificar la Arquitectura por considerarse Monumento histórico de la Nación.

Objetivos específicos

Evaluación la edificación principal y más antigua para poder determinar su comportamiento estructural.

Encontrar una solución para que el hospital continúe trabajando sin sufrir interrupciones en su labor.

Redistribución de ambientes dentro del centro hospitalario, ampliar la cobertura de atención.

Metodología

La presente investigación es de carácter técnico donde se planteara la teórica y práctica aplicada en el modelamiento estructural.

La metodología consiste en:

Visita y recolección de datos del Hospital Nacional Docente Madre Niño San Bartolomé.

Diseño de los planos del hospital.

Análisis de la edificación mediante el análisis estructural.

Análisis de los resultados.

Conclusión de la evaluación del reforzamiento.

CAPITULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

Hospital Nacional Madre Niño “San Bartolomé”

2.1 ESTRUCTURACIÓN

La premisa fundamental del diseño en ingeniería es el de lograr el balance entre la seguridad y la economía, luego, el primer propósito del diseño resistente es el evitar pérdidas de vida y luego el minimizar daños en la propiedad.

A través de un buen diseño sismo resistente debe probarse a las estructuras de las cualidades estructurales y dinámicas de manera que tengan niveles de respuesta adecuada ante sismos de diversas intensidades y características. La experiencia ha demostrado que dichas cualidades tienen que ver su configuración, su rigidez, su resistencia y con ductilidad.

RIGIDEZ

Los desplazamientos laterales (de traslación y rotación) dependen de la suma de rigideces de los elementos resistentes y también de la magnitud de las fuerzas laterales; los desplazamientos deben limitarse por razones estructurales, de confort y de protección de los elementos no estructurales.

RESISTENCIA

La resistencia lateral se refiere a la capacidad resistente horizontal que es capaz de desarrollar una estructura antes de colapsar.

DUCTILIDAD

La ductilidad refleja la capacidad de absorción y disipación de energía que una estructura puede ofrecer antes de colapsar. Las estructuras deben, de una u otra forma disipar la energía que el movimiento del suelo le logra traspasar durante un sismo. La forma más efectiva de llevar a cabo esta tarea durante sismos de gran severidad es deformándose lateralmente y experimentando deterioros locales del material en los que se convierte energía en calor. Por cierto estos deterioros implican daño interno. Si durante este proceso, no se alcanza a desarrollar la deformación horizontal que lleva la estructura a su colapso, ella sobrevivirá el evento sísmico; en caso contrario, colapsará. La deformación máxima que el sismo severo le demanda a una estructura se expresa a través de la ductilidad que es el cociente entre la deformación máxima y una deformación horizontal de referencia (deformación de fluencia).

CAPITULO III

CARACTERÍSTICAS DE LA EDIFICACIÓN

Hospital Nacional Madre Niño “San Bartolomé”

3.1 ARQUITECTÓNICA

Propuesta inicial

Algunas matizan propuestas diversas, como aquellas que recurriendo a cánones clásicos de composición (volúmenes simétricos, gran portada central con columnas y escalinata, composición de basamento cuerpo y coronamiento, etc.) prescindían totalmente del lenguaje clásico de la arquitectura (columnas, entablamentos, arcos) para optar por uno más bien geométrico y "racionalista" como en el Instituto del Cáncer, de Guillermo Payet (1938),

La propuesta arquitectónica se basa en una edificación compuesta por 5 pisos (compuesta por tres bloques) de los cuales son destinados a sala de operaciones, laboratorios, consultorios, administración, oficinas, hospedaje de pacientes y hospedaje de personal médico de turno.

Características funcionales y formales.

“El hospital”, cuyas actividades primigenias se orientaron a la prevención y asistencia social anticancerosa, asistencia especializada en sus consultorios externos y de hospitalización, y como centro de estudios y enseñanza superior universitaria sobre cáncer.

Aspecto constructivo

Una edificación que abandono las técnicas constructivas como materiales tradicionales y que da inicio al desarrollo moderno de Lima en los 40's.

Con respecto al aspecto constructivo por un lado, lo tradicional de siglos de arquitectura, por la plasticidad del adobe, la flexibilidad de la quincha y lo maleable del mismo ladrillo; y del otro, la técnica rigurosa, el cálculo, la rigidez del concreto. La variedad en la construcción coexistirá en el uso de ambos materiales (tradicionales y modernos) hasta principios de la década 1930-1939, para que después abandonar las técnicas constructivas y materiales tradicionales.

Edificio principal (color naranja) 5niveles+Sotano Forma de “C”

Edificio 2 (color amarillo) 3niveles+Sotano

Edificio 3 (color celeste) 3niveles+Sotano

DESCRIPCIÓN DE LOS PISOS:

SOTANO

Comprende los siguientes ambientes:

- rampa
- cocina
- incineración (ambiente clausurado)
- oficinas.
- lavandería.
- laboratorios.

PRIMER PISO

Hall, ascensores, escaleras de servicio, oficinas de administración, consultorios médicos, rampa de ingreso de emergencia.

SEGUNDO PISO

Cirugía, consultorios médicos, salas de operaciones, camas, ascensores, escaleras, sala de charlas, hospitalización, quirófanos.

TERCER PISO

Hospitalización, salas, tópicos, jefaturas, aulas de docencia, oficinas, salas de reuniones,

CUARTO PISO

Sala de hospitalización, aulas de docencia, sala de reuniones, oficinas, departamentos médicos,

QUINTO PISO

Hall, dormitorios, necropsia, depósitos, secretarías, oficinas.

AZOTEA

Hall, cuarto de máquinas, tanque de agua.

Áreas:

Edificio en forma de “C” = 1580.73 m²

Edificio Central = 555.56 m²

Estacionamiento = 1430.74 m²

Terreno de actuales edificaciones en “C” = 4349.28 m²

El Hospital tiene 3 bloques. El Bloque Principal y originalmente construido, tiene 5 Niveles y sótano. No hay juntas de construcción visibles. Los otros 2 bloques existentes, cuentan con 3 niveles y sótano.





Hospital Madre niño “San Bartolomé” Av. Alfonso Ugarte

ESTRUCTURA

ESTRUCTURA Y SISTEMA CONSTRUCTIVO

Teniendo en consideración que el proyecto se encuentra en suelo estable, fue diseñado con el sistema aporticado que en su periodo fue innovador. La tabiquería está compuesta por albañilería confinada.

No hay referencias gráficas del cálculo estructural, asumiendo que las técnicas de diseño fueron realizados con métodos estáticos y de servicio.

Es muy importante mencionar que la edificación usa un sistema aporticado, fue diseñado con el sistema aporticado cuando en su periodo se desarrollaba grandes luces con el sistema cascara o auto-soporte.

Una edificación que abandono las técnicas constructivas y materiales tradicionales y que da inicio al desarrollo moderno de Lima.

Con respecto al aspecto constructivo por un lado, lo tradicional de siglos de arquitectura, por la plasticidad del adobe, la flexibilidad de la quincha y lo maleable del mismo ladrillo; y del otro, la técnica rigurosa, el cálculo, la rigidez del concreto. La variedad en la construcción coexistirá en el uso de ambos

materiales (tradicionales y modernos) hasta principios de la década 1930-1939, para que después abandonar las técnicas constructivas y materiales tradicionales.

DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Columna

Material: concreto

$$C_{(bxh)} = 0.35 \times 0.35 \text{m}$$

Vigas

Material: concreto

$$V_{(bxh)} = 0.25 \times 0.45 \text{m}$$

Muros

Material: albañilería

Muros de espesores variados y gruesos que a la vez se comportan como muros portantes que le dan la rigidez.

$$e_{(m1)} = 0.15 \text{m}$$

$$e_{(m2)} = 0.20 \text{m}$$

$$e_{(m3)} = 0.25 \text{m}$$

Losa

Material: concreto, ladrillo hueco.

Losa aligerada

$$e_{(losa)} = 0.25 \text{m}$$

MATERIALES

Elementos de concreto (vigas, columnas, ladrillos (muros de albañilería) Losa aligerada (concreto y ladrillo hueco)

VULNERABILIDAD SISMICA DE LA EDIFICACIÓN

Materiales: Elementos de concreto (vigas, columnas, ladrillos (muros de albañilería) Losa aligerada (concreto y ladrillo hueco)

Antigüedad: 72 años

Resistencia: resistencia a las cargas sísmicas en el eje “x” como en el eje “y” serán proporcionada por pórticos.

Rigidez:

Rigidez (piso 1) $x = 412904.09$

Rigidez (piso 1) $y = 299860.07$

Rigidez (piso 2) $x = 639701.48$

Rigidez (piso 2) $y = 639701.48$

Rigidez (piso 3) $x = 1099486.90$

Rigidez (piso 3) $y = 1219430.90$

Rigidez (piso 4) $x = 1159458.90$

Rigidez (piso 4) $y = 1279403.00$

Rigidez (piso 5) $x = 805631.27$

Rigidez (piso 5) $y = 888972.44$

Ductilidad: la ductilidad se le proporciona de acuerdo a qué tipo de sistema estructural le estamos proporcionando a dichos ejes, en la edificación del hospital que es un sistema aporticado en ambas direcciones que proporciona un coeficiente de reducción de 8. Lo que hace que las fuerzas cortantes se reduzcan.

Calidad de obra:

Considerando que la edificación no presenta daños y obteniendo muestras de la calidad de concreto con la cual fue diseñado considera un promedio de $f'c = 175$ kg/cm².

De donde se sustenta de las pruebas de Esclerometría que se ejecutaron con anterioridad en el hospital.

RESULTADOS DE ESCLEROMETRÍA

Se realizaron ensayos de Esclerometría para verificar la calidad del concreto existente. Se seleccionaron 6 columnas y se tomaron 3 puntos por columna en el sótano y 4 niveles superiores, haciendo un total de 90 puntos.

Los resultados son los que se muestran en el cuadro siguiente:

Resultados

Resultados del Ensayo de Esclerometría.

Resistencia	sótano		Primer Piso				Segundo Piso				Tercer Piso			
f'c por elemento	232	351	209	133	190	193	133	218	162	210	226	342	206	216
f'c promedio	292		181				181				245			

Resistencia	Cuarto Piso			
f'c por elemento	211	176	182	340
f'c promedio	227			

Estos resultados pueden interpretarse como una muestra de la uniformidad del material con el que se construyó el Edificio en Estudio en su estado actual con la cual se vincula indirectamente con la resistencia del concreto. Se puede observar que tiene bastante capacidad de resistencia a la compresión. Para fines prácticos de esta Evaluación, y procurando ser conservadores en nuestras hipótesis, podemos decir que la consideración de un Concreto de Calidad $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ es correcta.

CAPITULO IV

ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Hospital Nacional Madre Niño “San Bartolomé”

ANÁLISIS ESTRUCTURAL

El análisis estructural que permite determinar el comportamiento estructural de una edificación será una herramienta importante para dar solución al problema complejo que presenta el caso.

De esta manera se procede a utilizarla de forma práctica, eficiente y sin perjudicar el continuo funcionamiento del hospital.

La solución no solo abarca en dar respuestas estructurales que solo los ingenieros entienden si no dar soluciones para los que la necesiten.

Soluciones que permitan a los arquitectos y otros ingenieros plantear ideas complementarias al proyecto.

La tesis abarca en dar solución a todo nivel con la respuesta estructural que se desarrolla.

Respuestas prácticas, eficientes y que permitan salvar vidas son las necesarias en la actualidad.

El análisis estructural abarca el uso de las propiedades de los materiales del edificio tal cual se encuentra como propiedades del suelo, altura del edificio, tipo de concreto con que se ejecuto y tipo de estructura.

Todas estas propiedades intervienen proporcionando un resultado cercano al comportamiento del edificio tal como se encuentra.

Coefficientes determinados en la norma sismoresistente que ayudan a reflejar resultados necesarios para plantear soluciones.

METODO DE ANÁLISIS

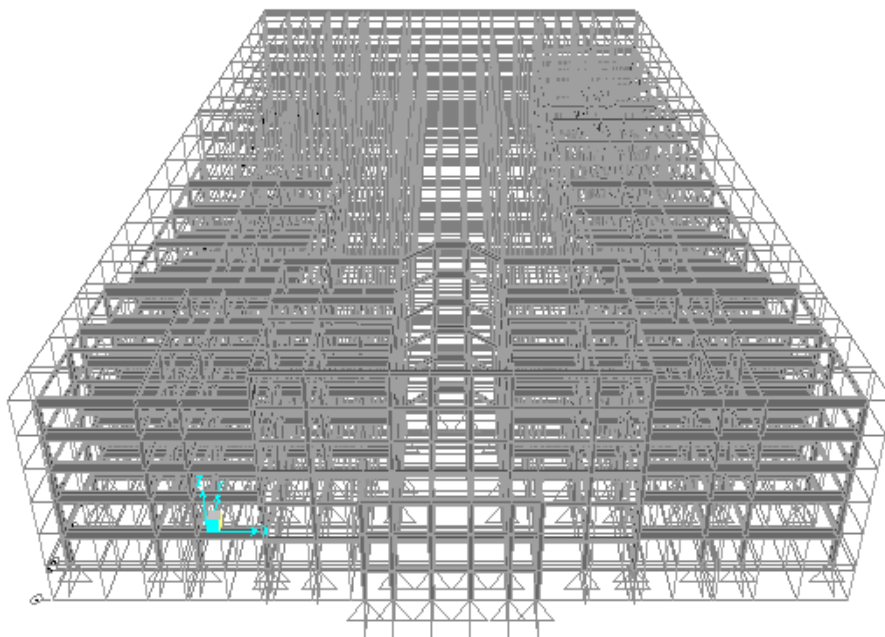
Mediante el análisis estructural se ha evaluado la edificación en forma de “C” aplicando los parámetros de la norma E-030, se procede al cálculo de la rigidez de la estructura. El sistema estructural consiste en pórticos (columnas y vigas) en ambas direcciones por lo cual es un sistema aporticado.

La calidad de concreto asumida en el análisis ($f'_c=175\text{kg/cm}^2$) fue verificada con los valores del análisis de Esclerometría. Estos valores nos permiten aseverar que la estructura no tiene problemas de esfuerzos ante cargas verticales (muerta y viva).

El suelo de soporte es bastante rígido, con un período de vibración de 0.4 s. Para nuestro estudio, se asume un parámetro de suelo de $S=1$ con $T_p=0.4$ s de acuerdo al mapa de Zonificación Geotécnica-Sísmica del CISMID (2004).

Dado el Uso e Importancia de la Edificación, que se considera como una Edificación Esencial que no deberá dejar de funcionar y operar en caso de Desastre ($U=1.5$).

La estructura, a pesar de ser una Edificación Irregular en Planta (en forma de “C”) y estar prohibida de acuerdo a la Normatividad vigente, cumple la Norma de Diseño Sismorresistente E-030 vigente en lo que refiere a Desplazamientos, es decir, los desplazamientos de entrepiso del Hospital al someterlo al Espectro de Diseño de la citada Norma, nos permite asegurar que no se desplazará tanto como para generar daño a Vidas Humanas.



PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Elementos de concreto (vigas, columnas, ladrillos (muros de albañilería) Losa aligerada (concreto y ladrillo hueco). La calidad de concreto a la compresión usada es de $f'c = 175\text{kg/cm}^2$.

ESTADO ACTUAL DE LA EDIFICACIÓN

Una inspección visual en El Hospital San Bartolomé, permite observar una edificación bastante sólida y resistente, abundando las columnas y los muros anchos. Aparentemente, los criterios de diseño existentes en su planeamiento original, consideraron ésta aparente adecuada rigidez.

La estructura en estudio tiene una existencia de aproximadamente 72 años. En general se podría decir que esta estructura ya terminó su “Tiempo de Vida Útil” (probabilísticamente hablando, éste es el término).

En estos años en que se habla de los CRITERIOS DE DISEÑO SISMORRESISTENTES EN EDIFICACIONES, se puede concluir que el Ingeniero Estructural que la Diseño consideró algo importante en la Filosofía de Diseño Actual en pórticos que resistan sismo: “COLUMNA FUERTE Y VIGA DÉBIL”. Es importante mencionar que la Edificación que alberga al Hospital San Bartolomé no podría ser analizado, diseñado y construido con la Normatividad Técnica Vigente, simplemente por ser una Edificación Esencial que no permite irregularidades en su planta

Actualmente el Edificio del Hospital San Bartolomé tiene un estado de fisuración mínimo (considerando su antigüedad), lo que se puede apreciar en ciertos muros y vigas existentes. Es también importante mencionar que el hecho que las vigas se fisuren no es malo, simplemente significa que el acero de flexión está fluyendo.

Los puntos arriba mencionados nacen de la necesidad de respetar la arquitectura planteada.

Se pretende con todo lo escrito líneas arriba, Evaluar el Estado Estructural del Hospital San Bartolomé.

CARGAS VERTICALES

Se considera la carga muerta producida por el peso propio de los elementos, y la carga viva producida por una sobrecarga.

- Reglamento Nacional de Construcciones. Norma Técnica de Edificación E-020 "Cargas". Lima, 1985.
- Reglamento Nacional de Construcciones. Norma Técnica de Edificación E-030 "Diseño Sismo Resistente". Lima, 2003.
- Reglamento Nacional de Construcciones. Norma Técnica de Edificación E-050 "Suelos y Cimentaciones". Lima, 1997.
- Reglamento Nacional de Construcciones. Norma Técnica de Edificación E-060 "Concreto Armado". Lima, 1989.
- Reglamento Nacional de Construcciones. Norma Técnica de Edificación E-070 "Albañilería". Lima, 1989.

ANÁLISIS

FILOSOFÍA Y PRINCIPIO DEL DISEÑO SISMORESISTENTE

La filosofía del diseño sismo resistente consiste en:

- a. Evitar pérdidas de vidas
- b. Asegurar la continuidad de los servicios básicos
- c. Minimizar los daños a la propiedad

ANÁLISIS DE LA EDIFICACIÓN

La estructura, a pesar de ser una edificación irregular (en forma de “C”) y estar prohibida de acuerdo a la Normatividad vigente, se le puede cambiar el uso o ocupación del hospital para que cumpla la norma de diseño sismo resistente E-030 vigente, es decir, los desplazamiento se reducirían en el hospital de tal forma que no generaría daño a vidas humanas.

Se procedió al análisis de la edificación mediante el modelamiento estático, teniendo todas las consideraciones ya descritas encontrando distorsiones de **0.0061 (dirección X-X) y 0.0056 (dirección Y-Y)** menores a los permitidos en la **Norma E-030 de Diseño Sismo resistente (0.007)**, se concluye que la estructura, a pesar de ser IRREGULAR, no tendrá daño significativo durante un evento sísmico extremo, ya que cumple la Normatividad vigente. Aunque los resultados son menores de lo permitido se encuentran muy cercanos a los límites de que la norma establece.

	Desplazamiento lateral permisible		350 S/C
	Δ/hei_x	Δ/hei_y	
3.5	0.006169272	0.00568465	ok $\Delta/hei < 0.007$
3.1	0.003972544	0.00369387	ok $\Delta/hei < 0.007$
3.1	0.003017759	0.00281929	ok $\Delta/hei < 0.007$
3.1	0.002594672	0.00259467	ok $\Delta/hei < 0.007$
3.1	0.001545237	0.00176333	ok $\Delta/hei < 0.007$

En la consideración de la **filosofía sismo resistente** se busca la manera de reducir los resultados de los desplazamientos para tener mayor seguridad al tener en cuenta que es una **edificación esencial**.

Se procedió a un segundo análisis de la misma edificación mediante el modelo estático reduciendo las sobrecargas cambiando el tipo de **USO** de la edificación principal en forma de “C” para poder dar mayor seguridad de que no se genere tanto desplazamiento tanto como para que no se produzcan daños a vidas humanas. El nuevo tipo de USO sería de solo **hospedaje** reduciendo las sobrecargas de 350 kg/m² a 200 kg/m².

Los resultados dan distorsiones **de 0.0048 (dirección X-X) y 0.0044 (dirección Y-Y)** menores a los permitidos en la Norma E-030 de diseño Sismo resistente (0.007), con los resultados se puede determinar que cambiando el tipo le daríamos mayor seguridad a la edificación y darle más tiempo más de vida. Los resultados son satisfactorios y se procede a dar una solución integral al hospital.

	Desplazamiento lateral permisible		200 S/C
	Δ/hei_x	Δ/hei_y	
3.5	0.004863029	0.00440712	ok $\Delta/hei < 0.007$
3.1	0.002794700	0.00253270	ok $\Delta/hei < 0.007$
3.1	0.001895930	0.00170945	ok $\Delta/hei < 0.007$
3.1	0.001498839	0.00149884	ok $\Delta/hei < 0.007$
3.1	0.000526871	0.00073762	ok $\Delta/hei < 0.007$

CAPITULO V

PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN DEL HOSPITAL

Hospital Nacional Madre Niño “San Bartolomé”

DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y SOLUCIÓN

Se concluye que la estructura tendría un mejor comportamiento si es que se procede al cambio de USO. Del resultado se procedería a la organización del hospital con nuevas edificaciones para lograr atender la demanda de pacientes que no es cubierta.

Se plantea una nueva organización del hospital mediante el esquema que se presenta.

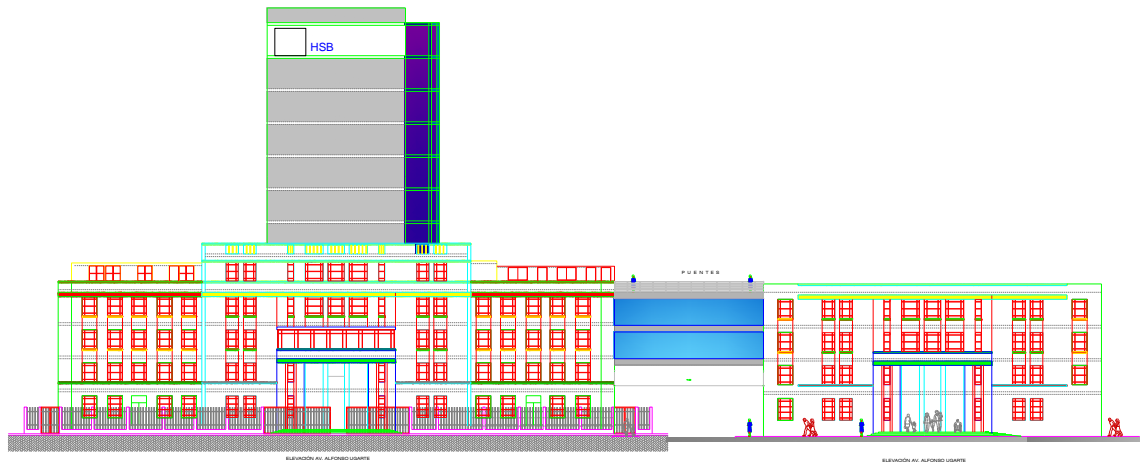
El edificio principal tendría una ocupación o uso destinado a hospedaje, se tomaría la edificación de uso de estacionamiento y farmacia para la construcción de una nueva edificación que albergaría los departamentos que tenía el edificio principal, de esta forma ampliaríamos la cobertura de atención.

Con ambientes diseñados para cada tipo de atención, con estacionamiento subterráneo y mejor atención de emergencia. Manteniendo la arquitectura original en exteriores y teniendo modernas instalaciones internas le daríamos un mejor clima a las atenciones teniendo el mejor hospital ordenado y moderno.

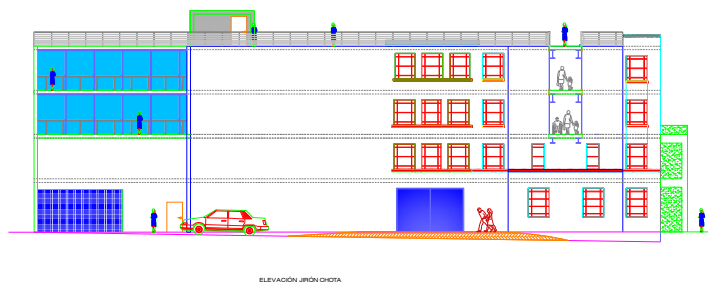
La segunda etapa sería la modernización de las áreas de quirófanos, administración y farmacia que se realizaría en una edificación moderna que sería ubicada en el edificio 2.

La tercera etapa sería la construcción de una edificación destinada a la preparación a los futuros médicos de diferentes universidades como salas dirigidas a programas de orientación para las mujeres gestantes y comedores. Esta nueva edificación sería ubicada en el área del edificio 3.

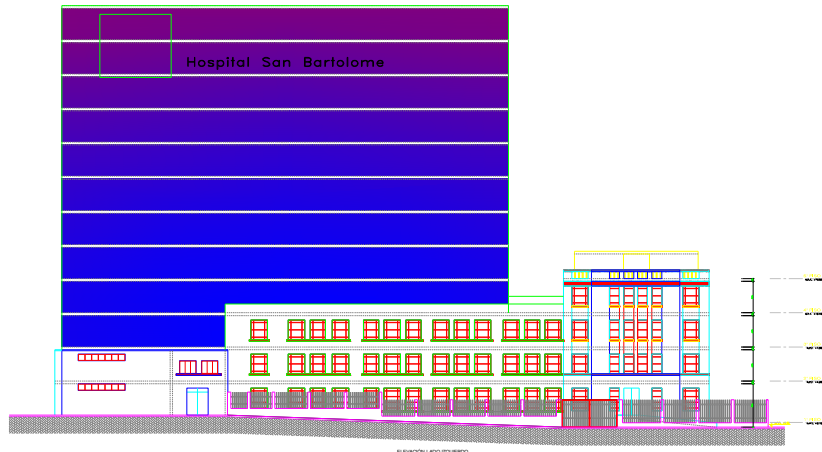
Al ejecutar este procedimiento se le daría mayor atención, calidad y eficacia al hospital que tiene esta misión.



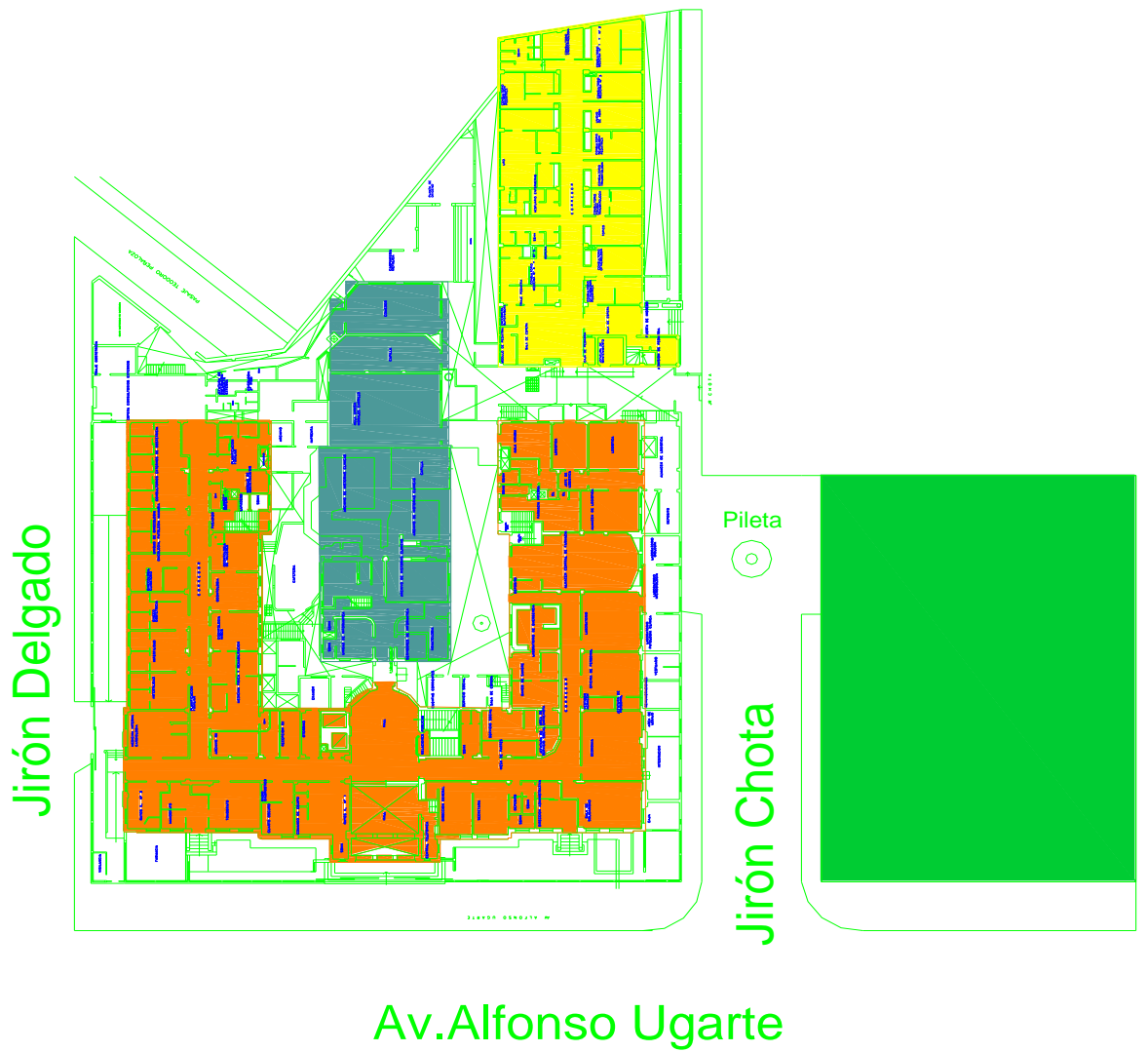
Elevación Av. Alfonso Ugarte



Elevación Jirón. Chota



Elevación Jirón. Delgado



Planta General

- Edificio Principal-Usó Hospedaje. 4 pisos+ Azotea
- Edificio central (color azul).Usó Quirófanos+Administración+Oficinas personal médico. 10 pisos
- Edificio 3 (color amarillo). Usó Educativo programas de charlas madres gestantes+salas para universitarios. 3 pisos
- Edificio 4 (color verde).Usó atención Médica. 4 pisos+salas de espera para sus respectivos areas+2 subterráneos.
- Ingreso de emergencia ambulancias Jirón Chota.
- Apertura nuevas puertas de ingresos por Jirón Chota para ambos edificios.
- Conexión subterránea entre ambos edificios Jirón Chota

COSTO DE LA EDIFICACIÓN PROYECTADA

El costo por metro cuadrado de la edificación que se proyectaría en el estacionamiento constaría de una edificación de 4 niveles.

HOSPITAL SAN BARTOLOME						
HOJA DE PRESUESTO -PROPUESTA						
Cliente	HOSPITAL SAN BARTOLOME					
Proyecto	REMODELACIÓN HOSPITAL SAN BARTOLOME	Nº Ppto.	123-001			
Ubicación	AV.ALFONSO UGARTE	Fecha				
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT	P.U.	PARCIAL	TOTAL
EST	ESTRUCTURAS					S/. 1,579,714.92
ARQ	ARQUITECTURA					S/. 439,508.06
IIIEE-1	INSTALACIONES ELECTRICAS					S/. 57,450.00

IISS-1	INSTALACIONES SANITARIAS					S/. 12,394.00
II	TOTAL					S/. 2,089,066.97

AREA	1364.33	m2
COSTO TOTAL	S/. 2,089,066.97	soles
		soles
costo x m2	S/. 5,093.39	soles/m2

4.86	equipo medico	
232.64		
%	42.98%	
1.500.000	euros	4860000 soles

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Hospital Nacional Madre Niño “San Bartolomé”

El análisis estructural nos permite dar solución para el hospital San Bartolomé dando más tiempo de vida y modernizando un hospital que es patrimonio histórico. Al tener una solución del tipo de uso se plantea un plan maestro que consiste en distintas edificaciones que se conectarían, teniendo la misma arquitectura externa pero teniendo una edificación internamente moderna. De esta forma se continuaría con las atenciones y se ampliaría esta misma con más orden diferenciando cada nivel al tipo de atención que se necesite.

La solución que se muestra es única para este hospital, cada hospital tiene una solución única y optima que logre integrar todos los departamentos que esta contiene.

La solución de cambio de uso es la más conveniente al enfrentarse a una edificación que no se puede modificar (reforzamiento) por ser patrimonio histórico.

En el caso de no considerarse patrimonio histórico sería recomendable reforzar la Estructura de tal manera que se cumpla la Norma de Diseño Sismo resistente vigente, es decir generar juntas de construcción adecuadamente en todo el Hospital, de tal manera que sea convertida en una Edificación con Regularidad en planta.

Debido a que se han encontrado distorsiones de 0.0048 (dirección X-X) y 0.0044 (dirección Y-Y) menores a los permitidos en la Norma E-030 de Diseño Sismo resistente (0.007), se concluye que la estructura, a pesar de ser IRREGULAR, no tendrá daño significativo durante un evento sísmico extremo, ya que cumple la Normatividad vigente.

El edificio del Hospital San Bartolomé tiene distorsiones laterales de entrepiso menores a las distorsiones permitidas por la Norma E-030 por lo que no se espera daños importantes en caso de un sismo severo. Esto se debe a que hay mucha rigidez en los pórticos y muros que conforman la estructura.

CAPITULO VII

ANEXO

Hospital Nacional Madre Niño “San Bartolomé”

1. PANEL FOTOGRAFICO

Hospital Nacional Madre Niño “San Bartolomé”



VISTA DESDE LA AVENIDA ALFONSO UGARTE



VISTA DESDE EL JIRON CHOTA



PORTICO PRINCIPAL DEL HOSPITAL



VISTA DESDE EL JIRON CHOTA



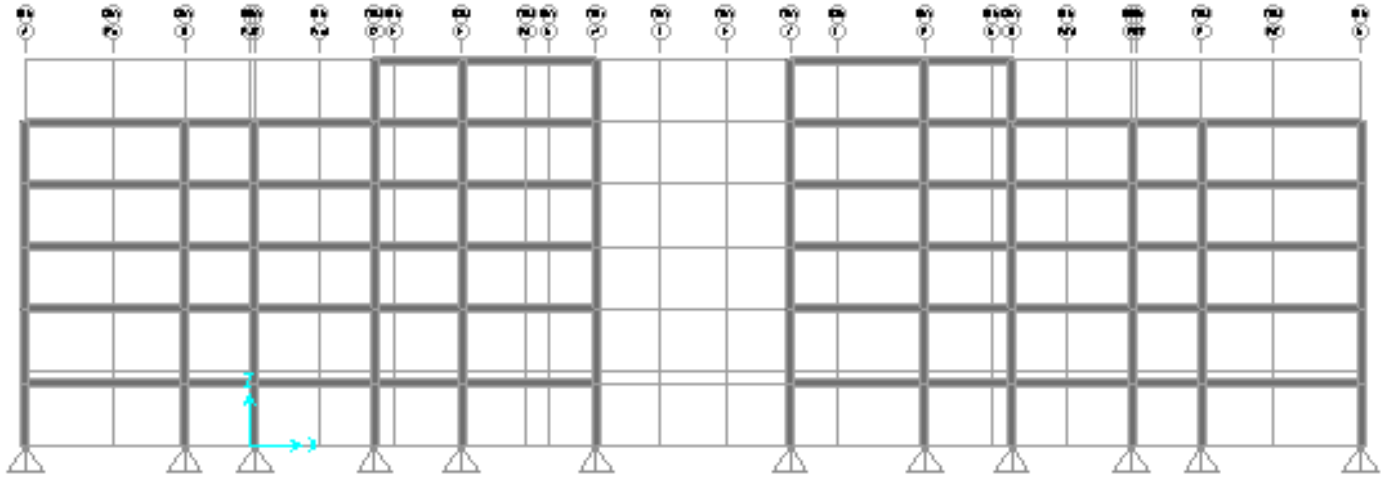
VISTAS DE AMBAS ALAS DE LA EDIFICACION EN FORMA DE “C”



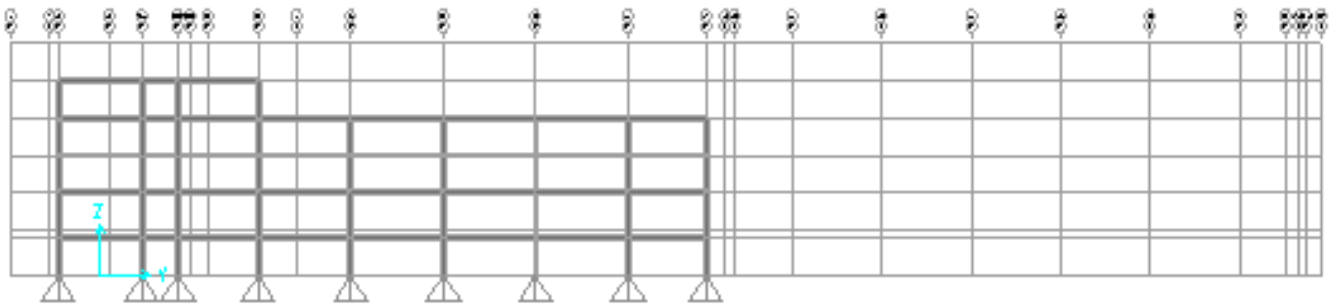
ANTIGUA PLAZUELA TRAJIDA DESDE EL ANTIGUO HOSPITAL
UBICADO EN BARRIOS ALTOS

2. PLANOS

Hospital Nacional Madre Niño “San Bartolomé”



Vista frontal Edificio principal “C”



Vista de perfil de la edificación principal “C”

3. CALCULOS

Hospital Nacional Madre Niño “San Bartolomé”

NOMENCLATURA

Para efecto de la presente tesis, se considera las siguientes nomenclaturas

C = Coeficiente de amplificación sísmica

C_t = coeficiente para estimar el periodo predominante de un edificio

D_i = desplazamiento elástico lateral del nivel “ i ” relativo al suelo

e = Excentricidad accidental

F_a = Fuerza horizontal en la azotea

F_i = Fuerza horizontal en el nivel “ i ”

g = Aceleración de la gravedad

h_i = altura del nivel “ i ” con relación al nivel del terreno

h_{ei} = Altura del entrepiso “ i ”

h_n = altura total de la edificación en metros

n = número de pisos del edificio

N_i = sumatoria de los pesos sobre el nivel “ i ”

P = Pesos total de la edificación

P_i = Peso del nivel “ i ”

R = Coeficiente de reducción de solicitaciones sísmicas

S = Factor del suelo

S_a = Aceleración espectral

T = Periodo fundamental de la estructura para el análisis elástico o periodo de un modo en el análisis dinámico.

T_p = Periodo que define la plataforma del espectro para cada tipo de suelo

U = factor de USO e importancia

V = Fuerza cortante en la base de la estructura

V_i = Fuerza cortante en el entrepiso “i”

Z = Factor de Zona

Δ_i = Desplazamiento relativo del entrepiso “i”

PARÁMETROS DE SITIO

Zonificación

El territorio se considera dividido en tres zonas que se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales y los movimientos sísmicos y la atenuación de estos con la distancia epicentral.

Zona **z**

3 **0,4**

2 0,3

1 0,15

Lima se ubica en la zona 3 de acuerdo al mapa de distribución de acuerdo a la norma sismo resistente.

Condiciones Geotectónicas

Para los efectos de esta norma, los perfiles de suelo se clasifican tomando en cuenta las propiedades mecánicas del suelo, el espesor del estrato, el periodo fundamental de vibración y la velocidad de propagación de las ondas de corte.

Para nuestro estudio, se asume un parámetro de suelo de $S=1$ con $T_p=0.4$ s de acuerdo al mapa de Zonificación Geotécnica-Sísmica del CISMID (2004).

Parámetros del suelo

S1 roca o suelos muy rígidos	0,4	1,0
S2 suelos intermedios	0,6	1,2
S3 suelos flexibles	0,9	1,4
S4 condiciones excepcionales	*	*

Factor de Amplificación sísmica.

De acuerdo a características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica (c) por la siguiente expresión.

$$C = 2,5 \cdot (T_p/T) ; C \leq 2,5$$

T es el periodo.

Este coeficiente se interpreta como el factor de amplificación de la respuesta estructural respecto de la aceleración en el suelo.

Categoría de las edificaciones

El hospital es una edificación esencial que cuya función no debe interrumpirse inmediatamente después que ocurra un sismo.

Categoría	U
Edificaciones Esenciales	1.5
Edificaciones importantes	1.3
Edificaciones comunes	1,0
Edificaciones menores	*

Sistema estructural

Los sistemas estructurales se clasifican en materiales y sistema de estructuración sismoresistente.

Concreto Armado

PORTICOS	8
DUAL	7
MUROS ESTRUCTURALES	6
MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA	4

IRREGULARIDADES SISMICAS DE UNA EDIFICACIÓN

IRREGULARIDAD

IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA

PISO BLANDO

Hi/Hd<0.85 1 **IRREGULAR**

1 PISO	3.5
--------	-----

3.1/3.5 0.89 < 0.85

IRREGULAR

IRREGULARIDAD EN PLANTA FORMA DE C

IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA

DISCONTINUIDAD DE DIAFRAGMA

Aabierta total $A > 0.5A$

Area bruta=	1580.73
Area libre=	723.58

$$723.58 < 0.5 \times 1580.73$$

$$723.58 < 790.365$$

REGULAR

FUERZA CORTANTE BASA

ANALISIS SISMICO PARA 350 S/C

$$V = \frac{Z \times U \times S \times C}{R} \quad (P)$$

R

1 Z = FACTOR DE ZONA

ZONA LIMA = 3

$$Z = 0.4$$

**ESTADO
ACTUAL DE
LA
EDIFICACION**

2 U= FACTOR DE USO E
IMPORTANCIA

EDIFICACIONES
COMUNES

U= 1.5

3 S = FACTOR DE SUELO

S=SUELO 1

Tp= 0.4

S= 1

4 C=COEFICIENTE DE
AMPLIFICACION SISMICA

C= 2.5 $\frac{T_p}{T}$

T= $\frac{H_n}{C_t}$

Hn= 15.90

Ct= 35

T= 0.45 < 0.7 S ok

C= 2.20 < 6 = 2.5 ok

**R=COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE SOLICITACIONES
SISMICAS**

5

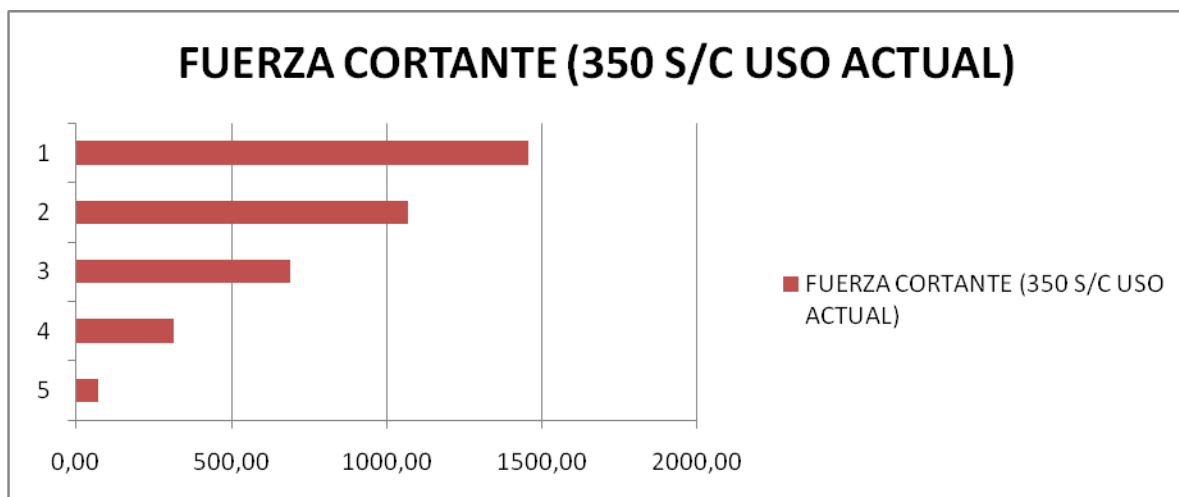
R= 8 pórtico

6 CORTANTE BASAL

V= **1457.58** TONELADAS
350 S/C

S/c con sobre carga 350

PISOS	ALTURAS	ACUM.ALTURAS	PESOS	PIxHI	FI	V	FI(kg)	V	1000	PESOS
5	3.1	15.5	309.1	324.61	70.96	70.96	70956.73	70956.73	5	309109.94
4	3.1	12.4	1109.7	1122.09	245.28	316.24	245278.63	316235.36	4	5548.45
3	3.1	9.3	1690.2	1699.52	371.50	687.73	371499.49	687734.85	3	6760.88
2	3.1	6.2	1735.4	1741.58	380.69	1068.43	380693.33	1068428.18	2	5206.14
1	3.5	3.1	1777.2	1780.30	389.16	1457.58	389156.29	1457584.47	1	3554.39
				6668.10		TONELADAS				



ANÁLISIS DE RIGIDEZ

$$K = \frac{12EI}{h^3}$$

h^3

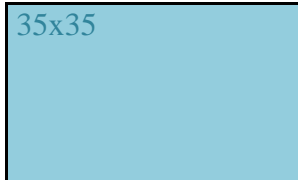
$$E = 15000\sqrt{f_c} = 198431.3483$$

$$f_c = 175 \text{ Kf/cm}^2$$

	H(cm)
L1	350.00
L2	310.00
L3	310.00
L4	310.00
L5	310.00

Momento de Inercia

Sección cuadrada

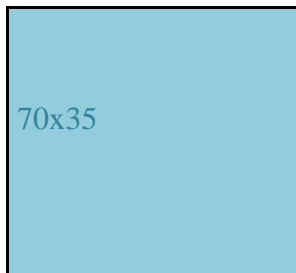


B=	35
H=	35

$I_x = \frac{B \times H^3}{12}$
$I_y = \frac{H \times B^3}{12}$

$I_x = 125052.08 \text{ cm}^4$

$I_y = 125052.08 \text{ cm}^4$

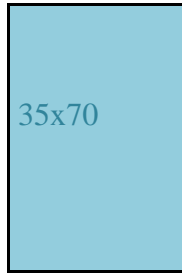


B=	70
H=	35

$I_x = \frac{B \times H^3}{12}$
$I_y = \frac{H \times B^3}{12}$

$I_x = 250104.17 \text{ cm}^4$

$I_y = 1000416.67 \text{ cm}^4$



B=	35
H=	70

I_x=	<u>BxH³</u>
	12
I_y=	<u>HxB³</u>
	12

I_x= 1000416.67 cm⁴

I_y= 250104.17 cm⁴

R_{x1}= 805631.274 Kg/cm

R_{y1}= 888972.441 Kg/cm

R_{x2}= 1159458.93 Kg/cm

R_{y2}= 1279402.95 Kg/cm

R_{x3}= 1099486.91 Kg/cm

R_{y3}= 1219430.94 Kg/cm

R_{x4}= 639701.477 Kg/cm

R_{y4}= 639701.477 Kg/cm

R_{x5}= 419804.094 Kg/cm

R_{y5}= 299860.067 Kg/cm

Desplazamiento lateral permisible

Δ/hei_x	Δ/hei_y		
0.006169272	0.00568465	ok	$\Delta/hei < 0.007$
0.003972544	0.00369387	ok	$\Delta/hei < 0.007$
0.003017759	0.00281929	ok	$\Delta/hei < 0.007$
0.002594672	0.00259467	ok	$\Delta/hei < 0.007$
0.001545237	0.00176333	ok	$\Delta/hei < 0.007$

FUERZA CORTANTE BASA
ANÁLISIS SISMICO PARA 200 S/C

USO
HOSPEDAJE

$$V = \frac{ZxUxSxC}{R} \quad (P)$$

R

1 Z = FACTOR DE ZONA

ZONA LIMA = 3

$$Z = 0.4$$

2 U= FACTOR DE USO E
IMPORTANCIA

EDIFICACIONES COMUNES

$$U = 1.5$$

3 S = FACTOR DE SUELO

S=SUELO 1

Tp= 0.4

S= 1

4 C=COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN SISMICA

C= 2.5 $\frac{T_p}{T}$

T

T= $\frac{H_n}{C_t}$

Ct

Hn= 15.90

Ct= 35

T= 0.45 < 0.7 S ok

C= 2.20 < 6 = 2.5 ok

5 R=COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE SOLICITACIONES SISMICAS

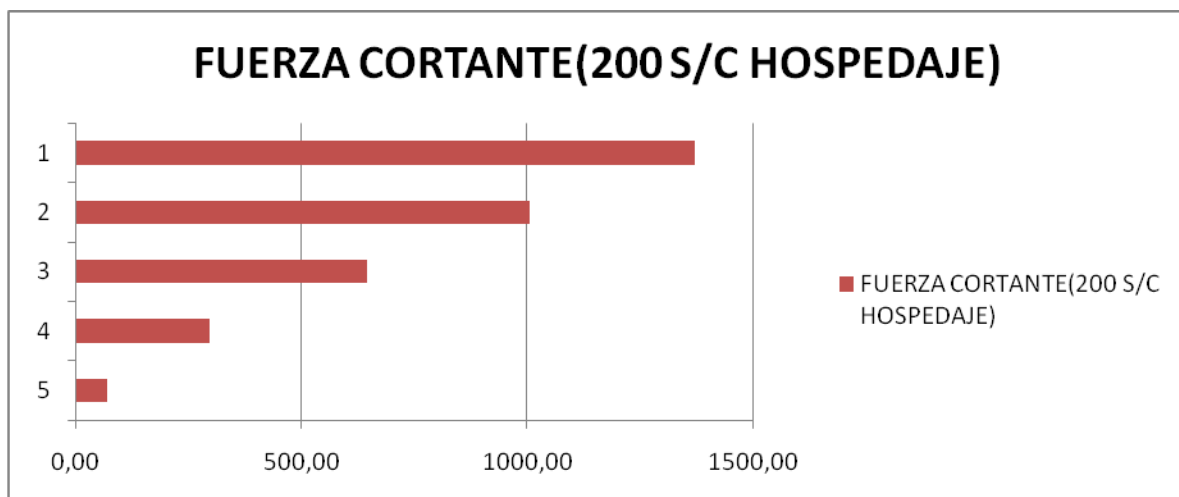
R= 8 pórtico

6 CORTANTE BASAL

$$V = \frac{1370.6266}{200 \text{ S/C}} \text{ TONELADAS}$$

S/C con 200 Kg/cm²

PISOS	ALTURAS	ACUM.ALTURAS	PESOS	PIxHI	FI	V	FI(kg)	V	1000	PESOS
5	3.1	15.5	298.2	313.68	68.57	68.57	68566.64	68566.64	5	298175.88
4	3.1	12.4	1033.7	1046.08	228.66	297.23	228664.40	297231.04	4	5168.42
3	3.1	9.3	1587.2	1596.50	348.98	646.21	348979.70	646210.74	3	6348.79
2	3.1	6.2	1632.9	1639.11	358.29	1004.51	358294.61	1004505.35	2	4898.73
1	3.5	3.1	1674.6	1677.69	366.73	1371.23	366727.65	1371233.00	1	3349.18
				6273.06		TONELADAS				



Rx1= 805631.274 Kg/cm

Ry1= 888972.441 Kg/cm

Rx2= 1159458.93 Kg/cm

Ry2= 1279402.95 Kg/cm

Rx3= 1099486.91 Kg/cm

Ry3= 1219430.94 Kg/cm

Rx4= 639701.477 Kg/cm

Ry4= 639701.477 Kg/cm

Rx5= 419804.094 Kg/cm

Ry5= 299860.067 Kg/cm

Desplazamiento lateral permisible

Δ/hei_x	Δ/hei_y	200 S/C
0.004863029	0.00440712	ok $\Delta/hei < 0.007$
0.002794700	0.00253270	ok $\Delta/hei < 0.007$
0.001895930	0.00170945	ok $\Delta/hei < 0.007$
0.001498839	0.00149884	ok $\Delta/hei < 0.007$
0.000526871	0.00073762	ok $\Delta/hei < 0.007$

ESPECTRO NORMA E-030

Datos:

Factor de Zona (Z)	0.4
Coefficiente de Uso e Importancia (U)	1.5
Factor del Suelo (S)	1.2
Período del Suelo (Tp)	0.4
Factor de reducción (R)	8.00
Aceleración de la Gravedad (g)	9.8

Fórmulas:

$$Sa = \frac{Z \times U \times S}{R} \times C \times g$$

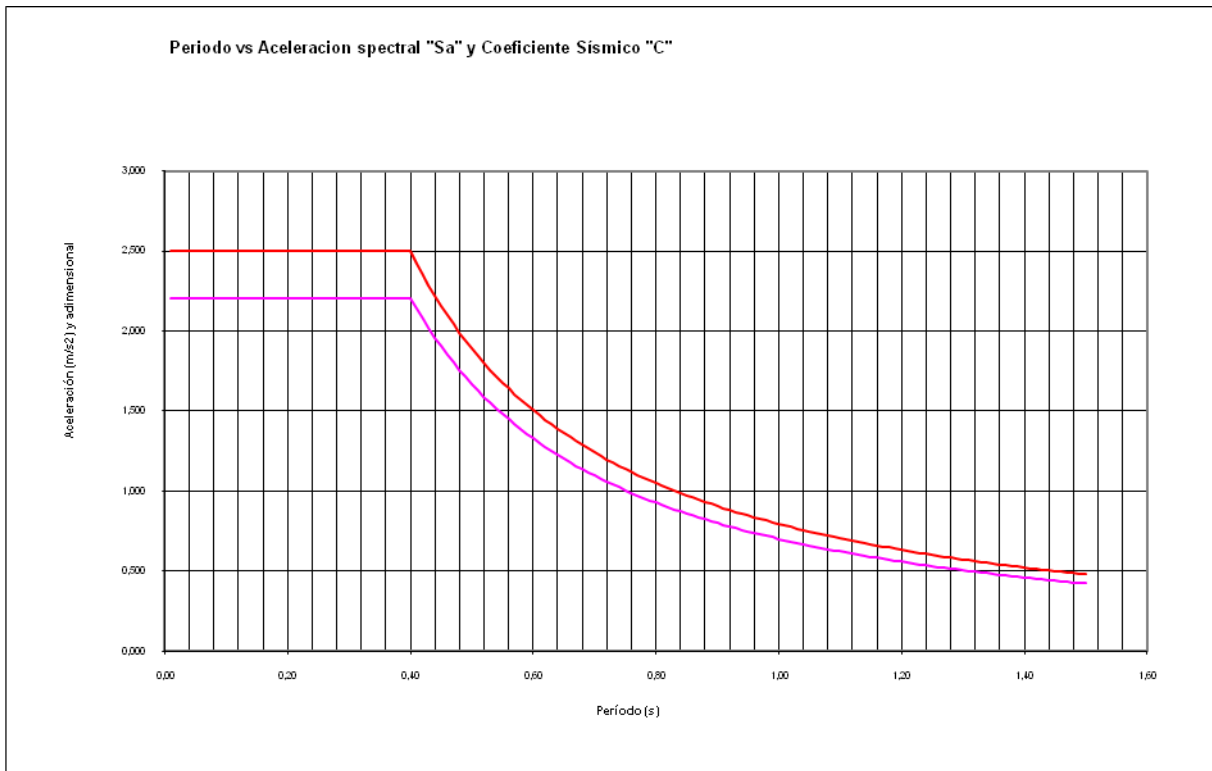
-

$$C = 2.5 \times \left(\frac{T_p}{T} \right)$$

-

Entonces:

$$Sa = 0.8829 C$$



4. COSTO

PROPUESTA DE PROYECTO

Hospital Nacional Madre Niño “San Bartolomé”

5. TEORIA

Hospital Nacional Madre Niño “San Bartolomé”

ANÁLISIS ESTÁTICO

Este capítulo presenta la teoría que permite realizar un análisis de tipo elástico y estático, presentándonos las ecuaciones que rigen este comportamiento.

2.1. ESTADO GENERAL DE ANISOTROPÍA EN MEDIO LINEALMENTE ELÁSTICO

Sea un medio continuo elástico no-isotrópico referido a un sistema coordenado cartesiano (ver Fig. 2.1).

Sean σ y ε los tensores que definen el estado de esfuerzos y deformaciones en un punto cualesquiera del medio, P1,

$$\sigma = \hat{\Pi}_i \hat{\Pi}_j \sigma_{ij}$$
$$\varepsilon = \hat{\Pi}_i \hat{\Pi}_j \varepsilon_{ij} \quad (2.1)$$

Los componentes de los esfuerzos y de las deformaciones se obtendrán de las expresiones:

$$\sigma_{ns} = \hat{\Pi}_i \cdot \sigma \cdot \hat{\Pi}_j \quad (2.2)$$
$$\varepsilon_{ns} = \hat{\Pi}_i \cdot \varepsilon \cdot \hat{\Pi}_j$$

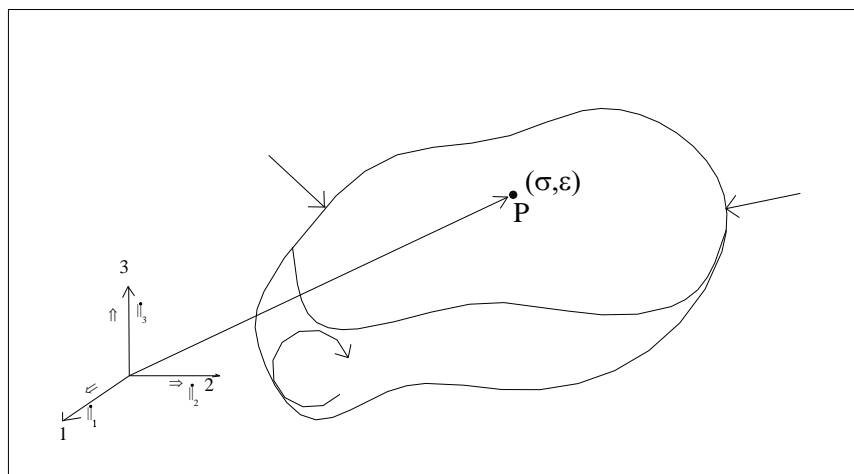


Figura 2.1 Punto P referido al sistema coordenado cartesiano 123

Si los desplazamientos u_i en el medio satisfacen la condición $u_{i,j} \ll 1$, las relaciones esfuerzos-deformaciones estarán dadas por las expresiones:

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ij}(0) + A_{ijpq} \varepsilon_{pq} + B_{ijpqrs} \varepsilon_{pq} \varepsilon_{rs} + \dots \quad (2.3)$$

donde :

$\sigma_{ij}(0)$ son los esfuerzos presentes en el medio correspondientes al estado de deformación nulo.

$A_{ijpq}, B_{ijpqrs}, \dots$ son parámetros elásticos que caracterizan el medio continuo.

Considerando medios elásticos donde los esfuerzos son función lineal de las deformaciones, se tiene:

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ij}(0) + A_{ijpq} \varepsilon_{pq}$$

y limitando el análisis al caso $\sigma_{ij}(0) = 0$, resultan las relaciones.

$$\sigma_{ij} = A_{ijpq} \varepsilon_{pq} \quad (2.4)$$

que requiere de 81 parámetros.

Siendo los tensores σ, ε simétricos,

$$A_{ijpq} = A_{jiqp}$$

y considerando que la energía almacenada en el medio es una función de las deformaciones y que $u_{i,j} \ll 1$,

$$A_{ijpq} = A_{pqij}$$

lo cual reduce a 21 el número de parámetros A_{ijpq} necesarios para definir las relaciones esfuerzos-deformaciones.

Luego, el estado general de anisotropía en un medio continuo linealmente elástico quedará definido por 21 constantes elásticas. Este resultado es el que corresponde a un medio constituido por cristales triclinicos.

Cambiando de notación para los esfuerzos y las deformaciones,

$$\begin{aligned}
 \sigma_1 &= \sigma_{11} & \varepsilon_1 &= \varepsilon_{11} \\
 \sigma_2 &= \sigma_{22} & \varepsilon_2 &= \varepsilon_{22} \\
 \sigma_3 &= \sigma_{33} & \varepsilon_3 &= \varepsilon_{33} \\
 \sigma_4 &= \sigma_{23} & \varepsilon_4 &= 2\varepsilon_{23} \\
 \sigma_5 &= \sigma_{13} & \varepsilon_5 &= 2\varepsilon_{13} \\
 \sigma_6 &= \sigma_{12} & \varepsilon_6 &= 2\varepsilon_{12}
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

la expresión (2.4) resulta:

$$\sigma_m = c_{mn} \varepsilon_n \tag{2.6}$$

$$(c_{mn} = A_{ijpq} = A_{pqij} = c_{nm})$$

La cual expresada en forma matricial es:

$$[\sigma] = [c][\varepsilon] \tag{2.7}$$

donde: $[\sigma], [\varepsilon]$ son los vectores de esfuerzos y deformaciones respectivamente.

$[c]$ es la matriz que define los parámetros elásticos (matriz simétrica 6x6).

2.2. MEDIO CONTINUO ORTOTRÓPICO.

Sea un medio continuo linealmente elástico tal que posea tres planos de simetría en sus constantes elásticas, esto es que pueda ser representado como constituido por cristales orto-rómbicos, y que esté referido a un sistema coordenado cartesiano (ver fig 2.2).

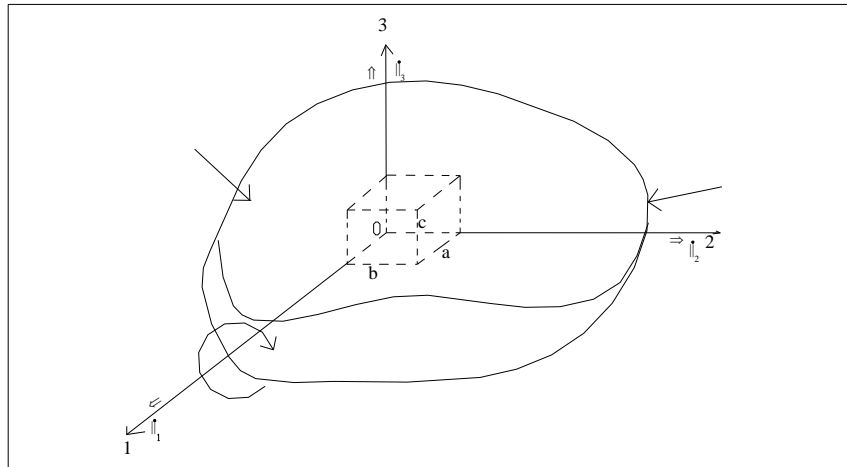


Fig 2.2: Sólido referido a un sistema coordenado cartesiano 123

Los estados de esfuerzo y de deformaciones unitarias quedan definidas mediante las expresiones (2.1), y (2.2) , y sus relaciones correspondientes con la expresión (2.7).

Considérese asimismo los sistemas coordenados $1'2'3'$, y $1''2''3''$. Por existir coincidencia de los ejes de los cristales con los ejes coordenados de los tres sistemas, se tiene:

$$[\sigma'] = [c][\varepsilon'] \quad (2.8)$$

$$[\sigma''] = [c][\varepsilon'']$$

Aplicando sucesivamente las expresiones (2.1), (2.2), (2.5) y (2.6), (2.7), (2.8) se logran las siguientes igualdades para los elementos c_{mn} de la matriz c ,

$$c_{14} = c_{15} = c_{16} = 0$$

$$c_{24} = c_{25} = c_{26} = 0$$

$$c_{34} = c_{35} = c_{36} = 0 \quad (2.9)$$

$$c_{45} = c_{46} = 0$$

$$c_{56} = 0$$

Luego el medio ortotrópico linealmente elástico requiere de nueve parámetros.

$$[c] = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & 0 & 0 & 0 \\ & c_{22} & c_{23} & 0 & 0 & 0 \\ & & c_{33} & 0 & 0 & 0 \\ & sim. & & c_{44} & 0 & 0 \\ & & & & c_{55} & 0 \\ & & & & & c_{66} \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

utilizando las expresiones (2.7), (2.9) y (2.10)

$$[\varepsilon] = \frac{1}{B} \begin{bmatrix} (c_{22}c_{33} - c_{23}^2) & (c_{13}c_{23} - c_{12}c_{33}) & (c_{12}c_{23} - c_{13}c_{22}) & 0 & 0 & 0 \\ & (c_{11}c_{33} - c_{13}^2) & (c_{12}c_{13} - c_{11}c_{23}) & 0 & 0 & 0 \\ & & (c_{11}c_{22} - c_{12}^2) & 0 & 0 & 0 \\ & & & \left(\frac{B}{c_{44}}\right) & 0 & 0 \\ & & & & \left(\frac{B}{c_{55}}\right) & 0 \\ & & & & & \left(\frac{B}{c_{66}}\right) \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

siendo:

$$B = c_{11}(c_{22}c_{33} - c_{23}^2) - c_{12}(c_{12}c_{33} - c_{13}c_{23}) + c_{13}(c_{12}c_{23} - c_{22}c_{13}) \quad (2.12)$$

Definiendo:

$$E_1 = \frac{B}{(c_{22}c_{33} - c_{23}^2)}$$

$$E_2 = \frac{B}{(c_{11}c_{33} - c_{13}^2)}$$

$$E_3 = \frac{B}{(c_{11}c_{22} - c_{12}^2)}$$

$$v_1 = \frac{(c_{12}c_{33} - c_{13}c_{23})}{(c_{11}c_{33} - c_{13}^2)} \quad G_1 = c_{44}$$

$$v_2 = \frac{(c_{11}c_{23} - c_{12}c_{13})}{(c_{11}c_{22} - c_{12}^2)} \quad G_2 = c_{55}$$

$$v_3 = \frac{(c_{13}c_2 - c_{12}c_{23})}{(c_{11}c_{22} - c_{12}^2)} \quad G_3 = c_{66}$$

y reemplazando en (2.11)

$$[\varepsilon] = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_1} & -\frac{v_1}{E_2} & -\frac{v_3}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ & \frac{v_1}{E_2} & -\frac{v_2}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ & & \frac{1}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ & sim. & & \frac{1}{G_1} & 0 & 0 \\ & & & & \frac{1}{G_2} & 0 \\ & & & & & \frac{1}{G_3} \end{bmatrix} [\sigma] \quad (2.13)$$

donde los nueve parámetros independientes son:

E_1, E_2, E_3 módulos de elasticidad

ν_1, ν_2, ν_3 módulos de Poisson

G_1, G_2, G_3 módulos de corte

Estos parámetros quedan definidos por la expresión (2.13) o por el esquema siguiente, fig. 2.3:

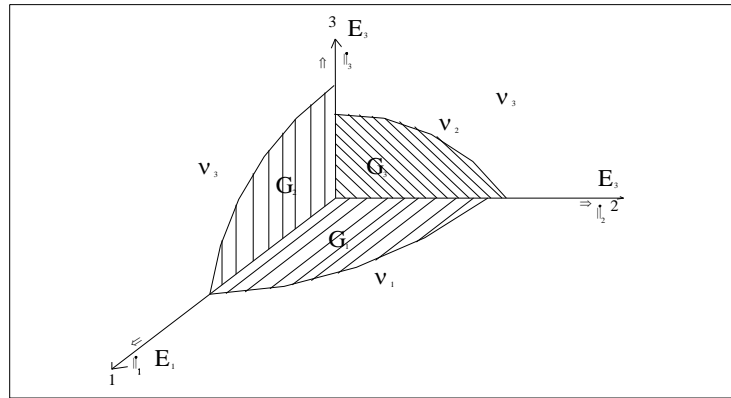


Fig.2.3

$$\nu_1 = -\frac{\epsilon_{11}}{\epsilon_{22}}$$

$$\nu_2 = -\frac{\epsilon_{22}}{\epsilon_{33}}$$

$$\nu_3 = -\frac{\epsilon_{11}}{\epsilon_{33}}$$

De la expresión (2.13) se obtiene:

$$[\sigma] = \frac{E_1}{D} \begin{bmatrix} (m - v_2^2 n) & (mv_1 + nv_2 v_3) & m(v_1 v_2 + v_3) & 0 & 0 & 0 \\ & (1 - v_3^2 n) & (v_2 + v_1 v_3 m) & 0 & 0 & 0 \\ & & \frac{m}{n}(1 - v_1^2) & 0 & 0 & 0 \\ & sim. & & \frac{G_1 D}{E_1} & 0 & 0 \\ & & & & \frac{G_2 D}{E_1} & 0 \\ & & & & & \frac{G_3 D}{E_1} \end{bmatrix} [\varepsilon]$$

(2.14)

en la que :

$$m = \frac{E_1}{E_2}$$

$$n = \frac{E_1}{E_3}$$

$$D = m(1 - v_1^2 m) - nv_2^2 - mnv_3(2v_1 v_2 + v_3)$$

2.3. CONSTANTES ELÁSTICAS EN GENERAL

Materiales tales como cristales naturales o la madera no son isotrópicos, y se denominan anisotrópicos. La expresión analítica de la Ley de Hooke en un cuerpo sólido anisotrópico es afectado por las constantes c_{ij} , $i=1,..6$, $j=1,..6$ arriba indicadas. En notación matricial, se puede escribir las ecuaciones de la siguiente manera:

$$\begin{pmatrix} X_x & Y_y & Z_z & Y_z & Z_x & X_y \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} & c_{15} & c_{16} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} & c_{25} & c_{26} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} & c_{35} & c_{36} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} & c_{45} & c_{46} \\ c_{51} & c_{52} & c_{53} & c_{54} & c_{55} & c_{56} \\ c_{61} & c_{62} & c_{63} & c_{64} & c_{65} & c_{66} \end{vmatrix} \begin{pmatrix} e_{xx} & e_{yy} & e_{zz} & e_{yz} & e_{zx} & e_{xy} \end{pmatrix}$$

donde $c_{rs}=c_{sr}$, (r,s=1,2,...6) .

Estas ecuaciones pueden ser resueltas, para expresar las componentes de la deformación en términos de las componentes de esfuerzo. Si Π denota el determinante de las cantidades c_{rs} , y C_{rs} denota el menor determinante que corresponde con c_{rs} , tal que:

$$\Pi = c_{r1}C_{r1} + c_{r2}C_{r2} + c_{r3}C_{r3} + c_{r4}C_{r4} + c_{r5}C_{r5} + c_{r6}C_{r6}$$

Las ecuaciones que dan las componentes de deformación en términos de las componentes de esfuerzos puede ser escrita como:

$$\Pi \begin{pmatrix} e_{xx} & e_{yy} & e_{zz} & e_{yz} & e_{zx} & e_{xy} \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} & C_{45} & C_{46} \\ C_{51} & C_{52} & C_{53} & C_{54} & C_{55} & C_{56} \\ C_{61} & C_{62} & C_{63} & C_{64} & C_{65} & C_{66} \end{vmatrix} \begin{pmatrix} X_x & Y_y & Z_z & Y_z & Z_x & X_y \end{pmatrix}$$

donde $C_{rs}= C_{sr}$ (r,s=1,2,...6).

Las cantidades $\frac{1}{2}c_{11}, \dots, c_{12}, \dots$ son los coeficientes de una función cuadrática homogénea de e_{xx}, \dots . Esta función es la función de energía de deformación expresada en términos de componentes de deformación.

Las cantidades $\frac{1}{2}C_{11}/\Pi, \dots, C_{12}/\Pi, \dots$ son los coeficientes de una función cuadrática homogénea de X_x, \dots . Esta función es la función de energía de deformación expresada en términos de componentes de esfuerzo.

2.3.1. MÓDULOS DE ELASTICIDAD

Se debe definir de distintas maneras los tipos de esfuerzo y deformación. Por ejemplo, tensión simple (X_x), esfuerzo cortante (Y_z), esfuerzo promedio ($\frac{1}{3}(X_x + Y_y + Z_z)$) son tipos de esfuerzos. Los correspondientes tipos de deformación son extensión simple (e_{xx}), deformación por cortante (e_{yz}), dilatación cúbica ($e_{xx} + e_{yy} + e_{zz}$). Se puede expresar la deformación de cualquiera de esos tipos que acompaña un esfuerzo del correspondiente tipo, cuando no hay otro esfuerzo, por una ecuación de la forma:

$$\text{esfuerzo} = M \times (\text{deformación correspondiente})$$

Luego M es llamado un “módulo de elasticidad”. Las cantidades Π/C_{11} , Π/C_{44} son ejemplos de tales módulos.

El módulo que corresponde con la tensión simple es llamado módulo de Young para la dirección relacionada con la tensión. El módulo que corresponde con el esfuerzo de corte sobre un par de planos ortogonales es conocido como la rigidez para el par de direcciones relacionadas (las normales al plano). El módulo que corresponde con la tensión promedio o presión es conocido como el módulo de compresión.

2.3.2. MÓDULOS DE YOUNG Y RAZONES DE POISSON

Suponiendo que todas las componentes de esfuerzo desaparecen excepto X_x , luego tenemos que $\Pi = C_{11}X_x$, tal que Π/C_{11} es el módulo de Young correspondiente a la dirección “x”. De la misma forma, la razón de Poisson de la contracción en la dirección de el eje “y” a la extensión en la dirección de los ejes de “x” es $-C_{12}/C_{11}$. El valor de la razón de Poisson depende de la dirección de la contracción transversal lineal de los elementos tanto como de las extensiones

longitudinales. En el caso general debemos considerar los esfuerzos para la tensión X'_x que cruzan el plano $x' = \text{constante}$, cuya normal sigue la dirección (l, m, n) en la forma siguiente:

$$\begin{aligned} X_x &= l^2 X'_{x'}, & Y_y &= l^2 Y'_{y'}, & Z_z &= l^2 Z'_{z'} \\ Y_z &= mn X'_{x'}, & Z_x &= nl X'_{x'}, & X_y &= lm X'_{x'} \end{aligned}$$

y también se tiene :

$$e_{x'x'} = e_{xx} l^2 + e_{yy} m^2 + e_{zz} n^2 + e_{yz} mn + e_{zx} nl + e_{xy} lm$$

y se deduce que el módulo de Young E correspondiente con esta dirección es:

$$\Pi \div (C_{11}, C_{22}, C_{33}, C_{23}, C_{31}, C_{12}) (l^2, m^2, n^2, mn, nl, lm)^2$$

donde el denominador es una función cuadrática completa de los seis argumentos l^2, \dots con coeficientes C_{11}, \dots

Si (l', m', n') es cualquier dirección de x' , la contracción, $-e_{y'y'}$, en esta dirección está dada por la ecuación:

$$e_{y'y'} = e_{xx} l'^2 + e_{yy} m'^2 + e_{zz} n'^2 + e_{yz} m'n' + e_{zx} n'l' + e_{xy} l'm'$$

y la correspondiente razón de Poisson σ es expresable en la forma:

$$\sigma = -\frac{1}{2\phi} \left[l'^2 \frac{\partial \phi}{\partial (l'^2)} + m'^2 \frac{\partial \phi}{\partial (m'^2)} + n'^2 \frac{\partial \phi}{\partial (n'^2)} + m'n' \frac{\partial \phi}{\partial (mn)} + n'l' \frac{\partial \phi}{\partial (nl)} + l'm' \frac{\partial \phi}{\partial (lm)} \right]$$

donde ϕ es la función cuadrática arriba mencionada de los argumentos l^2, \dots , y los coeficientes diferenciales está formados como si esos argumentos fueran independientes.

2.3.3. MÓDULOS DE RIGIDEZ O DE CORTE

Se puede suponer que todas las componentes de esfuerzo desaparecen excepto Y_z y como consecuencia se tiene que $\Pi e_{yz} = C_{44} Y_z$, tal que Π / C_{44} es la rigidez correspondiente con el par de direcciones y, z .

Si el esfuerzo cortante está relacionado a las dos direcciones ortogonales (l, m, n) y (l', m', n') , la rigidez puede ser expresada de la siguiente manera:

$$\Pi \div (C_{11}, C_{22}, \dots, C_{12}, \dots) (2ll', 2mm', 2nn', mn' + m'n, nl' + n'l, lm' + l'm)$$

donde el denominador es una función cuadrática completa de los seis argumentos $2ll', \dots$ con coeficientes C_{11}, C_{22}, \dots

2.3.4. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL: MÓDULOS DE YOUNG, CORTE Y POISSON.

Como se ha podido observar, se requiere para el análisis, el conocimiento de los valores de las propiedades inherentes al material del que está constituido el sólido. Por tratarse de un tema de importancia para el presente trabajo, y haber elegido un material en particular (madera del tipo pino báltico), se tratará en el capítulo 4.

2.4. FORMA DE LA FUNCIÓN DE ENERGÍA DE DEFORMACIÓN

Los experimentos con los cuales se llega a la enunciación de la ley de Hooke no constituyen una prueba de la verdad de la ley.

Cuando un cuerpo es suavemente deformado por la aplicación gradual de una carga, y la temperatura permanece constante, las componentes de esfuerzo son una función lineal de las componentes de la deformación, y ellas son también coeficientes de las derivadas parciales de una función (W) de las componentes de la deformación. La función de la energía de deformación, W , es de aquí una función cuadrática homogénea de las componentes de la deformación.

La conocida teoría de ondas y sonido llega a nosotros para mostrar que cuando un cuerpo está ejecutando pequeñas vibraciones, el movimiento toma ubicación tan rápidamente para una porción de cuerpo para perder o ganar alguna cantidad sensible de calor. En este caso también hay una función de energía de deformación; y si nosotros asumimos que la ley de Hooke fija la función, ésta es una función cuadrática homogénea de los componentes de la deformación.

La función W posee diferentes coeficientes que le permiten expresarse como una función cuadrática de las componentes de la deformación. Estos coeficientes son las constantes elásticas, y existen discrepancias en la determinación de ellas, dependiendo del método usado en el laboratorio.

De acuerdo a la ley generalizada de Hooke, las seis componentes de esfuerzo en cualquier punto de un cuerpo sólido elástico son conectados con las seis componentes de deformación en un punto por ecuaciones de la forma:

$$\begin{pmatrix} X_x \\ Y_y \\ Z_z \\ Y_z \\ Z_x \\ X_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11}e_{xx} + c_{12}e_{yy} + c_{13}e_{zz} + c_{14}e_{yz} + c_{15}e_{zx} + c_{16}e_{xy} \\ c_{21}e_{xx} + c_{22}e_{yy} + c_{23}e_{zz} + c_{24}e_{yz} + c_{25}e_{zx} + c_{26}e_{xy} \\ c_{31}e_{xx} + c_{32}e_{yy} + c_{33}e_{zz} + c_{34}e_{yz} + c_{35}e_{zx} + c_{36}e_{xy} \\ c_{41}e_{xx} + c_{42}e_{yy} + c_{43}e_{zz} + c_{44}e_{yz} + c_{45}e_{zx} + c_{46}e_{xy} \\ c_{51}e_{xx} + c_{52}e_{yy} + c_{53}e_{zz} + c_{54}e_{yz} + c_{55}e_{zx} + c_{56}e_{xy} \\ c_{61}e_{xx} + c_{62}e_{yy} + c_{63}e_{zz} + c_{64}e_{yz} + c_{65}e_{zx} + c_{66}e_{xy} \end{pmatrix}$$

Los coeficientes en esas ecuaciones, $c_{11}.....$, son las constantes elásticas del material

Ellas son los coeficientes de una función cuadrática homogénea $2W$, donde W es la función de energía de deformación; y ellas se relacionan de tal manera que aseguren la existencia de dicha función. Esas relaciones son de la forma:

$$c_{rs} = c_{sr} \quad , \quad (r,s = 1,2,...6),$$

y el número de constantes es reducido por esas ecuaciones de 36 a 21.

Nosotros escribimos la para $2W$ en la forma:

$$\begin{aligned}
 2W = & c_{11}e_{xx}^2 + 2c_{12}e_{xx}e_{yy} + 2c_{13}e_{xx}e_{zz} + 2c_{14}e_{xx}e_{yz} + 2c_{15}e_{xx}e_{zx} + 2c_{16}e_{xx}e_{xy} \\
 & + c_{22}e_{yy}^2 + 2c_{23}e_{yy}e_{zz} + 2c_{24}e_{yy}e_{yz} + 2c_{25}e_{yy}e_{zx} + 2c_{26}e_{yy}e_{xy} \\
 & + c_{33}e_{zz}^2 + 2c_{34}e_{zz}e_{yz} + 2c_{35}e_{zz}e_{zx} + 2c_{36}e_{zz}e_{xy} \\
 & + c_{44}e_{yz}^2 + 2c_{45}e_{yz}e_{zx} + 2c_{46}e_{yz}e_{xy} \\
 & + c_{55}e_{zx}^2 + 2c_{56}e_{zx}e_{xy} \\
 & + c_{66}e_{xy}^2
 \end{aligned}$$

La teoría de la elasticidad ha sido algunas veces basada en hipótesis consistentes a la constitución de la materia, de acuerdo a las cuales son consideradas como hechas de materia en todos los puntos, y esos puntos se supone que actúan sobre otros a una determinada distancia, la ley de fuerza que establece que la fuerza entre dos puntos es función de la distancia entre los puntos y actúa en la línea que los une. Es una consecuencia de esta hipótesis que los coeficientes en la función W son conectados por seis relaciones adicionales, de donde su número es reducido a 15. Estas relaciones son:

$$\left. \begin{aligned}
 c_{23} = c_{44}, \quad c_{31} = c_{55}, \quad c_{12} = c_{66} \\
 c_{14} = c_{56}, \quad c_{25} = c_{46}, \quad c_{45} = c_{36}
 \end{aligned} \right\}$$

2.5. DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS EN UN CUERPO

Si nosotros deseamos conocer el estado de esfuerzos en un cuerpo (ver figura 2.4) para el cual, cargas dadas son aplicadas, sea como fuerzas de cuerpo o como tracciones de superficie, se tiene que resolver las ecuaciones de equilibrio de esfuerzos, tales como:

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{\partial X_x}{\partial x} + \frac{\partial X_y}{\partial y} + \frac{\partial X_z}{\partial z} + \rho X &= \rho f_x \\
 \frac{\partial Y_x}{\partial x} + \frac{\partial Y_y}{\partial y} + \frac{\partial Y_z}{\partial z} + \rho Y &= \rho f_y \\
 \frac{\partial Z_x}{\partial x} + \frac{\partial Z_y}{\partial y} + \frac{\partial Z_z}{\partial z} + \rho Z &= \rho f_z
 \end{aligned} \right\}$$

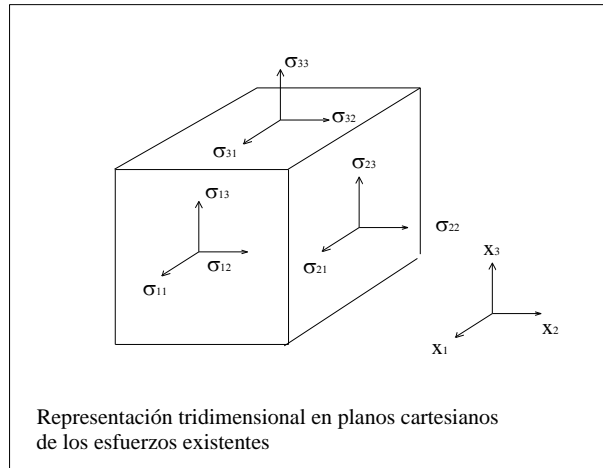


Figura2.4

Si el cuerpo está fijo en equilibrio, f_x, f_y, f_z son cero, las ecuaciones de equilibrio son:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial X_x}{\partial x} + \frac{\partial X_y}{\partial y} + \frac{\partial Z_x}{\partial z} + \rho X &= 0_x \\ \frac{\partial X_y}{\partial x} + \frac{\partial Y_y}{\partial y} + \frac{\partial Y_z}{\partial z} + \rho Y &= 0 \\ \frac{\partial Z_x}{\partial x} + \frac{\partial Y_z}{\partial y} + \frac{\partial Z_z}{\partial z} + \rho Z &= 0 \end{aligned} \right\}$$

donde Y_z, Z_x, X_y ha sido escrito por el equivalente Z_y, X_z, Y_z .

Si el cuerpo se mueve tal que el desplazamiento (u, v, w) de cualquier partícula es siempre muy pequeño, se puede escribir como:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}, \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}$$

en vez de f_x, f_y, f_z , el tiempo denotado por t ; las ecuaciones para movimientos pequeños son

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial X_x}{\partial x} + \frac{\partial X_y}{\partial y} + \frac{\partial Z_x}{\partial z} + \rho X &= \rho \frac{\partial u}{\partial t^2} \\ \frac{\partial X_y}{\partial x} + \frac{\partial Y_y}{\partial y} + \frac{\partial Y_z}{\partial z} + \rho Y &= \rho \frac{\partial v}{\partial t^2} \\ \frac{\partial Z_x}{\partial x} + \frac{\partial Y_z}{\partial y} + \frac{\partial Z_z}{\partial z} + \rho Z &= \rho \frac{\partial w}{\partial t^2} \end{aligned} \right\}$$

2.6. LIMITACIONES DE LA TEORÍA MATEMÁTICA DE LA ELASTICIDAD.

La teoría está desarrollada para cuerpos deformados gradualmente a una temperatura constante, desde un estado inicial de no esfuerzo a un estado final de esfuerzo tan pequeño respecto al estado no esforzado, que los cuadrados y productos de los desplazamientos son despreciables según lo establece la Ley de Hooke (ver ecuación 2.3). Es conocido que muchos materiales usados en estructuras de ingeniería como el acero, piedra, cemento, no obedecen la Ley de Hooke para alguna deformación más grande que alguna observada. Se sabe también que aquellos materiales que no obedecen la ley para medidas de deformación pequeñas no la obedecen para grandes.

La restricción de la teoría para condiciones en las cuales las deformaciones desaparecen una vez retiradas las cargas, es usualmente expresada diciendo que el cuerpo debe estar deformado dentro de los límites de la “elasticidad perfecta”. La restricción para condiciones en las cuales la deformación medida es proporcional a la carga es algunas veces expresada diciendo que el cuerpo debe estar deformado dentro de los límites de la “elasticidad lineal”. La expresión límite de elasticidad” es usada algunas veces en alguna de estas expresiones y algunas en otras, y los límites son algunas veces especificados como de un “esfuerzo” o una “tracción”, por una carga por unidad de área, y algunas veces por una deformación medida.

El establecimiento de que las deformaciones desaparecen después de aplicada la carga, es absolutamente necesario para las hipótesis de esta teoría matemática; pero es conocido que los límites de deformación, o de carga, en las cuales esta condición permanece correcta son relativamente cercanos.

BIBLIOGRAFIA

Norma Técnica de Edificación E-060, Concreto Armado- NORMA VIGENTE

Norma Técnica de Edificación E-030, Diseño Sismorresistente, NORMA VIGENTE