

**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
Recinto Universitario Rubén Darío-RURD
Facultad de Ciencias e Ingenierías
Ingeniería Civil**



**“ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA
DEL HOSPITAL FERNANDO VÉLEZ PAIZ”**

Informe Monográfico

Para optar al Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentado por:

Germán Antonio Obando Rivera

Ricardo Antonio Rodríguez Antón

Tutor:

Ing. Armando Ugarte Solís, PhD.

Octubre, 2008

Managua, Nicaragua

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento ante todo, a *Dios*. Asimismo, agradezco a mis padres *Róger Antonio Obando* y *Ana Victoria Rivera*, a mis hermanos *Tupak Ernesto* y *Róger Amaru*, y a todos mis amigos y parientes, con quienes he compartido valiosos e interesantes momentos durante el tiempo que desarrollaba esta monografía. También, a cada una de aquellas personas que ayudaron hacer posible la culminación de este estudio y el alcance de las metas propuestas:

Al Doctor Ing. *Armando Ugarte S.*, quien a través de su tutoría académica, colaboró en todo momento con la orientación de esta monografía facilitando la autonomía del planteamiento y el enfoque propuesto, lo cual sólo demuestra su Confianza y Calidad como docente.

Al Doctor Ing. *Rubén Boroschek Krauskopf*, Docente de la Universidad de Chile, cuyo aporte al conocimiento científico en temas de vulnerabilidad sísmica de hospitales, facilitó la comprensión de este problema y la manera de abordarlo.

A la Doctora *Maribel Hernández*, Directora General del Hospital Vélez Paiz, por todo el apoyo e información proporcionada entorno a ese hospital se refiere.

También, quiero agradecer al Ing. *Ernesto Cuadra Ch.*, Docente y Coordinador de la Carrera de Ingeniería Civil; al *Profesorado* de la UNAN-Managua, con especial atención a los de la Facultad de Ciencias e Ingenierías; y al *Personal de Biblioteca* de ese Recinto Universitario por su eficiente, responsable y silencioso servicio brindado en todo este tiempo.

Finalmente, un grato Agradecimiento a mi ex-compañero de estudios Universitarios, *German Toval*, Presidente de UNEN-RURD de la Facultad de Ciencias e Ingenierías.

Germán Antonio Obando Rivera

AGRADECIMIENTOS

A *Dios* por darme la oportunidad de seguir viviendo, el conocimiento y las fuerzas necesarias para llegar a la culminación de mi carrera.

A mis padres hermanos y hermanas, quienes estuvieron siempre brindándome apoyo e instándome a no claudicar en la realización de esta monografía.

También, quiero agradecer al Ing. *Ernesto Cuadra Chévez*, Docente y Coordinador de la Carrera de Ingeniería Civil, por su apoyo, su paciencia y especial entusiasmo brindado hacia mi persona en todo este tiempo.

Al Ing. *Armando Ugarte Solís.*, PhD. (Tutor) por su apoyo en la realización de esta monografía.

Al *Profesorado* de la UNAN-Managua, muy especialmente, a los docentes de la Facultad de Ciencias e Ingenierías de la Carrera de Ingeniería Civil.

Por último, un agradecimiento a todo el *Personal* de Biblioteca Simón Bolívar, quienes nos han brindado mucho apoyo en el proceso de culminación de esta monografía.

Ricardo Antonio Rodríguez Antón

DEDICATORIA

A mi fuente de Fortaleza, de Luz, de Conocimiento y Esperanza, a mi *Dios y Padre*. Gracias por *crearme* y permanecer junto a mí en todo este tiempo.

A mis padres *Róger Obando Mejía* y *Ana Rivera Rivas*, por su incondicional y silencioso apoyo, por su fe, esperanza, estímulo constante y comprensión hacia mi persona. Por estar allí en los momentos difíciles mientras desarrollaba esta monografía. Esto es apenas un fruto de tan maravillosa enseñanza de vida que me inculcaron desde niño.

A mis *hermanos y amigos*, que de alguna manera, me ayudaron a continuar mi esfuerzo por culminar esta monografía.

A la Memoria de *Madre Otilia*, quien asentara las bases del Cristianismo en mi vida mientras estudiaba mi secundaria.

A ustedes lectores, que este logro represente un estímulo para seguir adelante hasta alcanzar sus metas. Recuerden que hay mucho camino por recorrer...

A todos, que Dios los bendiga. Toda Gloria sea para El Padre, El Hijo y El Espíritu Santo. Amén.

Germán Antonio Obando Rivera

DEDICATORIA

A Dios, nuestro creador el cual me dio la fuerza y sabiduría necesaria para culminar mis estudios, a el le doy gracias por su infinita Misericordia y por no desampararme durante todo este tiempo.

A mis padres *Ricardo Rodríguez Chávez* y *Lucila Antón Gonzáles*, por el amor y comprensión que siempre me han dado, el apoyo incondicional que me han brindado durante mi preparación académica y especialmente por estar siempre en los momentos mas difíciles durante la realización de esta monografía.

A mis hermanos, hermanas y amigos que de alguna forma, me apoyaron e instaron a culminar esta monografía.

Finalmente, a mi hijo *Wesley Rodríguez Medina*, quien me ha servido como fuente de inspiración para esforzarme y llegar a terminar esta monografía.

Ricardo Antonio Rodríguez Antón

RESUMEN EJECUTIVO

Este estudio se enmarca en un área de 2.5 Hectáreas al Noroeste de la ciudad de Managua, cuyo propósito es evaluar grado de vulnerabilidad física del Hospital Fernando Vélez Paiz para prevenir a tiempo daños graves en su sistema estructural y no estructural que puedan poner en riesgo las vidas de personas y la continua operación de ese hospital.

En esta investigación se realizó recopilación de información por medio de consultas de Libros, Publicaciones de Internet, Monografías, Artículos Periodísticos Trabajos presentados en Seminarios, Conferencias y Congresos, Entrevistas realizadas a expertos, y documentación técnica de dicho Hospital. El documento final, fue presentado en cinco capítulos, agrupados de forma tal que el lector lograra tener mejor comprensión del contenido del estudio.

El presente informe expone también Metodología cualitativa propuesta para la determinación de la vulnerabilidad y riesgo sísmico en edificaciones hospitalarias de mampostería confinada conocida como Método de Hirosawa. Además se presentan los resultados obtenidos en un estudio realizado en el Hospital Fernando Vélez Paiz, tales como índice de seguridad sísmica, e índices de daño y, pérdidas económicas y humanas, presentadas en tablas y gráficos.

De este trabajo se concluye que la Vulnerabilidad sísmica del Hospital Fernando Vélez Paiz varía de media a alta, por lo cual es necesario realizar un análisis que precise lugares donde se requiere reforzar las edificaciones estudiadas. Por otro lado, el daño esperado para la condición actual del hospital es de tipo severo con pérdidas económicas que ascienden hasta 2.7 millones de dólares para aceleraciones del suelo de 0.40g y exposición de víctimas con un 80% del total de personas golpeadas, y un 20% de heridos leves, que corresponden al intervalo de horas de las 9:00am a las 3:00pm.

SUMMARY

This study is framed in an area of 2.5 Hectares to the Northwest of the city of Managua whose purpose is to evaluate degree of physical vulnerability of the Hospital Fernando Vélez Paiz to prevent serious damages on time in its structural and non-structural system which can put in risk lives of people and continuous operation of that hospital.

In this investigation was carried out summary of information by means of consultations of Books, Publications of Internet, Monographs, Articles Journalistic Works presented in Seminars, Conferences and Congresses, Interviews carried out to experts, and technical documentation of this Hospital. The final document was presented in five chapters, contained in such a way that the reader is able to have better understanding of the study's content.

The present paper also exposes Methodology qualitative proposal for the determination of the vulnerability and seismic risk in hospital constructions of well-known confined masonry as Method of Hirosawa. The results are also presented obtained in a study developed in Hospital Fernando Vélez Paiz, such as index of seismic security, and indexes of damage and, economic and human losses, presented in charts and graphics.

Of this work we conclude that the seismic Vulnerability of the Hospital Fernando Vélez Paiz varies from medium to high, reason why it is necessary to do an analysis which specifies places where it is required to reinforce the studied constructions. On the other hand, the prospective damage for the current condition of the hospital is *severe* with economic losses that ascend up to 2.7 million dollars for accelerations of the floor of 0.40g and victims' exhibition with 80% of the total of hit people, and 20% of light wounded that correspond to the interval of hours from 9:00am o'clock to 3:00pm.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Agradecimientos	i
Dedicatoria	iii
Resumen	v
Abstract	vi
Índice General	vii
Lista de Tablas	xi
Lista de Figuras	xii
Lista de Cuadros	xiii
Lista de Fotos	xiv
Lista de Ecuaciones	xv
CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN	
I.1.-Introducción	16
I.2.- Antecedentes	17
I.3.- Justificación	18
I.4.- Objetivos	20
I.4.1.- Objetivo general	20
I.4.2.- Objetivos particulares	20
CAPÍTULO II.- MARCO TEÓRICO	
II.1.- Edificaciones esenciales	
II.1.1.- Introducción	21
II.1.2.- Concepto de edificación esencial	
II.1.2.1.- Definición	21
II.1.2.2.- Clasificación	22
II.1.2.3.- Las edificaciones esenciales en las normas Sísmicas	23
II.1.3.- Principales características de las edificaciones esenciales	
II.1.3.1.- Densidad de ocupantes	24
II.1.3.2.- Distribución de equipamiento	25
II.1.3.3.- Impacto por fallo de servicios	25
II.1.3.4.- Costo de reposición de daños	26
II.1.4.- Aspectos Normativos	
II.1.4.1.- Estándares Internacionales	27
II.1.4.1.1.- Filosofía de Diseño	27
II.1.4.1.2.- Factor de importancia	28

II.1.4.1.3.- Control de los desplazamientos	29
II.1.4.1.4.- Protección de componentes no estructurales	30
II.1.4.2.- Estándares Nacionales	32
II.1.4.2.1.- Coeficiente Sísmico	32
II.2.- Hospitales	
II.2.1.- Generalidades	38
II.2.1.1.- Concepto	38
II.2.1.2.- Tipos de hospitales	38
II.2.1.3.- Composición básica de Hospitales	38
II.2.1.4.- Suministros Internos de Hospitales	39
II.2.2.- Factores que inciden en la Vulnerabilidad de Hospitales	40
II.2.3.- Hospitales de Managua	40
II.2.3.1.- Situación actual de peligro por fallas geológicas	40
II.3.- Vulnerabilidad	
II.3.1.- Introducción	44
II.3.2.- Dimensiones y tipos de vulnerabilidad	44
II.3.3.- Vulnerabilidad sísmica	
II.3.3.1.- Concepto	47
II.3.3.2.- Caracterización de la Vulnerabilidad Sísmica	47
II.3.3.2.1.- Acción Sísmica	47
II.3.3.2.2.- Daño Sísmico	48
II.3.3.3.- Metodologías para el análisis de la Vulnerabilidad	49
II.4.- Método de Hirosawa Modificado	
II.4.1.- Aplicación del Método en hospitales	57
II.4.2.- Determinación de Índices sísmicos	
II.4.2.1.- Índice básico de capacidad (I_s)	
II.4.2.1.1.- Comportamiento Estructural (E_o)	59
II.4.2.1.2.- Configuración Estructural (S_D)	64
II.4.2.1.3.- Deterioro del edificio (T)	67
II.4.2.2.- Índice de Demanda (I_{so})	69

II.5.- Evaluación del Daño Estructural

II.5.1.- Estados o grados de daño	71
II.5.1.1.- Estados discretos de daño	71
II.5.1.1.1.- Clasificación de acuerdo con los daños observados	71
II.5.1.1.2.- Clasificación de acuerdo con la reparación de la estructura	72
II.5.1.1.3.- Clasificaciones combinadas	72
II.5.1.2.- Índices de daño	73
II.5.3.3.- Relación entre estados e índices de daño	73

II.6.- Índice de Daño de Edificios de Mampostería Confinada

II.6.1.- Introducción	75
II.6.2.- Cálculo de Pérdidas Económicas	77
II.6.3.- Cálculo de Pérdidas Humanas	78

II.7.- Técnicas de intervención estructural

II.7.1.- Rigidez estructural local	79
II.7.2.- Rigidez estructural global	79
II.7.3.- Reducción de masas	79
II.7.4.- Técnicas de aislamiento sísmico	79
II.7.5.- Disipación adicional de energía	80

CAPÍTULO III.- MATERIAL Y MÉTODO

<i>Ubicación del Área de estudio</i>	82
III.1.- Material	
a) Trabajo de Gabinete	83
b) Trabajo de Campo	83
III.2.- Método	
III.2.1.- Recopilación de Información	
III.2.1.1.- Revisión bibliográfica preliminar	84
III.2.1.1.1.- Documentación técnica encontrada	84
a) Estudios Geológicos	
b) Estudios Geotécnicos	
III.2.1.1.2.- Entrevistas	85
III.2.2.- Elaboración de formato o planilla de inventario	85
III.2.3.- Levantamiento de Campo	85
III.2.4.-Procesamiento de datos y Análisis de Resultados	86

III.2.5.- Interpretación y Discusión de Resultados	86
III.2.6.- Elaboración de Informe Final	87
CAPÍTULO IV.- HOSPITAL FERNANDO VÉLEZ PAIZ (Estudio de caso)	
IV.1.- Introducción	88
IV.2.- Descripción General	
a) Antecedentes del Hospital	90
b) Edificaciones que componen el Hospital Vélez Paiz	90
c) Capacidad de Atención	90
IV.3.- Descripción Física	93
CAPÍTULO V.- RESULTADOS	
V.1.- Análisis de los Resultados	
V.1.1.- Ejemplo Aplicativo: Edificio de Epidemiología	98
V.1.2.- Curva de Correlación entre I_d e I_s	113
V.1.3.- Índices de Daño (I_d)	115
V.1.4.- Pérdidas Económicas y Humanas	116
IV.2.- Discusión	125
CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	126
V.1.- Conclusiones	
V.2.- Recomendaciones	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
GLOSARIO	132
ANEXOS	140
1.- Registro de Sondeos Mecanizados	142
2.- Perfil del Suelo	146
3.- Resultados Obtenidos de: Pruebas en Concreto, Corrosión y Distribución de Acero	151
4.- Fotografías de trabajos de campo	157
5.- Planos Estructurales	169

Lista de Tablas

- Tabla 1.-** DENSIDAD DE OCUPANTES PARA DIFERENTES HORARIOS
Tabla 2.- DISTRIBUCIÓN DE EQUIPAMIENTO Y/O CONTENIDO
Tabla 3.- IMPACTO POR FALLO DE SERVICIOS
Tabla 4.- COSTO ESTIMADO DE REPOSICIÓN DE DAÑOS
Tabla 5.- IMPORTANCIA RELATIVA DE COSTOS DE REPOSICIÓN DE DAÑOS
Tabla 6.- FACTOR DE IMPORTANCIA CONTEMPLADO EN DIFERENTES CÓDIGOS SEGÚN EL USO
Tabla 7.- DERIVA DE ENTREPISO NORMALIZADA CONTEMPLADA EN LOS DIFERENTES CÓDIGOS
Tabla 8.- FACTOR EMPÍRICO R PARA DIFERENTES MAGNITUDES Y ACELERACIONES
Tabla 9.- FACTOR DE AMPLIFICACIÓN POR TIPO DE SUELO (S)
Tabla 10.- HOSPITALES UBICADOS EN MANAGUA, CLASIFICADOS POR PERFIL Y POR CAPACIDAD DE ATENCIÓN
Tabla 11.- PARÁMETROS DE FUNCIONES DE VULNERABILIDAD PROPUESTA POR EL I.S.T.C
Tabla 12.- CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN FUNCIÓN DEL ÍNDICE SÍSMICO
Tabla 13.- VALORES DE LOS COEFICIENTES α_i
Tabla 14.- VALORES DE G_i Y R_i
Tabla 15.- VALORES DEL ÍNDICE T PARA DIFERENTES CAUSAS Y TIPOS DE DETERIORO
Tabla 16.- CLASIFICACIÓN DE DAÑOS CAUSADOS POR SISMO (IGLESIAS ET AL., 1987)
Tabla 17.- VALORES DEL ÍNDICE DE DEMANDA (I_{so})
Tabla 18.- MODIFICADORES ΔI_{so}
Tabla 19.- CLASIFICACIÓN DEL DAÑO ESTRUCTURAL (según Park, et al.)
Tabla 20.- CLASIFICACIÓN DEL DAÑO ESTRUCTURAL (según Petrovski, et al.)
Tabla 21.- CLASIFICACIÓN DEL DAÑO ESTRUCTURAL SEGÚN EERI (1994)
Tabla 22.- CORRELACIÓN ENTRE ÍNDICE DE DAÑO GLOBAL Y ESTADOS DISCRETOS DE DAÑO
Tabla 23.- CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE DAÑO GLOBAL Y ESTADOS DISCRETOS DE DAÑO
Tabla 24.- CARACTERIZACIÓN DEL DAÑO PARA EL ÍNDICE DE DAÑO DE PARK, ANG Y WEN (1993), MODIFICADA
Tabla 25.- ÍNDICES DE DAÑO PARA IV NORMALIZADO
Tabla 26.- SISMOS vs ÍNDICES DE DAÑO (I_d)
Tabla 27.- RANGO DE VÍCTIMAS EN FUNCIÓN DEL ÍNDICE DE DAÑO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA
Tabla 28.- COORDENADAS DE LAS TRINCHERAS EXAMINADAS
Tabla 29.- EDIFICIO 01: MÓDULO DE DOCENTES
Tabla 30.- EDIFICIO 02: EDIFICIO DE CONSULTA EXTERNA
Tabla 31.- EDIFICIO 03: OFICINAS DE ADMINISTRACIÓN
Tabla 32.- EDIFICIO 04: ÁREA DE LAVADO Y COCINA
Tabla 33.- EDIFICIO 05: EDIFICIO DE EPIDEMIOLOGÍA
Tabla 34.- EDIFICIO 06: QUIRÓFANO
Tabla 35.- EDIFICIO 07: PLANTA ELÉCTRICA DE EMERGENCIA
Tabla 36.- EDIFICIO 08: BAÑOS Y BODEGA
Tabla 37.- EDIFICIO 09: EDIFICIO DE LABOR Y PARTO

**Tabla 21.- CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD
EN FUNCIÓN DEL ÍNDICE SÍSMICO**

Tabla 29.- FACTOR C_T POR TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL

**Tabla 30.- FACTOR EMPÍRICO R PARA
DIFERENTES MAGNITUDES Y ACELERACIONES**

Tabla 31.- FACTORES DE AMPLIFICACIÓN POR TIPO DE SUELO (S)

Tabla 32.- PERFIL DEL SUELO DE CRUZ ROJA (BELMONTE)

Tabla 33.- PERFIL DEL SUELO DE COORDENADA 1341.84° N, 576.04° E

**Tabla 35.- UBICACIÓN DE PRUEBAS DE GRADO
DE CORROSIÓN DE ACERO ESTRUCTURAL**

Tabla 36.- RESULTADOS DE RESISTENCIA DE NÚCLEOS DE CONCRETO

Tabla 37.- RESULTADOS DE MARTILLO SUIZO

**Tabla 38.- VALORES DE ACELERACIÓN ESPECTRAL PARA LAS
PRINCIPALES CIUDADES DE NICARAGUA**

**Tabla 39.- RIESGO DE EXCEDENCIA Y PERÍODO
DE RETORNO EN UNA EDIFICACIÓN**

Lista de Figuras

- Figura 1.-** LOCALIZACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO
EN LA CIUDAD DE MANAGUA
- Figura 2.-** MAPA DE RIESGO SÍSMICO DEL DISTRITO II
DE LA CIUDAD DE MANAGUA
- Figura 3.-** EGRESOS EN EL HOSPITAL VÉLEZ PAIZ
- Figura 4.-** PRODUCCIÓN DE SERVICIOS
DE CONSULTA DE MAYOR DEMANDA
- Figura 5.-** INDICADORES DE MOVIMIENTO HOSPITALARIO
- Figura 6.-** CLASIFICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS
PARA ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD
- Figura 7.-** ESPECTRO DE DISEÑO DE DEPÓSITOS
DE SUELOS TIPO II DE MANAGUA
- Figura 8.-** VISTA EN PLANTA DEL EDIFICIO DE EPIDEMIOLOGIA
- Figura 9.-** ESPECTRO DE ACELERACIONES PARA
SISMO OPERATIVO, M=6.2
- Figura 10.-** ESPECTRO DE ACELERACIONES
PARA SISMO ACCIDENTAL, M=6.75
- Figura 11.-** ESPECTRO DE ACELERACIONES
PARA SISMO OPERATIVO, M=6.2
- Figura 12.-** ESPECTRO DE ACELERACIONES
PARA SISMO ACCIDENTAL, M=6.75

Lista de Cuadros

Cuadro 1.- REGISTRO DE PERFORACIÓN DE SONDEO NO.1

Cuadro 2.- REGISTRO DE PERFORACIÓN DE SONDEO NO.2

Cuadro 3.- REGISTRO DE PERFORACIÓN DE SONDEO NO.3

Cuadro 4.- RESULTADOS DE LOCALIZACIÓN Y TAMAÑO DE ACERO ESTRUCTURAL EN COLUMNAS

Cuadro 5.- RESULTADOS DE LOCALIZACIÓN Y TAMAÑO DE ACERO ESTRUCTURAL EN VIGAS

Cuadro 6.- RESULTADOS DE LOCALIZACIÓN Y TAMAÑO DE ACERO ESTRUCTURAL EN PARED EN EJE 7

Cuadro 7.- RESULTADOS DE LOCALIZACIÓN Y TAMAÑO DE ACERO ESTRUCTURAL EN PARED EN EJE 16

Cuadro 8.- EFECTOS DE TERREMOTOS SOBRE SISTEMAS DE SALUD

Cuadro 9.- FORMATO DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA EMPLEADO EN EL HOSPITAL FVP

Cuadro 10.- PLANILLA DE INVENTARIO DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

Lista de fotos

- Foto 1.-** FOTO AÉREA DEL SITIO DE ESTUDIO
- Foto 2.-** VISTA FRONTAL DEL MÓDULO DE DOCENTES
- Foto 3.-** VISTA FRONTAL DE EDIFICIO DE CONSULTA EXTERNA
- Foto 4.-** ENTRADA A OFICINAS DE ADMINISTRACIÓN
- Foto 5.-** EQUIPO DE COCINA
- Foto6.-** EQUIPO DE LAVANDERÍA
- Foto 7.-** POCA SEPARACIÓN ENTRE EDIFICIO DE EPIDEMIOLOGÍA Y EL DE BODEGA
- Foto 8.-** MURO CON GRIETAS O FISURAS EN TODA LA JUNTA DE MORTERO
- Foto 9.-** PLANTA ELÉCTRICA
- Foto 10.-** ÁREA DE BAÑOS Y BODEGA
- Foto 11.-** VISTA LATERAL DEL EDIFICIO DE LABOR Y PARTO
- Foto 12.-** EQUIPO DE OFICINA
- Foto13.-** EQUIPO DE CAMPO
- Foto 14.-** PRUEBA DE MARTILLO SUIZO
- Foto 15.-** ENSAYO DE SPT
- Foto16.-** PRUEBA DE MARTILLO SUIZO EN COLUMNA DEL PRIMER PISO
- Foto 17.-** PRUEBA DE DISTRIBUCIÓN Y TAMAÑO DE ACERO ESTRUCTURAL
- Foto 18.-** PRUEBA DE CORROSIÓN
- Foto19.-** PRUEBA DE EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS
- Foto 20.-** SITIO DE EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS DE PARED NORTE DEL SEGUNDO PISO
- Foto21.-** NÚCLEOS EXTRAÍDOS DE PAREDES
- Foto 22.-** PRUEBA DEL GRADO DE CORROSIÓN DEL ACERO ESTRUCTURAL EN COLUMNA, C-1
- Foto23.-** PRUEBA DEL GRADO DE CORROSIÓN DEL ACERO ESTRUCTURAL EN COLUMNA, C-2
- Foto 24.-** PRUEBA DEL GRADO DE CORROSIÓN DEL ACERO ESTRUCTURAL EN COLUMNA, C-3
- Foto 25.-** PRUEBA DEL GRADO DE CORROSIÓN DEL ACERO ESTRUCTURAL EN COLUMNA, C-4
- Foto26.-** PRUEBA DEL GRADO DE CORROSIÓN DEL ACERO ESTRUCTURAL EN COLUMNA, C-5
- Foto27.-** VISTA FRONTAL DEL EDIFICIO
- Foto 28.-** ENTRADA LATERAL DERECHA
- Foto 29.-** ELEVACIÓN FRONTAL Y OESTE DEL EDIFICIO
- Foto 30.-** ELEVACIÓN FRONTAL Y NORTE DEL EDIFICIO
- Foto 31.-** ELEVACIÓN SUR DEL PABELLÓN OESTE
- Foto 32.-** ELEVACIÓN SUR DEL PABELLÓN NORTE Y CENTRAL



I.1.- Introducción

El área investigada al Noroeste de la ciudad de Managua (Anexo: **figura 19**), se sitúa en terreno plano sobre el cuál se emplaza el Hospital Vélez Paiz, siendo la mayoría de sus estructuras de mampostería confinada (80% del total evaluado). Dichas estructuras, fueron construidas con materiales de exigua calidad estructural, cuyos daños físicos se evidencian después del sismo de Octubre del 2004, también divulgados en diferentes diarios escritos y cadenas televisoras del país.

Este sitio fue seleccionado por los efectos negativos resultantes del evento sísmico de ese entonces, que ante una nueva situación inesperada, el Sistema eléctrico de emergencia y Área de control central de equipos de este hospital, pudiese verse interrumpido y/o destruido parcial o totalmente, así como su nivel de operabilidad actual. Sumado a esto, las características arquitectónicas no acordes con sus condiciones físicas fomentan el aumento de la inseguridad, tanto a usuarios, como a prestatarios de servicios médicos y de apoyo. Razón que indujo a los autores de la presente investigación a realizar este estudio.

Esta investigación tiene como objetivo determinar el grado de vulnerabilidad sísmica del Hospital Fernando Vélez Paiz, para la intervención preventiva de su infraestructura física con vista a fortalecer y/o ampliar Planes de Gestión de Riesgo de este hospital, asimismo contribuir a su sostenibilidad física y funcionalidad ante sismos.



I.2.- Antecedentes

Algunas referencias importantes y provechosas sobre estudios de Vulnerabilidad Sísmica en instalaciones hospitalarias se citan en forma breve a continuación:

Entre estos estudios, tenemos las aportaciones de trabajos investigativos realizados por Ing. Armando Ugarte S. (2002); estos tratan la reducción de la Vulnerabilidad Sísmica en instalaciones hospitalarias, de municipalidades del país como Moyogalpa; San José del Sur, Isla de Ometepe; Posoltega, Chinandega, Telica y Ciudad León, León.

Asimismo, se mencionan contribuciones de Hernández N. & Acuña J. (2005), quienes investigan la Vulnerabilidad Sísmica del Hospital Roberto Calderón Gutiérrez.

De manera particular, se cuenta con la participación efectiva de la empresa nicasolum (2005), quienes estudian la resistencia del concreto, el grado de corrosión y distribución del acero, para diferentes componentes estructurales del Hospital Vélez Paiz. En ese mismo año, la Empresa Depsa (2005), realiza estudio encaminado al Diagnóstico y Readecuación Estructural de un Módulo de tres plantas de ese Hospital.



I.3.- Justificación

Más del 60% de las instalaciones hospitalarias que se ubican en la ciudad de Managua, tienen una antigüedad superior a los 30 años, las instalaciones del hospital Vélez Paiz, por ejemplo, tienen alrededor de 60 años de construcción. El deterioro normal producido por el paso del tiempo, los escasos recursos, la reparación, y mantenimiento de los equipos e infraestructuras, son algunas de las razones que inciden en el estado de precariedad en las condiciones de funcionamiento de hospitales capitalinos, la cual influye de manera directa sobre la calidad y eficiencia de la atención que éstos prestan.

Lo anterior sumado al crecimiento natural de la población, constituye otro de los factores del actual déficit de atención en estos hospitales.

En particular, el Hospital Vélez Paiz por su alta especialización, tipología estructural inadecuada y ubicación geográfica, constituye la cartera de mayor importancia con relación a servicios médicos prestados. Sin embargo, la ausencia de calidad estructural en muros perimetrales de este hospital, hoy día se hayan severamente dañados. Esto conlleva a la disminución de la resistencia y rigidez en todo el sistema estructural ante sismos.

Por ello, el presente estudio contribuye a:

- 1.- Brindar aportes que ayuden a la actualización del Mapa de riesgo sísmico de la ciudad de Managua, relacionado con los hospitales vulnerables.
- 2.- Conocer la Vulnerabilidad sísmica de un hospital especializado en atención Materno infantil.
- 3.- Determinar el grado de daño *físico* y *económico* asociado al Hospital Fernando Vélez Paiz, de ocurrir un movimiento sísmico del terreno con magnitud e intensidad, importantes para la estructura y todos los elementos expuestos a ese evento natural.



- 4.- Beneficiar de manera indirecta ocupantes del hospital, entre pacientes residentes, pacientes transitorios, médicos, enfermeros, personal administrativo, empleados, funcionarios, visitantes, estudiantes, y recién nacidos.
- 5.- Proporcionar al área administrativa de ese Hospital, conocimientos actualizados sobre puntos fuertes y débiles de dicha estructura, indicados en el presente documento.
- 6.- Apoyo a estudios de Viabilidad financiera y de la conservación de vidas, por medio de medidas de mejora de las instalaciones de dicho hospital que lo requieran.
- 7.- Aplicar Metodología propuesta a otros hospitales con descripción estructural similar al Vélez Paiz.
- 8.- Finalmente, aportar a la reducción del riesgo sísmico de ese y otros hospitales y unidades de salud asentados en la ciudad de Managua, al conocer y reducir el componente de vulnerabilidad estructural en edificaciones de servicios médicos.



I.5.- Objetivos de esta investigación

I.5.1.- Objetivo General:

Determinar grado de Vulnerabilidad Sísmica y nivel de Pérdidas Económicas y de Vidas Humanas, que habrá en el Hospital Fernando Vélez Paiz ante la ocurrencia de sismos que alcancen aceleraciones importantes en el suelo del sitio de investigación.

I.5.2.- Objetivos Específicos:

I.5.2.1.- Determinar desempeño estructural de cada edificación estudiada, basado en la resistencia y geometría de miembros estructurales.

I.5.2.2.- Calcular Índice Sísmico de Capacidad estructural y de Demanda sísmica, que justifique la utilización de Índice de Seguridad Sísmica (**Is**) en ese lugar.

I.5.2.3.- Determinar curva de correlación entre Índice de Seguridad Sísmica (**Is**) e Índice de Daño (**Id**), que facilite el cálculo de Pérdidas en el Hospital. Vélez Paiz.

I.5.2.4.- Calcular Pérdidas Económicas y Pérdidas Humanas para cuatro escenarios de sismos importantes: sismo de $0.10g$, sismo de $0.19g$, sismo de $0.30g$ y sismo de $0.40g$, mediante correlación entre **Id** e **Is**.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

II.1.- Edificaciones esenciales

II.1.1.- Introducción

Las edificaciones esenciales son instalaciones de especial importancia que debido a la relevante función que desempeñan en la vida social de una comunidad, imponen la necesidad de evaluar tanto su vulnerabilidad física como funcional, y crear un cuerpo de prescripciones específicas que permitan adecuar las existentes y construir las nuevas con requisitos compatibles a su nivel de importancia.

Las características de ocupación de estas instalaciones, el importante papel que ejercen durante la atención de una crisis sísmica, el carácter vital y estratégico de la preservación de su funcionalidad, las características de equipamiento y contenido, así como los elevados costos de reposición de daños, hacen que las edificaciones esenciales requieran consideraciones especiales en relación con la *mitigación del riesgo sísmico*.

El presente capítulo tiene un sentido básicamente conceptual. Describe un marco contextual que centra su atención en las edificaciones esenciales. Se puntualiza la definición de las edificaciones esenciales y se describen sus características fundamentales, destacando las principales diferencias con otras edificaciones y su posición de acuerdo con la clasificación de edificaciones según su uso, importancia y riesgo de fallo, tradicionalmente reconocida en los códigos.

Finalmente, se describen los aspectos normativos que los códigos de diseño sísmico atribuyen a las *edificaciones esenciales*, haciendo una evaluación crítica de los aspectos relacionados con la manera de diseñar, el factor de importancia usado, los controles de desplazamiento lateral y, las medidas de protección de los componentes no estructurales.

II.1.2.- Concepto de Edificación Esencial

II.1.2.1.- Definición

Son aquellas estructuras que por su importancia estratégica para atender a la población inmediatamente después de ocurrido un desastre, es necesario que permanezcan operativas luego de un sismo intenso²⁷. Algunas otras definiciones similares propuestas por diferentes comités son las siguientes¹³:



- a) Edificaciones consideradas críticas para las operaciones de atención de la emergencia sísmica (SEAOC, 1995).
- b) Edificaciones vitales para la respuesta ante la emergencia y posterior recuperación del desastre (FEMA, 1999).
- c) Edificaciones donde funcionan instalaciones necesarias en la recuperación posterior al sismo, que deben permanecer en condiciones de funcionamiento durante y después del mismo (ATC 3-06, 1978).

II.1.2.2.- Clasificación

Utilizando como base la definición propuesta, es posible clasificar las edificaciones esenciales de acuerdo a la función específica que cumplen dichas instalaciones en una comunidad. Si bien la lista puede hacerse interminable, su identificación y jerarquización depende de la importancia y la función que desempeñe en el momento de una crisis sísmica.

En general, para efectos del diseño estructural de edificios nuevos o la *evaluación estructural de edificaciones existentes*, se debe considerar que las estructuras se pueden clasificar en: estructuras esenciales o Grupo A, estructuras de normal importancia o Grupo B y estructuras de menor importancia o Grupo C.²⁸

Estructuras esenciales (Grupo A):

En base a la importancia y función específica que ejerce una edificación esencial en el momento de una crisis sísmica, éstas suelen clasificarse en las siguientes categorías¹³:

- A. Centros de asistencia primaria en caso de emergencia como defensa civil, protección civil y primeros auxilios
- B. Estaciones de bomberos, de policía y cuarteles
- C. Edificaciones Gubernamentales o Municipales de importancia
- D. Escuelas, colegios, universidades y otros institutos educacionales
- E. *Hospitales, centros de salud y clínicas*

De estas cinco categorías, los hospitales y centros de salud, constituyen el principal representante de las edificaciones esenciales, puesto que requieren consideraciones especiales en relación con la *mitigación del riesgo* debido a sus características de ocupación y al papel que desempeñan durante situaciones de *catástrofes* o de *crisis sísmicas*, momento en el cual se debe preservar la vida y la salud, especialmente en el diagnóstico y tratamiento de heridas y enfermedades.



Es evidente que, en caso de desastre, un hospital debe continuar funcionando y brindar tratamiento a pacientes alojados en sus instalaciones, asimismo debe atender las personas lesionadas por el mismo evento. El edificio, las instalaciones y su dotación, deben permanecer en condiciones de servicio, más aún, si existen pocas alternativas para sustituir su función, ya que los daños de un hospital estratégicamente importante pueden causar una enorme crisis debido a la falta de alternativas en la zona y a la necesidad de atención urgente. Más adelante, en el Acápite **II.2**, se aborda ampliamente esta última categoría.

II.1.2.3.- Las Edificaciones esenciales en las Normas Sísmicas

Los códigos de diseño sísmico enfocan la clasificación de las edificaciones según su importancia, uso y riesgo de fallo. En algunos casos, la descripción es exhaustiva, minuciosa, taxativa, mientras que en otros, la descripción es somera, genérica y ambigua. Algunos usos específicos se clasifican de manera diferente en los diversos códigos, sin embargo, prácticamente todos coinciden en destacar a las instalaciones de la salud como el prototipo de las edificaciones esenciales.

Siguiendo la definición empleada en algunos de los principales códigos sísmicos existentes (IAEE, **1996**) y las tendencias propuestas por el Comité VISION 2000 (SEAOC, **1995**) es posible identificar las siguientes categorías generales:

a) Edificaciones de extraordinaria importancia o de seguridad crítica

Edificaciones donde pequeños daños pueden dar lugar a grandes catástrofes. Aquellas de importancia estratégica o cuyo fallo puede provocar cuantiosas pérdidas humanas, económicas e inducir catastróficos daños adicionales. En esta categoría destacan, las plantas nucleares, los depósitos de materiales tóxicos, explosivos o inflamables, los centros que utilicen materiales radiactivos, entre otros. El diseño de este tipo de edificaciones generalmente es objeto de normativas particulares y criterios específicos (USNRC, **1997**), que escapan del alcance de los códigos de diseño sísmico convencionales, los cuales normalmente están orientados al diseño de edificaciones de comportamiento tipificable.

b) Edificaciones esenciales, riesgosas o de importancia especial

Además de las instalaciones esenciales descritas en el apartado anterior (hospitales, escuelas, estaciones policiales, de bomberos, centros de control de emergencia, centros de comunicación, etc.), también se incluyen dentro de esta categoría como instalaciones riesgosas, aquellas que contienen grandes cantidades de material peligroso, que puede ser contenido dentro de los límites de las instalaciones y cuyo impacto público es mínimo (SEAOC, **1995**). También se incluyen las edificaciones de uso público o privado, densamente ocupadas ocasionalmente o en forma temporal, tales como graderías, cines, teatros, salas de concierto, edificios con altas capacidades de ocupación, cárceles, etc.



c) Edificaciones convencionales o de importancia ordinaria

Tradicionalmente los códigos sísmicos dirigen su atención a este tipo de edificaciones. Constituyen las instalaciones comunes o básicas que no se clasifican como instalaciones críticas, esenciales o riesgosas. En dicho grupo se encuentran las edificaciones de uso público o privado de baja ocupación, destinadas a uso residencial, viviendas, oficinas, comercio, hoteles, bancos, restaurantes, museos, librerías, almacenes, depósitos, plantas e instalaciones industriales, estacionamientos, etc.

d) Edificaciones de importancia secundaria

Edificaciones cuyo colapso no representa riesgo de pérdida de vidas humanas o interrupción de servicios, en general construcciones aisladas o provisionales, no destinadas a la habitación o al uso público, aquellas no clasificables en los grupos anteriores y cuyo colapso no pueda causar daños a edificaciones de otros grupos. Este tipo de edificaciones generalmente está exento de requerimientos sismorresistentes.

II.1.3.- Principales características de las edificaciones esenciales

II.1.3.1.- Densidad de ocupantes para diferentes horarios

A continuación se presenta una comparación sobre algunas características de edificaciones destinadas a diferentes usos. En particular se destaca los usos residencial, educacional y hospitalario, con el objeto de ilustrar las significativas diferencias que justifican un tratamiento diferencial en cuanto a las consideraciones de riesgo asociado (Safina, 1998).

La **Tabla 1**, presenta la densidad media de ocupantes, expresada en número de personas por cada 100 metros cuadrados de planta útil, para edificaciones destinadas a diferentes usos, en dos horarios diferentes, las 3:00 p.m. y 3:00 a.m. (ATC-13, 1985).

Tabla 1.- DENSIDAD DE OCUPANTES PARA DIFERENTES HORARIOS

Uso de la edificación	N° Personas/100m ²		
	9:00am-3:00pm	3:00pm-3:00am	3:00am-9:00am
Residencial	1.2	3.1	--
Educación	20.0	0.5	--
Gubernamental	4.0	--	--
Servicios de emergencia	3.0	--	2.0
<i>Hospital</i>	<i>5.0</i>	<i>2.0</i>	<i>4.0</i>

(Melone, S., 2002)

Se aprecia el significativo incremento de la densidad de ocupantes que sufren las edificaciones educacionales en los horarios de actividad escolar respecto a la densidad de ocupantes de los otros usos. También destaca cómo durante los horarios diurnos se incrementa sensiblemente la densidad de ocupantes de los hospitales, edificaciones gubernamentales y servicios de emergencia, respecto al uso residencial.



II.1.3.2.- Distribución de equipamiento y/o contenido

La **Tabla 2**, presenta el valor medio de equipamiento y/o contenido como porcentaje del valor base del edificio, para edificaciones destinadas a diferentes usos. Entre dicho equipamiento y/o contenido se destaca el residencial propiamente dicho, oficina, eléctrico, mecánico, alta tecnología, así como vehículos (ATC-13, **1985**).

Tabla 2.- DISTRIBUCIÓN DE EQUIPAMIENTO Y/O CONTENIDO

% Equip.	Residencial	Educación	Gubernam.	Emergencias	Hospital
Residencial	30	--	--	5	--
Oficina	--	20	25	20	15
Eléctrico	2	5	2	5	15
Mecánico	2	5	2	5	70
Alta Tecn.	--	5	5	20	80
Vehículos	15	10	--	25	5
Total	49	45	34	80	185

Se observa una diferencia sustancial entre las proporciones de equipamiento y/o contenido según el uso al cual se destine la edificación. Destaca por su significativa proporción el contenido de tipo mecánico y de alta tecnología presente en los hospitales, respecto a los otros usos. Asimismo, que el contenido de los hospitales representa prácticamente el doble (185%) del valor base de la edificación.

II.1.3.3.- Impacto por fallo de servicios

La **Tabla 3**, presenta el factor de impacto por fallo de servicios sobre la funcionalidad de la edificación. Este factor se evalúa en un rango que va desde 0 (sin impacto) hasta 1 (impacto total) y cuantifica el grado de dependencia que tiene una instalación al funcionamiento de un determinado servicio (ATC-13, **1985**).

Tabla 3.- IMPACTO POR FALLO DE SERVICIOS

Servicio	Residencial	Educación	Hospital
Aguas Blancas	0.4	0.1	0.8
Aguas servidas	0.5	0.2	0.8
Electricidad	0.2	0.0	0.8
Gas	0.2	0.0	0.4
Teléfono	0.1	0.0	0.2
Radio/TV	0.0	0.0	0.0
Vialidad de acceso	0.2	0.2	0.9

Se observa cómo para el caso de hospitales es fundamental el funcionamiento de los servicios sanitarios de aguas blancas, aguas servidas y el servicio de electricidad. Además es determinante la vialidad de acceso, pues estos servicios son indispensables para



garantizar su función. Este hecho pone de manifiesto la estrecha relación y/o interdependencia que existe entre las líneas vitales y las edificaciones esenciales.

II.1.3.4.- Costo estimado de reposición de daños

La **Tabla 4**, presenta el costo estimado de reposición de daños debido a sismos (en \$/m² de construcción), para edificaciones destinadas a uso residencial, educacional y hospitalario. Este costo estimado se expresa como un rango y se ha determinado en base a los costos medios por metro cuadrado de construcción existentes en California para el año 1985 (ATC-13, **1985**). Se aprecia una diferencia sustancial entre el costo de reposición asociado a un hospital comparado con el de una edificación educacional o residencial, representando prácticamente el doble de esta última.

Tabla 4.- COSTO ESTIMADO DE REPOSICIÓN DE DAÑOS

USD/m ²	Residencial	Educación	Hospital
Costo de reposición	500-600	600-850	900-1000

La **tabla 5**, muestra de manera cualitativa, la importancia relativa de los costos de reposición de daños en las instalaciones esenciales y líneas vitales, en términos de costos directos o indirectos (Ho et al., **1995**).

Tabla 5.- IMPORTANCIA REALTIVA DE COSTOS DE REPOSICIÓN DE DAÑOS

Instalaciones Esenciales/Líneas vitales	Costo directo	Costo social (corto plazo)	Costo social (largo plazo)	Pérdida fiscal
Hospital	A	A	A	M
Estación de Policía	B	A	A	B
Estación de Bomberos	B	A	A	B
Escuela	B	A	M	B
Aeropuerto	A	A	A	A
Estación ferrocarril	B	A	M	A
Refugios	M	A	M	A
Tuberías Agua	B	A	A	M
Tubería Gas	B	A	A	M
Línea Telefónica	B	A	A	M
Línea eléctrica	B	A	A	M
Autopistas	B	M	M	M
Línea de ferrocarril	B	M	M	M

A=Alta; M=Media; B=Baja



II.1.4.- Aspectos Normativos

II.1.4.1.- Estándares Internacionales

Si bien existe consenso en la mayoría de los códigos de diseño sísmico en reconocer que las edificaciones esenciales son instalaciones a las que debe prestarse atención especial, su tratamiento no se hace de manera uniforme. En estos códigos, se encuentran decisiones implícitas que pretenden garantizar un desempeño eficiente durante un sismo. Entre estas, vale la pena mencionar aquellas relacionadas con la filosofía de diseño, la asignación de factores de importancia, las medidas de control de desplazamientos y finalmente, las medidas orientadas a la protección de componentes no estructurales.

II.1.4.1.1.- Filosofía de Diseño

La mayoría de los códigos de diseño sísmico establecen como filosofía general de diseño sismorresistente que la seguridad de las vidas humanas es la consideración más importante en el diseño de un edificio (ATC 3-06, **1978**). En este sentido, los requisitos y recomendaciones de los códigos pretenden dar prescripciones de diseño que permitan a la mayoría de edificios cumplir con los siguientes lineamientos:

- a) Resistir sin daño sismos pequeños
- b) Resistir sismos moderados sin que haya daño estructural de importancia, siendo admisible daños en elementos no estructurales.
- c) Resistir un sismo fuerte sin falla grave del sistema estructural del edificio, sus miembros componentes o equipos, manteniendo la seguridad a la vida. Además deben disponerse de criterios de diseño que le permitan a ciertas instalaciones esenciales permanecer en operación durante y después del sismo para la seguridad y bienestar del público en caso de una emergencia.

De esta manera, se pretende garantizar en la mayoría de estructuras un adecuado margen de seguridad y una razonable economía en la construcción a costa de tolerar cierta cantidad de daño como consecuencia de un terremoto.

Aunque esta filosofía esta completamente de acuerdo con el concepto de diseño exhaustivo y ha sido aceptada prácticamente por toda la comunidad internacional, las actuales metodologías de diseño contempladas en los códigos sísmicos no llegan a alcanzar sus metas y objetivos, pues se orientan fundamentalmente a prevenir la pérdida de vidas humanas como consecuencia del colapso estructural de edificaciones, basándose en un terremoto de diseño asociado a un estado límite último, de seguridad o supervivencia. En esta circunstancia, el edificio no debería colapsar o sufrir daño serio capaz de poner en peligro vidas humanas, sin embargo, se puede tolerar cierto nivel de daños estructurales y no estructurales.



La práctica de diseño de edificaciones que sigue la mayoría de los códigos sísmicos, no limita el daño, no mantiene funciones ni facilita la reparación, pues esto forma parte del llamado *diseño exhaustivo*, donde no es suficiente especificar el terremoto de diseño asociado a un nivel de seguridad o supervivencia, sino que se requiere especificar otros terremotos de diseño, asociados a otros niveles de desempeño, que complementen así los requerimientos de la citada filosofía general de diseño sismorresistente (Bertero, 1992).

Para satisfacer los márgenes de seguridad impuestos en estructuras que pueden tolerar cierto grado de daño, como podrían ser las edificaciones convencionales, es necesario definir al menos dos de los siguientes terremotos característicos:

- a) Terremoto de diseño asociado al *nivel de servicio* durante el cual, el sistema completo (suelo, cimientos, superestructura y componentes no estructurales) deberían permanecer sin daño alguno; es decir, en el rango elástico.
- b) Terremoto de diseño asociado al *nivel funcional u operacional* durante el cual, el sistema completo podría sufrir algún daño no estructural e incluso estructural, pero sin interrumpir su funcionamiento u operación.
- c) Terremoto de diseño asociado al *nivel de seguridad o supervivencia* durante esta condición extrema, el edificio no debería sufrir daño que pueda poner en peligro las vidas humanas, ni colapsar.

Las edificaciones esenciales deberían diseñarse de manera tal que se garantizase su funcionamiento después de pequeños, moderados y grandes terremotos, de alta, ocasional y baja frecuencia, respectivamente. Ello implica que ante los diferentes niveles de movimiento esperados o terremotos de diseño, su respuesta debería permanecer prácticamente en el llamado rango elástico y por tanto, minimizados los daños sobre componentes estructurales y no estructurales. Además, la respuesta del edificio debe ser tal que se protejan los servicios críticos y los equipamientos especiales, para evitar la interrupción de la función de estas instalaciones y garantizar su funcionamiento en la atención de la crisis sísmica.

II.1.4.1.2.- Factor de importancia

Como una medida para incrementar el margen de seguridad asociado al diseño de edificaciones, la mayoría de códigos exigen la aplicación del llamado *Factor de Importancia*, que depende de la importancia, uso, riesgo de fallo y categoría de ocupación de la edificación. Su valor varía entre la unidad, para instalaciones que pertenecen al grupo de edificaciones convencionales o de importancia ordinaria, hasta valores de 1.6, es decir, incrementando la acción sísmica hasta un 60%, para las edificaciones esenciales. Este factor pretende incrementar o aumentar el valor de la acción sísmica de diseño como estrategia para incrementar el margen de seguridad asociado a estas edificaciones. Su selección es independiente de la zonificación sísmica y de las eventuales consecuencias catastróficas de las posibles fallas.



La **tabla 6**, presenta el factor de importancia asignado por diferentes códigos de diseño sísmico para edificaciones destinadas a uso residencial, educacional y hospitalario.

Tabla 6.- FACTOR DE IMPORTANCIA CONTEMPLADO EN DIFERENTES CÓDIGOS, SEGÚN EL USO

Factor I	Residencial	Educación	Hospital
Colombia	1.0	1.10	1.20
Chile	1.0	1.20	1.20
Cuba	1.0	1.25	1.25
Venezuela	1.0	1.30	1.30
EEUU (UBC)	1.0	1.00	1.25
Francia	1.0	1.14	1.28
España	1.0	1.30	1.30
Nueva Zelanda	1.0	1.20	1.30
Italia	1.0	1.20	1.40
Eurocódigo	1.0	1.20	1.40
México	1.0	1.50	1.50

(IAEE, 1996)

¿Esta estrategia es apropiada y suficiente para dotar de la seguridad que estas edificaciones requieren?, ¿son estos valores suficientes o debemos recurrir a otros criterios?

Debe tenerse presente que detrás de esta estrategia hay una inconsistencia cuando se trata de edificaciones de un mismo grado de importancia ubicadas en diferentes zonas sísmicas, ya que tiende a dotar de mayor margen de seguridad a las edificaciones ubicadas en las zonas de menor riesgo sísmico (Grases, **1991**).

II.1.4.1.3.- Control de los desplazamientos

El diseño tradicional de edificaciones sometidas a sismos establece como estrategia la estimación de la acción sísmica como una fuerza de diseño que se traduce en desplazamientos compatibles con las propiedades mecánicas del sistema. Aunque este procedimiento está repleto de hipótesis simplificadoras e incertidumbres, constituye el fundamento del análisis y diseño sismorresistente reconocido en la actualidad y permite estimar los desplazamientos inelásticos de la estructura (Bertero y Bertero, **1992**).

Los grandes desplazamientos laterales ponen en peligro la seguridad, debido al daño que pueden inducir sobre los elementos no estructurales, sobre todo si estos están adosados o vinculados a la estructura y son susceptibles de sufrir daños por deformaciones excesivas de la misma.

Partiendo de la premisa que el daño está asociado al valor del desplazamiento relativo inelástico de un nivel con respecto al inmediatamente anterior, conocido como *deriva de entrepiso* δ , los códigos de diseño sísmico establecen como estrategia de control la limitación de la *deriva normalizada*, entendida como el cociente de la deriva de entrepiso (δ) y la altura libre (Δh), a unos valores máximos permisibles que generalmente oscilan



alrededor del 1%. Sin embargo, este límite depende estrechamente de la fragilidad y resistencia de los materiales y componentes de los elementos no estructurales.

La **tabla 7**, presenta la deriva de entrepiso normalizada máxima, tolerada por los diferentes códigos de diseño sísmico para edificaciones. Cuanto menor sea la deriva de entrepiso normalizada, más estricta es la exigencia de diseño.

Tabla 7.- DERIVA DE ENTREPISO NORMALIZADA, CONTEMPLADA EN LOS DIFERENTES CÓDIGOS

Código Sísmico	Deriva Entrepiso: $\delta/\Delta h$ (%)
Colombia	1.5
Chile	0.3
EEUU (UBC)	0.5
Eurocódigo	1.0
Japón	0.5
México	0.6
Nueva Zelanda	2.0
Venezuela	1.5

(EERI, 1996)

Considerar la reducción de la fuerza debido al comportamiento inelástico solamente en relación con la deformación máxima alcanzada en cualquier instante del sismo o la máxima energía disipada en un ciclo, sin atender a su duración, hace que se dejen de lado factores tan importantes como los asociados a la fatiga progresiva de los materiales, la degradación de la rigidez, la disminución de la resistencia y el aumento progresivo de las deformaciones, así como otros menos previsibles como el nivel de degradación acumulado entre sismos sucesivos.

II.1.4.1.4.- Protección de componentes no estructurales

Los componentes no estructurales de una edificación sometida a movimientos sísmicos deben soportar los movimientos de la estructura y en algunos casos su seguridad se encuentra más comprometida que la misma estructura (Schiff y Tang, **1998**). Entre estos componentes no estructurales destacan los equipos mecánicos y eléctricos, los elementos arquitectónicos, el propio contenido de la edificación y todos aquellos elementos que no forman parte del sistema estructural. En el caso particular de instalaciones de la salud, la alta proporción de equipamiento y/o contenido mecánico y de alta tecnología, indispensable para la atención de emergencias sanitarias y con un elevado valor económico, pone de manifiesto la imperativa necesidad de considerar adecuadamente y con la importancia que se merece el diseño sísmico de los componentes no estructurales presentes en las edificaciones esenciales.

Una revisión de los códigos de diseño (IAEE, **1996**), permite establecer una primera clasificación de los elementos no estructurales en dos grupos: componentes arquitectónicos y componentes mecánicos y eléctricos.



a) Componentes arquitectónicos:

Paredes, tabiques, divisiones y muros no estructurales; Antepechos, parapetos, ornamentos, cornisas, chimeneas; Conexiones de elementos prefabricados, paneles de vidrio; Techos, cielos rasos, plafones; Subestructuras en voladizo, apéndices; Repisas, letreros, anuncios.

b) Componentes mecánicos y eléctricos:

Equipos eléctricos de emergencia; Instalaciones contra incendio: detección, alarma y extinción; Salas de máquinas, suspensión y guía de ascensores; Sistemas de comunicación y emergencia; Calderas, hornos, incineradores, calentadores; Motores, transformadores, subestaciones; Ductos, tuberías, bandejas eléctricas; Equipos aire acondicionado y/o calefacción, ventiladores; Estanques a presión, estanques de almacenamiento, sistemas de tubería; Paneles de control, estantes de baterías.

El tratamiento que los códigos ofrecen al diseño de estos elementos presentan una diversidad de enfoques, clasificaciones y metodologías, más o menos complicadas, repletas de subjetividades y arbitrariedades, que conducen a resultados ambiguos e inconsistentes cuando se comparan (Soong, **1993**). Sin embargo, todos coinciden en establecer una fuerza de diseño para el componente no estructural, formulada como una fuerza lateral estática equivalente aplicada en el centro de gravedad del componente analizado.

En edificaciones esenciales y sobre todo en instalaciones médico-asistenciales, tales como hospitales y centros de salud, se evidencia un importante esfuerzo legislativo por parte de la comunidad internacional, de impulsar leyes y reglamentos que persiguen la reducción de la vulnerabilidad sísmica de dichas edificaciones con especial atención a la protección de componentes no estructurales, tales como las iniciativas impulsadas por la *Oficina de Planeación y Desarrollo de Hospitales* (OSHPD) (Thiel et al., **1997**; Staehlin, **1997**), las acciones emprendidas por los gobiernos de Chile, Colombia, México y Perú para cumplir total o parcialmente con las recomendaciones emanadas de la Conferencia Internacional sobre Mitigación de Desastres en Instalaciones de Salud (OPS, **1999**), el estudio de vulnerabilidad sísmica de estructuras importantes de la ciudad de Guayaquil, Ecuador (OPS, **1999**).



II.1.4.2.- Estándares Nacionales

El actual código de construcción de Nicaragua (RNC-07), contempla el cálculo de un coeficiente sísmico como base para la determinación de todas las fuerzas de diseño actuantes sobre una estructura. Por ello, a continuación se presentan bases para la determinación de este coeficiente.

II.1.4.2.1.- Coeficiente Sísmico

Una vez, reunida toda esa información se calcula el coeficiente sísmico de acuerdo con la siguiente expresión:

$$c = \frac{FAD.a_0.S * I}{\Omega Q' \alpha} \quad (1)$$

Este coeficiente sísmico define una fuerza cortante que actúa en la base del edificio, entendido como un porcentaje del peso total de la estructura.

a) Aceleración espectral

Es la máxima aceleración que experimentará el suelo ante un terremoto de diseño de magnitud e intensidad esperada. En la **tabla 38**, se presenta una lista de valores de aceleraciones espectrales por ciudad del país.

Según Melone, S., (2002), los *terremotos de diseño* pueden ser asociados a tres niveles de desempeño esperados cuando se trata de una edificación hospitalaria, como son: nivel de servicio, nivel funcional u operacional, y nivel de seguridad o supervivencia. Este último, representa una condición extrema, para la cual el edificio no debe sufrir daño que pueda poner en peligro las vidas humanas, ni colapsar. Bajo esta perspectiva se deben construir curvas de los *espectros de respuesta elástica* que permitan estimar de manera bastante aproximada la demanda sísmica impuesta sobre la estructura en función de su período fundamental de vibración.

b) Espectro de Diseño

En el diseño de estructuras no pueden utilizarse espectros de respuesta, ya que la obtención de estos se reducen a la descripción de un terremoto dado. Las curvas espectrales para diseño deben considerar el efecto de varios terremotos, es decir, deben ser representativos de la sismicidad propia de cada región, en particular de la zona de estudio.

Varias metodologías, se basan en procedimientos estadísticos, que tienen en cuenta la dispersión de datos, proporcionando resultados confiables. A los efectos del diseño resulta conveniente que las curvas espectrales se suavicen con líneas envolventes para evitar los valles o variaciones bruscas que surgen de las formas complejas que presentan los espectros



de respuesta. Es por ello que los *espectros de diseño* que definen los códigos están formados por una serie de líneas o curvas, las cuales pueden expresarse mediante ecuaciones simples que definan la aceleración espectral del suelo. A continuación se muestran las ecuaciones de las curvas de *espectros de diseño* del suelo de Managua²⁸.

$$a = \begin{cases} S.a_0 \left[1 + (FAD - 1) \frac{T}{0.10} \right] & \text{si, } T < 0.10\text{seg} \\ S(FAD.a_0) & \text{si, } 0.10\text{seg} \leq T < 0.60\text{seg} \\ S(FAD.a_0) \left(\frac{0.60}{T} \right) & \text{si, } 0.6\text{seg} \leq T \leq 2\text{seg} \\ S(FAD.a_0) \left(\frac{1.2}{T^2} \right) & \text{si, } T > 2\text{seg} \end{cases} \quad (1.1)$$

T: Período fundamental de la estructura

En **figura 1**, se muestra el *espectro de diseño* de suelos Tipo II (tipificados en el RNC-07), de la ciudad de Managua. Las velocidades de corte de estos suelos suele encontrarse en el rango de 360m/s a 750m/s. Según resultados gráficos presentados en monografía de Parrales E., R. & Picado R., M. (2001), este tipo de suelo es el más típico en toda la ciudad.

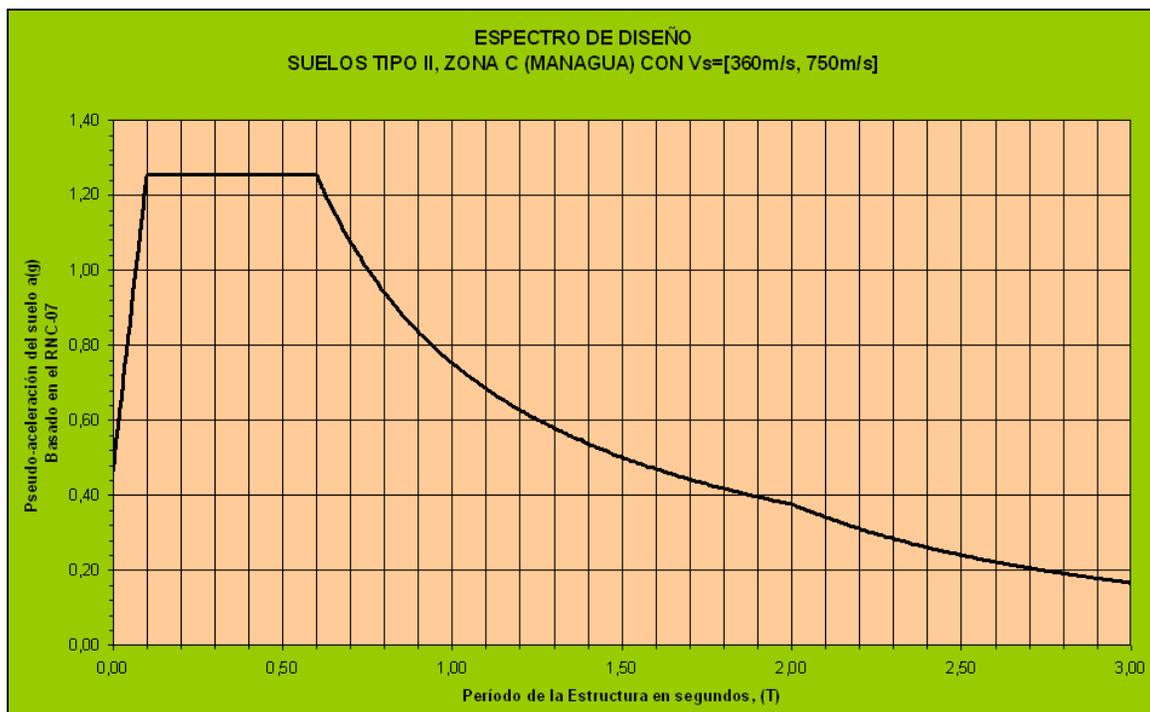


Figura 1.- ESPECTRO DE DISEÑO DE DEPÓSITOS DE SUELOS TIPO II DE MANAGUA
FUENTE: BASADO EN EL REGLAMENTO NACIONAL DE CONSTRUCCIÓN- 2007.



c) Período Fundamental de la estructura

El período fundamental de un edificio puede ser calculado de tres maneras: mediante técnicas de dinámica estructural, técnicas de mecánica general, o mediante la tipificación del diafragma (flexible o rígido) y las cantidades de luces del edificio en la dirección de análisis²⁹.

Técnicas de Mecánica General:

Es el período fundamental de un edificio, basado en las propiedades de resistencia del sistema a las fuerzas sísmicas, en la dirección de análisis. Para obtener una aproximación del período del edificio, se recomienda utilizar las siguientes fórmulas²⁷:

$$T = C_t h_n^{3/4}, \text{ para estructuras tipo 1} \quad (2)$$

$$T = 0.09 * \left(\frac{h_n}{\sqrt{L}} \right), \text{ para estructuras del tipo 2 al 6} \quad (3)$$

Donde:

$C_t = 0.035$ para marcos de acero

$C_t = 0.061$ para marcos de concreto

h_n : Altura desde la base hasta la parte más alta del edificio en metros.

L : Longitud del edificio en la dirección bajo consideración

Técnicas de Dinámica Estructural:

Es el período fundamental del edificio que depende del peso, la fuerza cortante y el desplazamiento que experimentará cada piso en la dirección de análisis establecida. Se calcula por la siguiente ecuación:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum W_i x_i^2}{g \sum F_{S_i} x_i}} \quad (4)$$

Donde:

x_i : Desplazamiento lateral del nivel i

F_{S_i} : Fuerza de corte actuando en el nivel i

W_i : Peso del nivel i

d) Condiciones locales del Suelo

Las características y profundidades del suelo subyacente tienen un efecto significativo sobre la intensidad de la sacudida y la severidad de los daños. Las ondas sísmicas pueden ser amplificadas a través de estratos de suelos aluviales blandos y la respuesta de los edificios puede aumentar considerablemente si el período natural de vibración de los



mismos coincide con el período predominante de la columna de suelo, presentándose el fenómeno de resonancia.²⁹

Período Predominante del suelo:

Es la relación de la altura de la columna de suelo a la velocidad de las ondas de corte en actuando en ella. Se determina por medio de la siguiente expresión²:

$$T_s = \frac{4 * H}{R * V_s} \quad (5)$$

Donde:

H: Profundidad de la columna de suelo (m).

V_s: Velocidad de propagación de las ondas de corte a través de la columna de suelo (m/s).

R: Factor empírico que depende de la magnitud y la aceleración del evento sísmico (ver **tabla 8**).

Tabla 8.- FACTOR EMPÍRICO R PARA DIFERENTES MAGNITUDES Y ACELERACIONES

Magnitud del Sismo	Aceleración (g)	Factor R
6.0	0.10	0.90
6.0	0.20	0.80
7.0	0.30 - 0.40	0.70

(Sauter, F., 1989)

Tipo de suelo (S)

Para tomar en cuenta los efectos de amplificación sísmica debidos a las características del terreno, los suelos deben ser agrupados en cuatro tipos, los cuales son:

Tipo I: Afloramiento rocoso con $V_s > 750\text{m/s}$

Tipo II: Suelo firme con $360\text{m/s} < V_s \leq 750\text{m/s}$

Tipo III: Suelo moderadamente blando, con $180\text{m/s} \leq V_s \leq 360\text{m/s}$

Tipo IV: Suelo muy blando, con $V_s < 180\text{m/s}$

Donde, V_s es la velocidad promedio de las ondas de corte superficial del terreno cerca o dentro del área de estudio.

En las **figuras 8-11**, se muestran espectros de aceleraciones de sismo operativo y accidental, respectivamente, de dos perfiles de suelo cercanos del sitio de investigación: uno en las oficinas de la Cruz Roja ubicadas en Reparto Belmonte al sur del Hospital Fernando Vélez Paiz, y el otro en las coordenadas 1341.84° N, 576.04° E, con profundidades de perfil de 50ft y 45ft, respectivamente.¹² Estos resultados se emplearon para determinar la velocidad media de corte del suelo del área de estudio:



V_S Cruz Roja (Belmonte) = 1297 ft/s = 395.32 m/s > 360 m/s; T = 0.15 seg

V_S 1341.84°N, 576.04°E = 1382 ft/s = 421.23 m/s > 360 m/s; T = 0.13 seg

Si no se dispone de mapas de microzonación sísmica, se puede elegir la zona sísmica de acuerdo con la ubicación del área de estudio, y luego emplear los siguientes factores de amplificación por tipo de suelo que se presentan en la **tabla 9**:

Tabla 9.- FACTORES DE AMPLIFICACIÓN POR TIPO DE SUELO (S)

Zona Sísmica	Tipo de Suelo		
	I	II	III
A	1.0	1.8	2.4
B	1.0	1.7	2.2
C	1.0	1.5	2.0

(Reglamento Nacional de Construcción, 2007)

Topografía del Sitio (G)

El factor G se considera igual a 1,0 para condiciones topográficas sin pendiente e igual a 1,1 para zona de pendiente²¹.

e) **Factor de Importancia**

Es la *reducción del riesgo probabilístico de excedencia del sismo de diseño en un periodo de tiempo* considerado como la vida útil media de la edificación, dicha reducción es más pronunciada en zonas de menor riesgo sísmico. En la **tabla 43** ubicada en anexos, se presentan algunos valores de riesgo probabilístico de excedencia de cierto nivel de daño en una estructura para una aceleración máxima dada durante el período de vida útil de diseño.²⁷ Su valor varía entre la unidad, para estructuras de menor / normal importancia, hasta valores de 1.5, para edificaciones esenciales.²⁸ Su selección depende únicamente de la importancia, uso, riesgo de falla y categoría de la edificación, y es independiente de la zonificación sísmica y de las eventuales consecuencias catastróficas de las posibles fallas.

f) **Factor de Amplificación Dinámica**

$$\begin{aligned}
 \text{FAD} &= (1.0 + 17 T) & 0.0 \leq T < 0.1 \text{ seg} \\
 \text{FAD} &= 2.7 & 0.1 \leq T < 0.6 \text{ seg} \quad (\text{RNC-07}) \\
 \text{FAD} &= 1.62 & 0.6 \leq T \leq 2.0 \text{ seg}
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

T: Período fundamental de la estructura



g) Factor de Sobrerresistencia

Esta reducción *se vincula con los factores que multiplican los diversos estados de carga en las combinaciones establecidas previo al análisis estructural de un edificio*. El Reglamento de Construcción actual contempla seis diferentes combinaciones de carga cuando se diseña por métodos de resistencia última, y cuatro combinaciones de carga cuando se diseña por métodos elásticos. En general, el factor de sobrerresistencia será igual a 2.0 para cualquier tipo de estructura.

h) Factor de Ductilidad

Es la reducción del *exceso de ductilidad probable en un edificio*. Este factor depende del período del suelo del área que se trabaja y de las características de desempeño de una estructura. En el Arto. 27 del RNC-07 se encuentra en detalle la selección del valor de Q .

$$Q' = \begin{cases} Q & \text{si, } T > 0.10\text{seg} \\ 1 + \frac{T}{0.10}(Q - 1) & \text{si, } T \leq 0.10\text{seg} \end{cases} \quad (7)$$

Q : Factor de ductilidad.

T : Período fundamental de la estructura

i) Factor de Irregularidad

Este factor puede tomar valores de 1.0, 0.9, 0.8 y 0.7, dependiendo de si una estructura es regular, poco regular, irregular o fuertemente irregular, respectivamente.²⁸



II.2.- Hospitales

II.2.1.- Generalidades

II.2.1.1.- Concepto

Los hospitales son establecimientos de salud destinados al tratamiento y asistencia de pacientes que sufren enfermedades agudas o crónicas. Se diferencian según el tipo y grado de asistencia, el número de instalaciones, el número de especializaciones, la importancia de los departamentos especializados, el tamaño de cada uno de los departamentos y los equipos de tratamiento.¹ Los hospitales se caracterizan por ser edificaciones donde sus principales usuarios son personas con dificultades físicas de libre movimiento, además, poseen gran contenido de equipos, en muchos casos difícilmente reemplazables y que funcionalmente cubren actividades de instalaciones hoteleras, bodegas, laboratorios, cocinas, lavanderías industriales, etc.

Estas edificaciones requieren consideraciones especiales, ya que debido a sus características de ocupación, pueden llegar a albergar en cualquier momento una alta densidad de ocupantes entre pacientes residentes, pacientes transitorios, médicos, enfermeros, personal administrativo, empleados, funcionarios, visitantes, estudiantes, niños e incluso recién nacidos.

II.2.1.2.- Tipos de Hospitales

Los hospitales se clasifican de acuerdo con:

a) Capacidad: Muy pequeños (hasta 50 camas), pequeños (hasta 150 camas), normales (hasta 600 camas) y grandes (hasta 1000 camas).

b) Función: hospitales generales y clínicas universitarias, y hospitales especializados. Estos últimos están orientados a determinados grupos de tratamiento o grupo de enfermos: hospital de accidentados, clínicas de rehabilitación, clínica ortopédica y *clínica maternal*. A medida que se intensifica la especialización de la medicina, crece el número de hospitales.

II.2.1.3.- Composición básica de Hospitales

Un edificio para hospital lo componen cinco áreas básicas, las cuales tienen funciones muy determinadas y propias, pero a su vez, unas con otras deben cumplir interrelaciones vitales para su buen funcionamiento. Estas áreas son¹:

a) Administración

Es el área de gerencia del edificio encargada de la parte financiera y organizativa, y del avance científico dentro del mismo. Sus espacios corresponden a oficinas de Dirección,



Contabilidad, Sindicatura, salas de reuniones, salas de conferencias, cafeterías, bibliotecas, etc. Por ser el corazón del conjunto tiene relación directa o indirecta con las circulaciones externas o internas y en especial con la de Servicios generales.

b) Servicios intermedios o ambulatorios

Es el área de Servicios de Diagnóstico y Tratamiento, la componen los espacios que prestan el servicio de Rayos X, Laboratorio y Fisioterapias, Centro Quirúrgico y Obstétrico. Tiene relación por circulación interna con el área de hospitalización y consulta externa, en especial con urgencias, y por circulación externa con el área de espera del público.

c) Servicios generales

Corresponden a ésta área los servicios de lavandería, cocina, materiales de insumo, depósitos, talleres, plantas, calderas, etc. El acceso al área de calderas debe ser independiente y directo del exterior y su relación con el edificio se debe hacer por circulación interna. Su comunicación principal la tiene con el área de hospitalización por la circulación interna y con el resto del edificio.

d) Consulta externa

Corresponde al área a donde acuden los pacientes externos o ambulatorios en busca de alivio a sus dolencias o para el control de las mismas. Además de las consultas de medicina pertenecen a este sector, odontología, inyectología, vacunación, salas de espera, etc. En esta zona se mueve un 90% del total de los pacientes. Tiene relación directa con los servicios intermedios (por circulación externa e interna) y con la administración (por circulación externa).

e) Urgencias y hospitalización

Es el área hotelera del edificio y existen normas que indican su tamaño, funcionamiento, servicios complementarios de piso, etc. Tiene relación directa con la circulación interna y además con las externas en momentos de visita.

II.2.1.4.- Suministros internos de Hospitales

Un hospital es un complejo sistema que requiere en forma permanente de suministro de electricidad, agua potable, de servicios de eliminación de desechos líquidos y sólidos, y de servicios de comunicación. Además, necesita de productos farmacéuticos, insumos médico-quirúrgicos, gases, químicos y combustibles para su correcto funcionamiento. Sin embargo, todos ellos constituyen a la vez amenazas, ante la eventualidad de presentar fallas en su almacenamiento, manipulación, utilización, mantenimiento o por situación de movimientos sísmicos, incendios, explosiones u otros, que podrían afectar al personal, la dotación y los equipos, así como al edificio mismo en un momento dado.



II.2.2.- Factores que inciden en la Vulnerabilidad de Hospitales

Por ser los hospitales, instalaciones esenciales para enfrentar un desastre, se debe vigilar y disminuir al mínimo su vulnerabilidad, la cual por lo general se produce por cinco características primordiales¹³:

- a) *Complejidad*: Cumplen funciones de albergue, oficinas, diagnóstico, tratamiento y almacén.
- b) *Ocupación*: Son edificios con un alto índice de ocupación: alojan pacientes, empleados, personal y visitantes todas las horas del día.
- c) *Suministros críticos*: Son esenciales para los pacientes y son cruciales para el tratamiento de víctimas. Están provistos por equipos especiales que requieren gases y fluidos eléctricos de manera permanente en la instalación.
- d) *Instalaciones básicas*: Depende de los servicios públicos para poder funcionar: electricidad, agua, gases clínicos, red de vapor, oxígeno, combustible, recolección de basura, comunicaciones.
- e) *Manejo de materiales peligrosos*: Son todos los elementos que se manejan a lo interno de hospitales como insumos, o bien, que producen. Puede constituir amenazas por toxicidad (líquida, gaseosa) o drogas, que pueden convertirse en objetos de abusos al romperse las normas de seguridad. Así como los artículos pesados (equipos), corren el riesgo de convertirse en amenazas (Sánchez, 2001).

II.2.3.- Hospitales de Managua

El Departamento de Managua tiene en su área de influencia 9 municipios, que suponen una población total de demanda de un millón cuatrocientos trece mil (1,413 000) habitantes, de acuerdo con estimaciones poblacionales realizadas por MINSA (2005).

En relación al servicio de salud a la población que presta esta ciudad, cuenta con red de servicios compuesta por 109 establecimientos, clasificados como: (81) Puestos de Salud, (5) Centros de Salud con camas, (15) Centros de Salud sin camas y (1) Policlínico.

II.2.3.1.- Situación actual de peligro por fallas geológicas

El Municipio de Managua se divide en 5 distritos que contienen zonas residenciales, barrios y asentamientos. Estos últimos, concentran mayor densidad de habitantes, poniéndoles en situación permanente de riesgo ante eventualidades naturales, especialmente, ante sismos. A continuación, se describe de forma somera aspectos relacionados con el sector salud y el nivel de peligro asociado con las fallas geológicas en la zona donde se ubican.



- **Distrito VI**

El sector salud, cuenta con 17 puestos médicos, 3 centros de salud y un Hospital Clínico Quirúrgico (Hospital Alemán), que dan atención a la población interna del distrito y de toda la ciudad. El nivel de atención primario está atendido por 60 médicos, existe una relación de 2.7 médicos por cada 10,000 habitantes.

Amenaza existente:

Este distrito se encuentra afectado en el costado Este, por la *falla del Aeropuerto*, siendo un peligro en éste territorio por el crecimiento demográfico y desordenado de la población y además, asociado al surgimiento de asentamientos humanos espontáneos cuyas viviendas no cumplen con las normas de construcción.

- **Distrito V**

El sector salud cuenta con 2 hospitales de primer orden: el Hospital Roberto Calderón y el Hospital del Niño “La Mascota”, ambos de Referencia Nacional. En la red de atención primaria dispone de 2 centros de Salud, 13 puestos médicos y 2 puestos de salud. Este nivel es atendido por 46 médicos, lo que corresponde a un promedio de 2.2 a 2.3 médicos por cada 10,000 habitantes.

Amenaza existente:

Un total de 9 *fallas geológicas* atraviesan este distrito, una de las cuales produjo el sismo de enero del año 1968 en la Colonia Centroamérica.

- **Distrito IV**

Este distrito cuenta según la red de salud del Ministerio de Salud con 2 hospitales, 2 centros de salud, 2 puestos de Salud y 8 puestos médicos, fortalecido por 62 clínicas privadas. Los dos Centros de Salud existentes cuentan con 35 médicos para dar atención a la población de éste distrito, lo que arroja un indicador que oscila entre 2 y 2.3 médicos por cada 10,000 habitantes. De los dos hospitales existentes, uno es de Referencia Nacional que corresponde al Hospital Oftalmológico y uno privado como es el Hospital Bautista.

Amenaza existente:

Este distrito es atravesado por fallas geológicas de Sur a Norte, siendo estas las *fallas Los Bancos, Tiscapa y Chico Pelón*.

- **Distrito III**

La demanda del sector salud del distrito III, es atendida por 5 hospitales, 2 centros de salud, 13 puestos médicos y alrededor de unas 18 clínicas privadas. Los centros de salud son atendidos por 36 médicos, que en relación con el número de habitantes refleja un indicador que oscila entre 2.2 y 1.5 médicos por cada 10,000 habitantes. A su vez, se localizan tres hospitales de Referencia Nacional: Hospital de la Mujer Berta Calderón, Hospital Dermatológico, y el Hospital Oncológico. Además se destacan Hospitales como el Militar “Alejandro Dávila Bolaños” y el Monte España. Como actividad complementaria a los



servicios de salud el distrito cuenta con un buen número de laboratorios clínicos (17) y farmacias (53).

Amenaza existente:

Este distrito es atravesado por fallas geológicas muy conocidas, como: *falla Tiscapa* y *falla Nejapa*, estas afectan a una gran parte de la población que se encuentra en estas áreas.

- **Distrito II**

La demanda del sector salud del distrito II, es atendida por 32 centros asistenciales, entre hospitales privados y públicos, clínicas privadas, centros y puestos de salud. La red de salud del Minsa, cuenta con dos Centros de Salud: el Centro Francisco Morazán y el Centro Sócrates Flores. En estos centros de salud, atienden un promedio de 40 médicos, a un nivel de atención por habitante entre 2.9 y 3.3 médicos por cada 10,000 habitantes. Además de estos centros de salud, se localizan cuatro hospitales de Referencia Nacional como el Hospital Materno infantil *Fernando Véllez Paiz*, el hospital General Lenín Fonseca, el hospital de Rehabilitación Aldo Chavarría y el hospital psiquiátrico José Dolores Fletes.

Amenaza existente:

Este Distrito, presenta tres fallas geológicas muy peligrosas, las cuales son: *falla los Bancos*, *falla Asososca*, y *la falla de la Embajada Americana*. Por otro lado, con la cadena de sismos registrados hasta el año 2004, se ha activado la *falla de Apoyeque*.

A continuación se citan al menos 14 hospitales ubicados en la ciudad de Managua, que atienden a la población bajo condiciones de vulnerabilidad estructural y funcional bastante incierta (ver **tabla 10**):

**Tabla 10.- HOSPITALES UBICADOS EN MANAGUA, CLASIFICADOS POR PERFIL Y POR CAPACIDAD DE ATENCIÓN**

Nombre del Hospital	Perfil del Hospital	Cd (camas)	Ci (camas)	Edad (años)
Hosp. Lenín Fonseca	General, Otorrino y Neurocirugía	293	259	31-38
Hosp. Alemán Nicaragüense	General	269	213	22
Hosp. Berta Calderón	Ginecología, Oftalmología, Oncología, Ginecobstetricia y materno	254	225	33
Hosp. Fernando Vélez Paiz	Recién nacidos, Ortopedia y cirugía de niños e infantes	250	204	64
Hosp. Dr. Roberto Calderón	General	231	189	34
Hosp. Infantil "La Mascota"	Especializado en Pediatría	217	226	27
Hosp. Psiquiátrico	Psiquiátrico	165	168	68
Hosp. Dermatológico	Centro Dermatológico	72	40	76
Hosp. Rehabilitación Aldo Chavarría	Rehabilitación Y Fisioterapia	49	52	35
Hosp. Oftalmológico	Especializado en Oftalmología	34	21	35
Centro Nacional de Radioterapia	Especializado en Oncología	17	19	13-14
Hosp. Metropolitano Vivian Pellas	General y Especializado	300	> 300	4
Hosp. Militar Alejandro Dávila	General	187	--	70
Centro Nacional de Cardiología	Especializado en Cardiología	--	--	10

(Minsa, 2000)

Cd: Capacidad de Diseño

Ci: Capacidad Instalada o de Resolución

Como se nota en la **tabla 10**, el *Hospital Fernando Vélez Paiz*, posee mayor dotación de camas que el hospital más antiguo del distrito II, Hospital Psiquiátrico José Dolores F. Por otro lado, es el único hospital Materno infantil ubicado en esta zona, que presenta fuerte grado de deterioro físico, observado y constatado mediante pruebas de campo que miden la resistencia del concreto y el grado de corrosión de las barras de acero estructural¹⁷. Por esta razón, se ha optado estudiar más a fondo el nivel de seguridad sísmica que presenta este hospital.



II.3.- Vulnerabilidad

II.3.1.- Introducción

En este capítulo se presenta una breve descripción de las metodologías existentes para evaluar la vulnerabilidad sísmica y los métodos utilizados para generación de las curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño. Se hace énfasis en los estudios de vulnerabilidad desde un punto de vista probabilista. Además, se describen los principales aspectos relacionados con el daño sísmico; estados de daño e índices de daño. Para la generación de las curvas de fragilidad y las matrices de probabilidad de daño, las cuales permiten hacer una evaluación de la vulnerabilidad sísmica bastante aproximada; se ha elegido una metodología probabilística habitualmente empleada en zonas de alta sismicidad. Esta metodología y las herramientas necesarias para su aplicación, también son descritas en este Acápite.

II.3.2.- Dimensiones y tipos de vulnerabilidad

La vulnerabilidad, puede tener varias dimensiones dependiendo del aspecto que se esté teniendo en cuenta para su análisis. Wilches-Chaux (1989) propuso el concepto de vulnerabilidad global para integrar los diferentes aspectos que caracterizan la vulnerabilidad desde varias perspectivas. Dichas dimensiones de la vulnerabilidad se describen a continuación brevemente:

- a) *Dimensión física.* Expresa las características de ubicación en áreas propensas y las deficiencias de resistencia de los elementos expuestos, de los que depende su capacidad de absorber la acción del suceso que representa la amenaza. La *sismo resistencia* de un edificio, la ubicación de una comunidad en el área de influencia de un deslizamiento o en el cauce de un río, son ejemplos de la dimensión física de la vulnerabilidad.
- b) *Dimensión económica.* Los sectores económicamente más deprimidos son los más vulnerables. La pobreza aumenta la vulnerabilidad. Al nivel local e individual este aspecto se expresa en desempleo, insuficiencia de ingresos, dificultad o imposibilidad de acceso a los servicios. En la esfera nacional se traduce en una excesiva dependencia económica de factores externos incontrolables, la falta de diversificación de la base económica, las restricciones al comercio internacional y la imposición de políticas monetarias.
- c) *Dimensión social.* Cuanto más integrada esté una comunidad, superando los inconvenientes que suelen presentarse, le resultará más fácil absorber las consecuencias de un desastre y podrá reaccionar con mayor rapidez que una comunidad que no lo esté. Las sociedades pueden ser más o menos vulnerables en el sentido que pueden reaccionar como grupo organizado, mediante procesos de autoorganización, ó con intereses particulares primando sobre los grupales, con relaciones más estrechas entre sus integrantes, ó relaciones meramente circunstanciales.



d) *Dimensión educativa.* Se expresa en una educación deficiente o que no tiene una buena cobertura en una comunidad propensa. La ausencia de conocimiento sobre las causas, los efectos y las razones por las cuales se presentan desastres, el desconocimiento de la historia y la falta de preparación y desconocimiento del comportamiento individual y colectivo en caso de desastre son aspectos que hacen que una comunidad sea más vulnerable. Igualmente, la falta de socialización de la información aumenta la vulnerabilidad.

e) *Dimensión política.* Se expresa en el nivel de autonomía que tiene una comunidad con respecto a sus recursos y para la toma de decisiones que la afectan. La comunidad se hace más vulnerable bajo esquemas centralistas en la toma de decisiones y en la organización gubernamental. La debilidad en los niveles de autonomía para decidir regional o localmente impide una mayor adecuación de las acciones a los problemas sentidos en estos niveles territoriales. En la medida que la comunidad participa más en las decisiones que le atañen es menos vulnerable.

f) *Dimensión institucional.* Esta relacionada con las dificultades que tienen las instituciones para hacer la gestión del riesgo. Situación que se refleja en la falta de preparación para responder ante un suceso, o cuando aún sabiendo que existe el riesgo no llevan a cabo acciones eficientes y efectivas para reducirlo o mitigarlo. Se expresa en la falta de flexibilidad de las instituciones, en el exceso de burocracia, en el hecho de que prevalecen la decisión política y el protagonismo.

g) *Dimensión cultural.* Esta dimensión de la vulnerabilidad está referida a la forma en que los individuos se ven a sí mismos en la sociedad y como colectividad, lo que influye en ocasiones de manera negativa debido a estereotipos perniciosos que no se cuestionan y que se consolidan. Al respecto juegan un papel crucial los medios de comunicación, puesto que contribuyen a la utilización sesgada de imágenes o a la transmisión de información ligera o imprecisa sobre el medio ambiente, la misma sociedad y los desastres.

h) *Dimensión ambiental.* Hay un aumento de la vulnerabilidad cuando el modelo de desarrollo no está basado en la convivencia sino en la explotación inadecuada y la destrucción de los recursos naturales. Esta circunstancia necesariamente conduce al deterioro de los ecosistemas y a aumentar la vulnerabilidad debido a la incapacidad de auto ajustarse para compensar los efectos directos o indirectos de la acción humana o de sucesos de la misma naturaleza.

i) *Dimensión ideológica.* Esta relacionada con las ideas o creencias que tienen las personas sobre el devenir y los hechos del mundo. Se expresa en actitudes pasivas, fatalistas y creencias religiosas que limitan la capacidad de actuar de los individuos en ciertas circunstancias. La percepción dogmática de las cosas puede generar confusión acerca de un propósito, falta de reacción y muchas veces pérdida de la motivación, que debilitan una acción transformadora.



El planteamiento de una vulnerabilidad global resultado de estas y otras dimensiones de la vulnerabilidad, que Wilches-Chaux (1989) describe como vulnerabilidades individuales, es muy útil para visualizar la vulnerabilidad desde múltiples facetas y desde diversas perspectivas del conocimiento. Este planteamiento facilita el entendimiento de la vulnerabilidad como una condición o circunstancia dinámica o cambiante. Además, permite su formulación como un proceso acumulativo de fragilidades, deficiencias o limitaciones que permanecen en el tiempo como factores que inciden en que exista o no una mayor o menor vulnerabilidad. Desde el punto de vista de la gestión del riesgo, las acciones que reduzcan estos factores y que estimulen las fortalezas y capacidades de una comunidad, entendida como los elementos expuestos, deben ser el objetivo de la planificación y la prevención-mitigación de desastres (Aysan, 1993).

La vulnerabilidad integrada por una serie de aspectos que a largo plazo afectan la capacidad de una comunidad para responder a sucesos y la hacen susceptible a sufrir futuras consecuencias, tienen carácter:

- a) *Físico-material*. Relacionados con el medio ambiente, la infraestructura, la vivienda, la tecnología, el capital, el nivel de salud y la capacidad de trabajo.
- b) *Social-organizacional*. Relativos a las actividades sociales y económicas y a las estructuras políticas formales u otras mediante las cuales se toman decisiones.
- c) *De motivación y actitud*. Lo que se refiere a la concepción que tienen las comunidades de ellas mismas y sus interrelaciones con el ambiente y la sociedad.

Por otra parte, Cannon (1991) también propuso que la vulnerabilidad debe verse como un conjunto de variables que se refieren a tres tipos de situaciones:

- a) *Vulnerabilidad de los sistemas de vida*, que explica cómo un sistema de vida de una colectividad o un individuo se hace más resistente o más resiliente a las amenazas, por ejemplo mediante un mayor nivel de salud y nutrición, mediante mayores ingresos y ahorros que le permitan una mayor capacidad de adaptación.
- b) *Autoprotección*, relacionada con el nivel de conciencia acerca de la amenaza y con la experiencia de sucesos anteriores. Es decir el nivel de preparación del individuo o la colectividad para enfrentar una amenaza, lo que se refleja en la ubicación de la vivienda, la resistencia de los edificios, la construcción de obras preventivas, etc.
- c) *Protección social*, referida no sólo al nivel local sino en general a la acción del Estado en todo sus niveles, que influyen tanto en la autoprotección, la resistencia de los sistemas de vida como en factores tales como las normas de construcción, el ordenamiento territorial, los esquemas de seguros, etc.



II.3.3.-Vulnerabilidad Sísmica

II.3.3.1.- Concepto

La vulnerabilidad sísmica de una estructura, grupo de estructuras, o de una zona urbana completa, está definida como su *predisposición intrínseca a sufrir daño ante la ocurrencia de un fenómeno sísmico y está asociada directamente con sus características físicas y estructurales de diseño* (Barbat, **1998**).

Los elementos expuestos pueden ser: la población humana, las actividades económicas, la infraestructura de bienes de capital y recursos.

II.3.3.2.- Caracterización de la Vulnerabilidad Sísmica

La naturaleza y alcance de un estudio de vulnerabilidad sísmica debe estar condicionado por el tipo de afectación o daño que se pretende evaluar y el nivel de amenaza existente. En este sentido, la caracterización de la vulnerabilidad sísmica de una estructura está estrechamente vinculada a los probables daños inducidos como consecuencia de un movimiento sísmico que dependen fundamentalmente de tres factores; *la severidad del movimiento en el emplazamiento, las características de la estructura y su vulnerabilidad sísmica* (Barbat, **1998**).

Para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones individuales, es necesario un estudio detallado que permita conocer la susceptibilidad de la edificación de sufrir un determinado nivel de daño para un movimiento especificado. Estos estudios, generalmente se basan en la comparación de la capacidad resistente de la edificación con la demanda. *La demanda es una representación de la acción sísmica y la capacidad es una representación de la posibilidad que tiene la estructura de resistir la demanda sísmica, manteniendo un desempeño compatible con el nivel de respuesta esperado*; es decir, una medida de los daños esperados. De manera que, la *acción sísmica* y el *daño sísmico*, constituyen los elementos fundamentales para la caracterización de la vulnerabilidad sísmica.

II.3.3.2.1.- Acción sísmica

Es la representación adecuada del movimiento esperado en una edificación, de manera que proporcione una respuesta crítica de la estructura con los mayores daños potenciales.

Para caracterizar la severidad del movimiento sísmico generalmente se emplean parámetros simples como la intensidad macro sísmica, la aceleración del terreno, entre otros. Estos parámetros proporcionan una limitada información del evento, que conduce a una importante dispersión de los efectos producidos por diferentes sismos caracterizados por el mismo valor del parámetro considerado (Benedetti, et al., **1988**).



Entre los parámetros asociados a la aceleración del terreno destacan: la aceleración máxima del terreno, la aceleración media cuadrática, los *espectros de respuesta*, los espectros de energía, y los espectros de diseño contemplados en las normas de construcción de cada país.

La *aceleración máxima del terreno o aceleración pico*, constituye quizás el parámetro más frecuentemente asociado con la severidad del movimiento sísmico, sin embargo debe reconocerse que es un parámetro pobre para evaluar el *daño potencial*. Por ejemplo, un pico de aceleración puede estar asociado con un impulso de corta duración (de alta frecuencia) o con un impulso de larga duración (de baja frecuencia). En el primer caso, la mayor parte del impulso es absorbido por la inercia de la estructura con pequeñas deformaciones; sin embargo, una aceleración moderada en el segundo caso puede conducir a significativas deformaciones de la estructura. En este caso, Anderson y Bertero (1987) sugieren el uso de la máxima velocidad incremental (área bajo un punto de aceleración) y el máximo desplazamiento incremental (área bajo un pulso de velocidad).

Numerosas investigaciones (Singh, 1995) demuestran que otros parámetros asociados al movimiento como el contenido de frecuencias, la duración, la velocidad, el desplazamiento, la velocidad incremental, el desplazamiento incremental, etc., pueden tener mayores efectos sobre la respuesta estructural que la aceleración pico, particularmente en el rango inelástico.

II.3.3.2.1.- Daño sísmico

Pretende representar el *deterioro físico* de los diferentes elementos o el *impacto económico* asociado. En este sentido, es común referirse a *daño físico* y *daño económico* (Yépez, 1996). El *daño físico* que puede sufrir una edificación generalmente se califica como:

a) Daño Físico:

El daño que puede sufrir una edificación generalmente se califica como daño estructural (directo) y/o daño no estructural (indirecto). El daño directo se cuantifica mediante *índices de daño local y global de la estructura*. Por otra parte, el daño indirecto se relaciona con los niveles de deformación y distorsión que experimenta la estructura y en ocasiones, con las aceleraciones a las que está sometida durante el proceso.

b) Daño Económico:

Es la relación entre los costos de reparación y los costos de reposición, e incluye tanto los costos de daño físico directo como los costos de daño físico indirecto. Intenta *representar el daño en términos de pérdidas económicas* o costos financieros tomando en cuenta la afectación de componentes estructurales y no estructurales.

$$\text{Daño} = \frac{\text{Costo de Reparación}}{\text{Costo de Reposición}}$$



II.3.3.3.- Metodologías para el análisis de la vulnerabilidad

Las metodologías para evaluar la vulnerabilidad han tenido su mayor aplicación en entornos urbanos constituidos por viviendas, en su mayoría, de concreto reforzado y mampostería confinada. Estos estudios se pueden tipificar de manera general, en dos grupos¹⁴:

➤ **Según el Método empleado**

a) Métodos Cualitativos

Definen la llamada *Vulnerabilidad Observada*. Están basados en la experiencia sobre el comportamiento de ciertos tipos de edificaciones durante un sismo y la caracterización de sus deficiencias sísmicas potenciales. Se usan cuando se dispone de limitada información o para evaluaciones preliminares porque son enfoques menos exigentes y más económicos de implementar. Estos métodos evalúan de manera rápida y sencilla un grupo de edificaciones diversas, y facilitan la selección de aquellas que ameriten un análisis más detallado.

a.1) Métodos de Categorización

Clasifican las edificaciones de acuerdo con su tipología en *clases de vulnerabilidad* (baja, media, alta) atendiendo a la experiencia sobre el desempeño que han tenido estructuras similares durante terremotos relevantes. La propuesta *EMS-98* es un ejemplo de este método.

a.2) Métodos de Inspección y puntaje

Permiten identificar y caracterizar las deficiencias sísmicas probables de una estructura, atribuyendo valores numéricos (puntos) a cada componente significativo de la misma. Estos son ponderados en función de su importancia relativa para la determinación de un *índice de vulnerabilidad*. La propuesta de *Benedetti & Petrini* es un ejemplo de este método.

b) Métodos Cuantitativos

Definen la llamada *Vulnerabilidad Calculada*. Estos métodos evalúan la resistencia estimada de las estructuras a los movimientos del terreno utilizando como base modelos mecánicos de respuesta estructural e involucrando como datos las características mecánicas de la estructura. Constituyen un enfoque muy completo, exigente y costoso que depende del grado de sofisticación de la evaluación, de la calidad de la información y de la representatividad de los modelos empleados.

La evaluación de estructuras por métodos analíticos necesita del empleo de planos de construcción, que generalmente no se encuentran disponibles o no existen, además



requieren de una serie de pruebas de laboratorio para confirmar la calidad de los materiales, que elevan drásticamente los costos y exigen mucho tiempo.

c) Métodos Experimentales

Recurren a ensayos dinámicos para determinar las propiedades de las estructuras y/o sus componentes in situ. Aunque sus resultados no son determinantes, permiten en algunos casos orientar sobre el estado de la edificación y los posibles efectos que un sismo ha tenido sobre ella.

➤ **Según el Nivel de evaluación**

a) Nivel Preliminar

Tiene su *principal aplicación a nivel de un estudio regional en instalaciones de importancia y bajo condiciones de sismicidad moderada*. Permite de manera práctica identificar los puntos vulnerables del sistema con miras a jerarquizar los niveles de evaluación que le siguen. La vulnerabilidad de las edificaciones puede ser establecida a través de algún método empírico de categorización, donde la edificación puede ser asociada de manera determinista o probabilista a una tipología predefinida.

b) Nivel General

Tiene su *principal aplicación en instalaciones de importancia dentro de regiones de alta sismicidad*. La vulnerabilidad de las edificaciones puede ser establecida a través de un método empírico de categorización o de inspección y puntaje, de manera que puede ser calificada a través de un índice de vulnerabilidad, o asociada a una tipología preestablecida estimando la probabilidad de que pertenezca a una clase o tipología estructural.

c) Nivel Detallado

Tiene su *principal aplicación en edificaciones con una importancia relativa muy alta en regiones caracterizadas por una alta sismicidad*. Es conveniente que sea precedida de una evaluación preliminar y general, que permita jerarquizar y racionalizar el empleo de recursos. La vulnerabilidad de las edificaciones debe ser evaluada por medio de algún método analítico o teórico, desarrollado sobre la base de modelos mecánicos de análisis estructural, capaz de reproducir la capacidad de respuesta de la estructura. Es conveniente que esta evaluación sea complementada con algún método experimental desarrollado a través de ensayos dinámicos.

Por otro lado, autores como *Corsanego y Petrini (1990)* han propuesto tres tipos de técnicas a partir del tipo de resultado: técnicas directas, técnicas indirectas y técnicas convencionales; y *Dolce et al. (1995)*, quien clasifica en tres elementos esenciales involucrados en un estudio de vulnerabilidad: los datos, el método y los resultados.



En la **figura 2**, se muestra un esquema que resume la clasificación de las metodologías actuales para el análisis de vulnerabilidad sísmica.

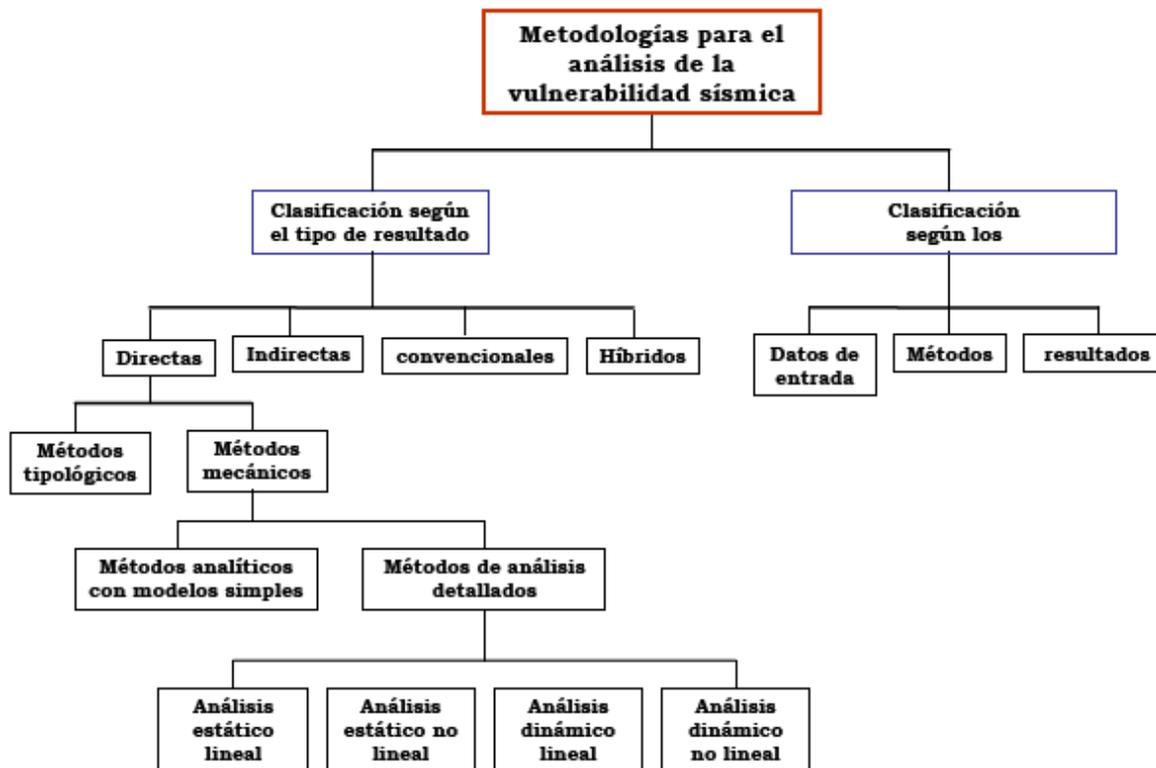


Figura 2.- CLASIFICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS PARA ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD
FUENTE: BONETT, 2003

A continuación, se describe brevemente algunas de las metodologías empleadas en estudios de Vulnerabilidad sísmica, estas son:

❖ **Método ATC-14: Evaluación de la Resistencia Sísmica de Edificaciones Existentes**

Esta metodología fue desarrollada el año 1987. Consiste en la búsqueda de puntos débiles del edificio basado en la observación de daños en edificios similares ocurridos en eventos sísmicos previos. Para tal fin, se evalúan esfuerzos cortantes actuantes, desplazamientos relativos de entrepiso y características especiales del edificio.

Procedimiento:

- Recolección de datos e información relativa al estudio
- Inspección detallada realizada en edificaciones a evaluar
- Descripción del modelo estructural del edificio



- Determinación de esfuerzos de corte y desplazamientos relativos para estructuras de concreto, y esfuerzos axiales y desplazamientos relativos en miembros de acero. En cuanto a muros estructurales, se verifican esfuerzos de corte.
- Se compara el *esfuerzo promedio* en columnas con el esfuerzo promedio estimado del material (4.26 kg/cm^2), la relación que se obtenga entre éstos debe ser igual o mayor que 1. Si no es así se requiere un análisis estructural más detallado. Por otro lado, el *desplazamiento relativo* (k/h) debe ser menor o igual que 1, si no lo es, se requiere de investigación más detallada.
- Finalmente, se debe realizar revisión de detalles especiales basándose en parámetros obtenidos por medio de *listas de chequeo*.

❖ Método NAVFAC: Seismic Design Guidelines for Up-Grading Existing Buildings

Esta Metodología fue desarrollada por *G. Matzamura, J. Nicoletti y S. Freeman*. Evalúa un índice que mide la relación de daños que un sismo determinado puede causar en una estructura. La capacidad de la estructura se determina por medio del coeficiente de cortante basal resistente (c), el desplazamiento en el nivel máximo de la estructura ($\Delta_{máx}$) y el periodo fundamental (T), con los cuales se calcula el índice global de daño (I). No toma en cuenta la falla prematura de elementos más débiles.

Procedimiento:

- Recolección de información de la estructura
- Inspección detallada de la estructura, in-situ
- Determinación de los espectros de respuesta elástica
- Comparación de la capacidad de la estructura con la demanda del sitio (D/C)
- Cálculo del índice de daño (I)
- Cálculo del índice global de daño (I_g)

Los resultados de la evaluación se presentan en una gráfica de *capacidad / demanda*, que se superpone a las curvas de demanda última. El *índice de daños* de la estructura se representa por la siguiente relación:

$$I = \frac{D}{C} * 100\% \quad (8)$$

Donde:

I : Índice de daños.

D/C : Relación de demanda sobre capacidad resistente

Para $D = 0$, no existen daños por el contrario, para $D=C$ el índice de daños es del 100 %.

El índice global de daños (I_g) se determina como las dos terceras partes del índice de daño (I) en la dirección más crítica.



$$I_g = \frac{2}{3} I \quad (9)$$

Si $I_g \geq 60\%$ se debe proceder a realizar una evaluación más detallada de la estructura.

❖ **Método de Hirosawa ó Método Japonés**

Es utilizado para la evaluación de edificaciones de hormigón armado de mediana y baja altura, construidas mediante métodos convencionales. Se evalúan la estructura, la forma del edificio y la peligrosidad de los elementos no estructurales. La estimación del riesgo sísmico se realiza por medio del cálculo de un índice sísmico (I_s), que representa el comportamiento global de la estructura. La evaluación de la seguridad se realiza en tres pasos sucesivos, para obtener como resultado dos índices que miden la seguridad sísmica de la construcción.

El índice sísmico de la estructura I_s , es el producto de cuatro subíndices que son calculados individualmente:

$$I_s = E_o * G * Sd * T \quad (10)$$

- **Subíndice sísmico de comportamiento estructural (E_o):** Condicionado por la resistencia última de elementos estructurales de la edificación, el tipo de mecanismo de falla y la ductilidad del sistema.
- **Subíndice sísmico de movimiento del terreno (G):** Tiene en cuenta la intensidad de movimientos del terreno.
- **Subíndice sísmico de concepción estructural (Sd):** Representa el efecto que el diseño estructural tiene en el comportamiento sísmico de la estructura a través de factores como la distribución de masas y de rigideces.
- **Subíndice sísmico de deterioro con el tiempo (T):** Califica los efectos de deterioro y defectos estructurales como grietas y deflexiones en la estructura evaluada. De esta manera el I_s es el producto de los subíndices anteriores, que se expresan en la siguiente ecuación:

❖ **Método Venezolano**

Esta Metodología fue desarrollada por *I. Rivera* de U, *D. Grisolia* de C. y *R. Sarmiento* de la Universidad de los Andes de Mérida, Venezuela. Esta es aplicable a edificios bajos de hormigón armado ó Mampostería. Evalúa cortes por separado y luego halla un índice global de entrepiso.

Procedimiento:

- Revisión detallada de documentos existentes de la edificación, planos memorias de diseño, entre otros.



- Levantamiento de dimensiones generales del edificio, estructura y especificaciones de elementos resistentes a fuerzas laterales.
- Inspección detallada in-situ del edificio examinando cuidadosamente: el sistema estructural, deflexiones de losas y/o vigas, agrietamientos, deterioro de la estructura, conexiones y apoyos entre elementos, etc.
- Revisión de agrietamiento y condición general de paredes, arrojamiento, presencia de columnas cortas.
- Identificación de *elementos no estructurales* susceptibles a caerse durante un movimiento sísmico.
- Revisión de salidas de emergencia y estado de los sistemas contra incendios.
- Determinación de las fuerzas sísmicas cortantes actuantes (V_u).
- Determinación de las fuerzas cortantes resistentes del entrepiso (V_{ur}).
- Determinación de la relación $E = V_{ur}/V_u$.
- Cálculo del índice sísmico (I_s)

$$I_s = E * D * T \quad (11)$$

Donde:

I_s : Índice sísmico

D : Índice de irregularidad en planta y en elevación de la edificación.

T : Índice de las condiciones de deterioro en el tiempo de la edificación.

❖ **Métodos FEMA**

Los métodos FEMA son procedimientos desarrollados por el *Building Seismic Safety Council* de los EEUU. Esta Metodología plantea para la evaluación de la *vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes*, una serie de interrogantes que sirven para determinar zonas o puntos vulnerables de una edificación. Para el análisis se utilizan procedimientos simples, calificando mediante variables lógicas, como falso o verdadero, aspectos estructurales, pórticos, diafragmas, conexiones y amenazas geológicas, entre otras, comparando los requisitos con los que se diseñó y construyó la edificación con los requerimientos de diseño sísmico actuales.

Este Método está diseñado para identificar de forma más detallada elementos estructurales, como vigas y columnas, que presenten deficiencias en cuanto a su capacidad o resistencia sísmica, definiendo diferentes procedimientos y criterios de diseño para alcanzar niveles de desempeño sísmico, entre los que se encuentran el nivel operacional, el nivel de protección de la vida, el nivel de prevención de colapso, el nivel de ocupación inmediata. La escogencia de un determinado nivel depende del desempeño esperado de la edificación, durante y después de un movimiento telúrico, de cuanto daño es permitido, al igual que pérdidas económicas y traumatismo o interrupción de las actividades cotidianas de los ocupantes de la edificación. Además, este método plantea una metodología para desarrollar los procedimientos de rehabilitación o refuerzo.



❖ Método ISTC

Esta Metodología es desarrollada por el *Istituto di Scienza e Tecnica delle Costruzioni* y la *Università degli Studi di Padova*, adaptado para el estudio de *Vulnerabilidad Sísmica de Viviendas de Adobe en La Zona de Coelemu (8ª región de Chile)*. Consiste en el análisis sísmico de grupos de edificios con estructura soportada por muros de mampostería de tipologías y características constructivas similares. Su aplicación considera edificios aislados en mampostería no reforzada de regulares dimensiones (2 a 3 pisos), edificios contiguos o conjuntos de edificios.

La capacidad resistente del edificio se evalúa por medio de dos parámetros (índices I_1 e I_2). Un tercer índice, I_3 , es utilizado para determinar, en conjunto con los ya calculados, la vulnerabilidad de la edificación (o grupo de edificios), con base en la función de vulnerabilidad, (Vu), propuesta por el *I.S.T.C.*, clasificando la edificación dentro de cinco clases de vulnerabilidad: muy grande, grande, media, pequeña, muy pequeña (ver **tabla 11**):

Tabla 11.- PARÁMETROS DE FUNCIONES DE VULNERABILIDAD PROPUESTA POR EL ISTC

Numero	Parámetro	Peso ISTC (π_i)
1	Calidad del sistema resistente	0.15
2	Posición del edificio y cimentación	0.75
3	Presencia de diafragmas horizontales	0.5
4	Configuración en elevación	0.5
5	Tipo de techumbre	0.5
6	Elementos no estructurales	0.25
7	Estado de conservación	0.5

(Guiliano et. al, 2000)

❖ Método HAZUS

La Agencia de Manejo de Emergencia Federal (FEMA) de los EEUU ha creado una metodología que genera un estimado de las consecuencias en una ciudad o región debidas a un escenario sísmico. Los resultados generalmente describen la escala y extensión del daño así como la ruptura que puede resultar de los terremotos potenciales. La metodología es llamada HAZUS (*Hazards U.S: Amenazas de los Estados Unidos*) y su aplicación se fundamenta en un programa de computador (Program Hazus) que utiliza fórmulas matemáticas, información acerca del conjunto de edificaciones a evaluar, la geología local, la localización y el tamaño de los terremotos probables, datos económicos y otra información que contribuye a la estimación de las pérdidas humanas y económicas. Este programa puede utilizarse en dos Sistemas de Información Geográfica (SIG) distintos:



MapInfo y *ArcView*, lo que le permite crear mapas y desplegar el movimiento del terreno, el modelo de daño de la edificación y la información demográfica acerca de la comunidad ubicada en el área de estudio.

Tipo de edificaciones e instalaciones consideradas:

Las edificaciones, instalaciones y sistemas de líneas vitales considerados por la metodología son: Acopio de edificios generales, Instalaciones esenciales, Sistemas de líneas vitales de transporte, Sistemas de líneas vitales de utilidad.

Información Requerida:

Los datos requeridos para HAZUS variarán con el nivel de exactitud deseado, la información disponible de la comunidad y el monto que puede ser invertido en la estimación de las pérdidas. Existen 3 niveles de estimación que pueden producirse utilizando el software HAZUS:

Nivel 1: Consiste en una *estimación preliminar* de pérdidas producidas por un sismo, la información necesaria está, en términos generales, en una base de datos nacionales (EEUU) contenida en el software, la cual consiste en la geología de la región, un inventario de las edificaciones y la estructura económica de la comunidad. *En este nivel sólo se determina pérdidas asociadas al conjunto de edificaciones* (incluyendo hospitales en algunos casos); los sistemas de transporte y líneas vitales no se incluyen, tampoco los efectos económicos indirectos ni los posibles efectos de licuefacción y deslizamiento.

Nivel 2: En este nivel se realiza una *estimación de pérdidas más precisa* que la anterior. Requiere información acerca de la geología local, un inventario de las edificaciones de la comunidad y datos sobre las utilidades y sistemas de transporte, datos concernientes a la evaluación de extensas áreas probablemente afectadas por el fuego, mapas de inundación, datos sobre efectos potenciales de licuefacción y deslizamiento y datos para el cálculo del impacto económico indirecto sobre la región de estudio. Es necesaria la asistencia de ingenieros estructurales y geotécnicos para poder realizar un buen análisis.

Nivel 3: Este nivel es el último e implica una *investigación de pérdidas aún más exacta*, por lo que requiere, obligatoriamente, de la asistencia de ingenieros civiles y geólogos. A este nivel se aprovecha la máxima capacidad de la metodología para determinar propósitos especiales dentro de los datos de entrada del software concerniente a la vulnerabilidad de instalaciones específicas con un alto potencial de pérdidas, costos de reparaciones o relocalizaciones y número de familias sin hogar como resultado del fuego, inundaciones u otros fenómenos. A parte de los productos esperados en el *Nivel 2*, también es posible complementar los resultados de las pérdidas estimadas ejecutadas con el uso de los modelos de tráfico desarrollados en la localidad con enlaces limitados para un número específico de puentes dañados. Análisis similares de enlace pueden proveer información sobre sistemas de distribución de agua y otra tubería.



II.4.- Método de Hirosawa Modificado

Un método para el cálculo de la vulnerabilidad sísmica es el conocido método semi-cuantitativo desarrollado por el *Ing. Japonés Masaya Hirosawa* el año 1992. Este método es utilizado oficialmente en Japón por el Ministerio de Construcción en la evaluación de la seguridad sísmica de edificios existentes de concreto reforzado de altura media (6-8 pisos), estructurados con muros, o bien, con marcos de concreto. Estudios más recientes revelan que el método se ha aplicado a edificios mixtos, de concreto reforzado y mampostería. Ha sido usado por países como Chile, Perú, México, Ecuador y Cuba, introduciendo algunas modificaciones para que dicha metodología sea válida para las tipologías y materiales constructivos utilizados en los países latinoamericanos²⁰.

Aquí, la vulnerabilidad estructural se determina comparando la capacidad resistente, las relaciones de forma, mantenimiento y daños anteriores que ha experimentado la edificación, con el nivel de solicitación demandado por los sismos que representan el peligro sísmico, y las condiciones locales del sitio donde se ubica dicha edificación. Esta comparación se hace por medio del cálculo de dos índices, y estableciendo que la edificación es segura sísmicamente cuando el índice correspondiente a la resistencia provista por el edificio (**Is**) es mayor que la resistencia demandada (**Iso**)²⁰.

Para ello, el método recomienda tres niveles de evaluación, que van de lo simple a lo detallado, y se basa en el análisis del comportamiento sísmico de cada piso del edificio en las direcciones principales de su planta.

II.4.1.- Aplicación del Método en Hospitales

El método de Hirosawa²⁰, como ya mencionamos anteriormente, clasifica la estructura en base a un índice sísmico, el cual posee la forma de *índice de seguridad* y depende de la fuerza cortante y de las resistencias al corte de los distintos tipos de elementos que forman el sistema sismorresistente del edificio. Se evalúan las irregularidades de configuración estructural de manera somera, evaluaciones que son tomadas muy en cuenta al momento de toma de decisiones orientadas al mejoramiento / reforzamiento de la edificación, como parte de un plan de mitigación de desastre.

Si bien, el método no contempla el estudio de necesidad y factibilidad de una rehabilitación definitiva de las edificaciones o de sus componentes no estructurales, sí constituye una herramienta importante para evaluar de manera preliminar la vulnerabilidad sísmica de edificaciones hospitalarias.



➤ **Criterio para la determinación de la Vulnerabilidad Estructural**

La vulnerabilidad estructural se establece considerando que:

- a) Si, $I_s \geq I_{so}$ se puede considerar que el edificio tiene un comportamiento sísmico seguro frente a un evento sísmico. Denota resistencia sísmica satisfactoria.
- b) Si $I_s < I_{so}$ se puede considerar que el edificio tiene un comportamiento incierto frente a un evento sísmico, y por lo tanto se considera como inseguro o vulnerable. Denota insuficiente resistencia sísmica.

La clasificación de la vulnerabilidad estructural se realiza haciendo una valoración en base al índice sísmico I_s y al estado de conservación de la edificación tomando en cuenta los ítems de las **tablas 15 y 16** de condiciones presentes para diferentes causas y tipos de deterioro (Hernández, N., et al, 2005).

La clasificación de la vulnerabilidad sísmica se presenta en la **tabla 12**:

Tabla 12.- CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN FUNCIÓN DEL ÍNDICE SÍSMICO

Vulnerabilidad	Índice sísmico (I_s)	Consideraciones
Alta	$I_s < 0.90$	Realizar urgentemente un análisis más preciso y probablemente se requiera reforzar
Media	$0.90 < I_s < 1.10$	No requiere un chequeo urgente más preciso
	$1.10 < I_s < 1.30$	Requiere chequeo con mayor precisión sobre la capacidad estructural, siguiendo el Reglamento Nacional de Construcción (2007)
Baja	$I_s > 1.30$	No requiere un chequeo más preciso

(Hernández, N. et al., 2005)

II.4.2.- Determinación de Índices sísmicos

II.4.2.1.- Índice Básico de Capacidad (I_s)

Este índice se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$I_s = E_o * S_D * T \tag{12}$$

Donde:

E_o : índice sísmico básico del comportamiento estructural.

S_D : índice de configuración estructural.

T : índice de deterioro de la edificación.



II.4.2.1.1.- Índice sísmico básico del comportamiento estructural (E_o)

Al aplicar el primer nivel de evaluación, el término E_o se determina a partir de un *cálculo simple de la resistencia última de corte de cada piso*. Esta resistencia se calcula para cada dirección de la planta por la suma de los productos del área de la sección transversal de un muro o columna y de su resistencia de corte, reduciendo este producto por un factor (α) que considera la presencia de elementos que alcanzan su resistencia a un nivel de deformación menor, que el resto de los elementos sismorresistentes. Por ejemplo, columnas cortas, muros de mampostería reforzada / confinada, si se comparan con muros o columnas de concreto reforzado.

Para el cálculo de E_o , todo elemento o subestructura vertical que forma parte de la estructura sismorresistente debe clasificarse en alguna de las categorías siguientes:

- a) **Columnas cortas de concreto reforzado.** Son todas las columnas en las que la relación h_o/D , entre la altura libre (h_o) y el ancho de la sección transversal (D), es igual o menor que 2. El comportamiento sísmico de estas columnas está controlado por una falla de corte frágil que se caracteriza por el reducido nivel de deformación en el que se alcanza la resistencia y por la baja capacidad de deformación inelástica. Para establecer la altura libre se ha considerado la presencia de los elementos arquitectónicos que reducen la altura de la columna en la medida en que no se aíslan de ella.
- b) **Columnas de concreto reforzado.** Son todas las columnas en las que la relación h_o/D es mayor que 2.
- c) **Muros de corte de concreto.** Son los elementos de concreto con una sección transversal en que la relación entre el lado mayor y el lado menor de la sección transversal es mayor que 3.
- d) **Muros de relleno de albañilería.** Son aquellos muros de albañilería, normalmente con escaso o ningún refuerzo, ubicados en el interior de los vanos de la subestructura resistente (pórticos) sin aislarlos de ella.
- e) **Muros de albañilería reforzada / muros de albañilería confinada, con elementos esbeltos de concreto reforzado, columnas y uniones.** Los muros considerados corresponden a aquellos muros que se han diseñado y construido en forma tal que puedan transmitir cargas horizontales y verticales de un nivel al nivel inferior y a la fundación; no se consideran aquellos muros que sólo resisten las cargas provenientes de su propio peso como son: parapetos y tabiques de relleno o divisorios, aislados de la estructura sismorresistente.



Esta clasificación debe hacerse para *determinar la resistencia y para atender la menor capacidad de deformación inelástica y capacidad de disipación de energía que presentan algunos elementos*, como por ejemplo las columnas cortas y los muros de albañilería de relleno sin refuerzo, cuando el comportamiento sísmico está controlado por ellos.

El índice E_o se calcula con la ecuación siguiente:

$$E_o = \frac{(n_p + 1)}{(n_p + i)} * [\alpha_1 * (C_{mar} + C_{sc} + C_a + C_{ma}) + \alpha_2 + C_w + \alpha_3 + C_c] * F \quad (13)$$

Donde:

α_i : Factor de reducción de la capacidad resistente de acuerdo con el nivel de deformación en que alcanzan la resistencia los elementos que controlan el comportamiento sísmico. Los valores de estos factores se entregan en la *tabla 1*.

n_p : número de pisos del edificio.

i : nivel que se evalúa.

C_{mar} : Índice de resistencia de muros de relleno de mampostería

Puede calcularse con la siguiente expresión:

$$C_{mar} = \frac{0.6 * 0.85 * \tau_o * \sum A_{mar}}{\sum_{i=j}^{n_p} W_j} \quad (14)$$

$\sum A_{mar}$: Suma de las áreas de los muros de relleno de mampostería del piso en evaluación en la dirección analizada.

C_{ma} : Índice de Resistencia de muros de albañilería confinada

Por simplicidad, se considera que este índice es igual al calculado en muros de mampostería no reforzada o parcialmente confinada.

$$C_{ma} = \frac{0.6 * (0.45 * \tau_o + 0.25 * \sigma_o) * \sum A_{ma}}{\sum_{i=j}^{n_p} W_j} \quad (15)$$

$\sum A_{ma}$: Suma de las áreas de los muros de albañilería confinada del piso en evaluación en la dirección analizada.



C_w : Índice de resistencia de muros de concreto reforzado

$$C_w = \frac{f_c}{200} * \frac{30 \sum Am_1 + 20 \sum Am_2 + 12 \sum Am_3 + 10 \sum Am_4}{\sum_{i=j}^{n_p} W_j} \quad (16)$$

C_c : Índice de resistencia de columnas no cortas de concreto reforzado

$$C_c = \frac{f_c}{200} * \frac{10 \sum Ac_1 + 7 \sum Ac_2}{\sum_{i=j}^{n_p} W_j} \quad (17)$$

C_{sc} : Índice de resistencia de columnas cortas de concreto reforzado

Se determina con la ecuación siguiente:

$$C_{sc} = \frac{f_c}{200} * \frac{15 * \sum A_{sc}}{\sum_{i=j}^{n_p} W_j} \quad (18)$$

F : Índice de ductilidad asociado a los elementos verticales

$F = 1.0$, si C_{mar} , C_a y C_{sc} son iguales a cero

$F = 0.8$, si C_{mar} , C_a y C_{sc} son distintos de cero

En caso de que los muros de mampostería confinada controlen la capacidad resistente, el valor de F es igual a 1,0 considerando la capacidad de deformación inelástica que se logra con los elementos de confinamiento.

La capacidad sísmica debe calcularse en primer lugar considerando la falla de elementos más frágiles; sin embargo, si la falla de este grupo no produce inestabilidad del sistema, la capacidad sísmica debe calcularse considerando el próximo grupo y despreciando la resistencia de los elementos que han fallado.

Los valores de coeficientes α_i , se presentan en la **tabla 13**.

Tabla 13.- VALORES DE LOS COEFICIENTES α_i

Tipo	α_1	α_2	α_3	Modo de falla
A	1,0	0,7	0,5	Muros de rellenos de albañilería o columnas cortas o muros de albañilería no reforzada y parcialmente confinada o muros de albañilería confinada controlan la falla.
B	0,0	1,0	0,7	Muros de hormigón armado controlan la falla.
C	0,0	0,0	1,0	Columnas de hormigón armado controlan la falla.

(Boroschek, R., et al., 1996)

El término $\frac{(n_p + 1)}{(n_p + i)}$ considera la relación entre el coeficiente de corte basal y el coeficiente de corte del piso i , cuando estos esfuerzos de corte se establecen en función del peso del edificio por encima del nivel considerado.

Donde:

f_c : Resistencia cilíndrica a la compresión del concreto tomado por algún tipo de equipo que mida la resistencia in-situ de los miembros de concreto con bastante precisión.

$\sum A_{m1}$: Suma de las áreas de los muros de concreto del piso en evaluación con columnas en ambos extremos, con cuantía de refuerzo horizontal igual o mayor que 1.2% y una esbeltez (h_o/L) del muro mayor que 2. En estos muros la resistencia al corte está controlada por la resistencia diagonal de aplastamiento de la diagonal comprimida debido a su alta cuantía de refuerzo horizontal.

$\sum A_{m2}$: Suma de las áreas de los muros de concreto del piso en evaluación con columnas en ambos extremos y cuantía de refuerzo horizontal mínima. En estos casos la resistencia al corte es proporcionada principalmente por la armadura horizontal.

$\sum A_{m3}$: Suma de las áreas de los muros de concreto del piso en evaluación, sin columnas o con una columna en alguno de sus extremos y una esbeltez del muro mayor que 2. En estos muros la resistencia al corte está definida por la carga de agrietamiento diagonal del hormigón debido a su reducida cuantía de armadura de refuerzo.

$\sum A_{m4}$: Suma de las áreas de los muros de concreto del piso en evaluación, sin columnas o con una columna en alguno de sus extremos y una esbeltez del muro mayor que 2. En estos muros la resistencia al corte está dada por las ecuaciones de la norma ACI-318.



$\sum A_{c1}$: Suma de las áreas de las columnas de concreto donde la relación entre la altura libre (h) y el ancho (D) es menor que 6.

$\sum A_{c2}$: Suma de las áreas de las columnas de concreto donde la relación entre la altura libre (h) y el ancho (D) es igual o mayor que 6.

W_j : Peso del piso j .

τ_o : Resistencia básica de corte de la albañilería. El valor de resistencia al cortante de la mampostería se puede aproximar a partir de fórmulas obtenidas por el *Dr. Roberto Meli Piralla*, mediante ensayos de compresión y de tensión diagonal de pilas de mampostería (Fundación ICA, 1999). Sin embargo, se recomienda tomar el valor de 3.00 kg/cm², por ser un valor más conservador debido a la incertidumbre del control de calidad en la mampostería nacional, esto únicamente cuando no existan mayores datos. Por otro lado, el esfuerzo cortante puede ser calculado también, por medio de la siguiente ecuación (Fema-273, 1997):

$$\tau_o = \frac{0.75 \left(0.75 * \tau_{te} + \frac{C_2^u}{A_n} \right)}{1.5} \quad (19)$$

τ_{te} : Esfuerzo cortante medio en las juntas de mortero (100psi). Por su parte el RNC-83 establece un esfuerzo de tensión mínimo en las juntas de mortero de 3.5kg/cm² (50psi).

A_n : Área neta de la sección de la unidad de mampostería en pulg². De acuerdo con el RNC-83, el área neta será: $A_n = 0.5 * A_{bruta}$

C_2^u : Fuerza de compresión por acción de la gravedad aplicada a la estructura (en libras), considerando la combinación carga más desfavorable tomada del RNC-07:
 $C_2^u = 1.2 * CM + 1.6 * CV$ (20)

σ_o : Tensión normal debida al refuerzo axial que producen las cargas verticales de peso propio y las sobrecargas de uso.

L: largo del muro.

H: Altura del piso, si L es igual o mayor que 3mts, o altura libre del muro, si L es menor que 3.

En estas ecuaciones las áreas deben expresarse en cm², las resistencias y tensiones en kg/cm² y los pesos en kg. Los coeficientes que acompañan a las áreas corresponden a la



resistencia al corte de los diferentes tipos de elementos que forman el sistema sísmorresistente, expresados en kg/cm^2 .

II.4.2.1.2.- Índice de configuración estructural (S_D)

Este coeficiente *cuantifica la influencia de las irregularidades de la configuración estructural y de la distribución de rigidez y de masa en el comportamiento sísmico de la edificación.*

La información para calcular S_D se obtiene principalmente de los planos estructurales y se complementa con visitas a terreno. Las características del edificio que se consideran en la determinación de este coeficiente son: regularidad de la planta, relación largo-ancho de la planta, constricciones de la planta, espesor de las juntas de dilatación, dimensiones y ubicación de patios interiores, existencia de subterráneo, uniformidad de la altura de los pisos, excentricidad de rigidez en planta, irregularidades de la distribución de las masas y de la rigidez de entrepiso de los pisos en altura, etc.

Hirosawa, M., propone calcular S_D cuando se usa el primer nivel de evaluación de vulnerabilidad con la siguiente ecuación:

$$S_D = \prod_{i=1}^{j=8} q_i \quad (21)$$

Donde:

$$q_i = \{1.0 - (1 - G_i) * R_i\} \forall i = [1,8] \neq 6$$

$$q_i = \{1.2 - (1 - G_i) * R_i\} \text{ para } i = 6$$

Los valores de G_i y R_i recomendados por Hirosawa se indican en la **tabla 14**.

**Tabla 14.- VALORES DE G_i Y R_i**

ITEMS (q_i)	G_i			R_i
	1,0	0,9	0,8	
1.Regularidad	Regular (a_1)	Mediano (a_2)	Irregular (a_3)	1,0
2.Relación largo-ancho	$B \leq 5$	$5 < B \leq 8$	$B > 8$	0,5
3. Contratación de planta	$0,8 \leq c$	$0,5 \leq c \leq 0,8$	$c < 0,5$	0,5
4.Atrio o patio interior	$R_{ap} = 0,1$	$0,1 < R_{ap} \leq 0,3$	$0,3 < R_{ap}$	0,5
5.Excentricidad de atrio o patio interior	$f_1 = 0,4$ $f_2 = 0,1$	$f_1 \leq 0,4$ $0,1 < f_2 \leq 0,3$	$0,4 < f_1$ $0,3 < f_2$	0,25
6. Subterráneo	$1,0 \leq R_{as}$	$0,5 \leq R_{as} < 1,0$	$R_{as} < 0,5$	1,0
7. Junta de dilatación	$0,01 \leq s$	$0,005 \leq s < 0,01$	$s < 0,005$	0,5
8. Uniformidad de altura de piso	$0,8 \leq R_h$	$0,7 \leq R_h < 0,8$	$R_h < 0,7$	0,5

(Boroschek, R., et al., 1996)

La descripción de cada una de las características se entrega a continuación:

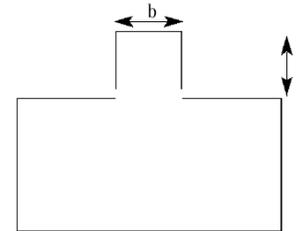
1. Regularidad a_i :

$a_i = \frac{A_{saliente}}{A_{planta}} * 100\%$, Estas salientes son consideradas en el caso que $l/b \geq 0,5$.

a_1 : La planta es simétrica en cada dirección, y el área de salientes es menor o igual al 10% del área total de la planta.

a_2 : La planta no es regular, y el área de salientes es igual o menor que el 30 % del área de la planta. Dentro de esta categoría se encuentran las plantas tipo L, T, U y otras.

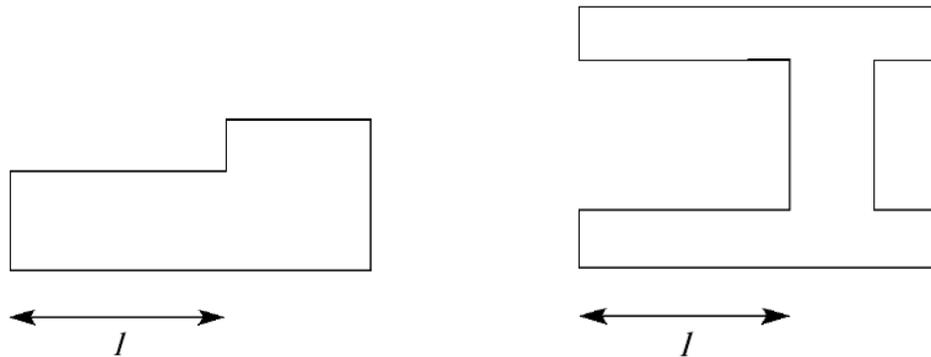
a_3 : La planta es más irregular que el caso a_2 , y el área de salientes es mayor que el 30% del área de la planta.



2. Relación largo - ancho, B:

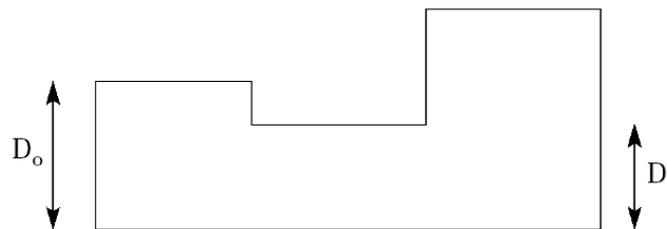
$B = \frac{2 * l}{b}$, Razón entre la dimensión mayor y menor de la planta.

En las plantas tipo L, T, U, u otras se considera el lado mayor como $2 * longitud$, para “ l ” indicado en la figura.



3. Contracción de planta, c:

$$c = \frac{D_1}{D_0} \tag{22}$$



4. Atrio o patio interior, Rap:

Razón entre el área del atrio y el área total de la planta, incluida el área del atrio. Sin embargo, una caja de escaleras estructurada con muros de hormigón armado no se considera en este análisis.

5. Excentricidad de atrio o patio interior, f:

f1: Razón entre la distancia del centro de la planta al centro del atrio, y la longitud menor de la planta.

f2: Razón entre la distancia del centro de la planta al centro del atrio, y la longitud mayor de la planta.

6. Subterráneo, Ras:

Razón entre el área promedio de la planta de los subterráneos y el área promedio de la planta del edificio.

7. Junta de dilatación, s:

$s_{probable} = \frac{e}{h}$, razón entre el espesor de la junta de dilatación sísmica y la altura del nivel sobre el suelo donde se encuentra. Este criterio se aplica a edificios que tienen juntas de dilatación.



8. Uniformidad de altura de piso, R_h :

Razón entre la altura del piso inmediatamente superior al analizado y la altura de este. Para el caso del piso superior, el piso inmediatamente superior de esta ecuación es reemplazado por el piso inmediatamente inferior. Según *Hirosawa*, el valor de S_D se calcula usando el valor más desfavorable entre los obtenidos para la característica en los diferentes pisos, valor que se asume como representativo del edificio completo.

II.4.2.1.3.- Cálculo del Índice de deterioro de la edificación (T)

Este índice cuantifica los efectos que produce el deterioro de la estructura debido al paso del tiempo o bien a la acción de sismos pasados u otras acciones que puedan haberla afectado. El índice se calcula a partir de la información obtenida de las visitas al edificio y de la información que proporcione el propietario. El índice T se determina con la **tabla 15**; considerando que se usa un valor único del índice T para el edificio, este valor debe corresponder al menor valor obtenido de las tablas.

Tabla 15.- VALORES DEL ÍNDICE T PARA DIFERENTES CAUSAS Y TIPOS DE DETERIORO.

Deformación permanente (T_1)	
Característica	T_1
El edificio presenta inclinación debido a asentamiento diferencial	0,7
El edificio está construido sobre relleno artificial	0,9
El edificio ha sido reparado debido a deformaciones presentadas anteriormente.	0,9
Visible deformación de vigas o columnas	0,9
No presenta signos de deformación	1,0

Grietas en muros o columnas debido a corrosión del acero de refuerzo (T_2)	
Característica	T_2
Presenta filtraciones con corrosión visible de armaduras	0,8
Grietas inclinadas visibles en columnas	0,9
Grietas visibles en muros	0,9
Presenta filtraciones,pero sin corrosión de armaduras	0,9
Nada de lo anterior	1,0

Incendios (T_3)	
Característica	T_3
Ha experimentado incendio, pero no fue reparado	0,7
Ha experimentado incendio y fue adecuadamente reparado	0,8
No ha experimentado incendio	1,0

(Boroschek, R., et al., 1996)

Continuación de **Tabla No. 15:**

Uso del cuerpo o bloque (T₄)	
Característica	T ₄
Almacena sustancias químicas	0,8
No contiene sustancias químicas	1,0

Tipo de daño estructural (T₅)	
Característica	T ₅
Daño estructural grave	0,8
Daño estructural fuerte	0,9
Daño estructural ligero o no estructural	1,0

(Boroschek, R., et al., 1996)

El criterio de la clasificación del daño asociado al choque es el de la **tabla 16**.**Tabla 16.- CLASIFICACIÓN DE DAÑOS CAUSADOS POR SISMO (IGLESIAS ET AL., 1987)**

Tipo de daño	Descripción
No estructural	Daños únicamente en elementos no estructurales
Estructural ligero	Grietas de menos de 0,5 mm de espesor en elementos de hormigón armado. Grietas de menos de 3 mm de espesor en muros de albañilería.
Estructural fuerte	Grietas de 0,5 a 1 mm de espesor en elementos de hormigón armado. Grietas de 3 a 10 mm de espesor en muros de albañilería.
Estructural grave	Grietas de más de 1 mm de espesor en elementos de hormigón armado. Aberturas en muros de albañilería. Aplastamiento del hormigón, rotura de estribos y pandeo del refuerzo en vigas, columnas y muros de hormigón armado. Agrietamiento de capiteles y consolas. Desplome de columnas. Desplome del edificio en más de 1 % de su altura. Asentamiento de más de 20cm.

(Iglesias, et al., 1987)



II.4.2.2.- Índice Básico de Demanda (I_{SO})

Este índice se calcula con la siguiente expresión:

$$I_{SO} = E_{SO} * Z * G * U \quad (23)$$

Donde:

E_{SO} : Resistencia básica requerida.

Z : Factor de zona sísmica; su valor depende del peligro sísmico del lugar donde se ubica el edificio ($0.5 \leq Z \leq 1$).

G : Factor de influencia de las condiciones topográficas y geotécnicas.

U : Factor de importancia del edificio por su uso

La **resistencia sísmica básica** (E_{SO}) puede ser determinada a partir del estudio de los daños de los edificios durante un terremoto. Para los propósitos de otros estudios, *es aconsejable que esta resistencia se establezca a partir del requerimiento de resistencia elástica de las normas para la zona de mayor peligro sísmico* (zona epicentral), reducida por un factor de reducción (R) cuyo valor debe ser elegido considerando que *el nivel de daño* que se produzca, *evite el decaimiento de la funcionalidad del servicio* después de la eventualidad natural.

El factor G se considera igual a 1,0 para condiciones topográficas sin pendiente e igual a 1,1 para zona de pendiente.

Algunos valores propuestos de I_{SO} se muestran en la **tabla 17**.

Tabla 17.- VALORES DEL ÍNDICE DE DEMANDA (I_{SI})

Tipo de estructura	Categoría del Riesgo		
	Alto	Medio	Bajo
Pórticos de madera	2.2	3.0	4.2
Pórticos de acero resistentes a momentos	2.0	2.5	4.2
Pórticos de acero arriostrados	1.5	2.0	2.5
Paredes a cortante de concreto	2.0	2.5	3.0
Grandes paneles de concreto prefabricado	1.5	2.0	2.5
Marcos de concreto	1.0	1.5	2.0
Marcos de concreto prefabricado	0.5	1.0	1.5
Mampostería reforzada	1.5	1.7	2.0
Pórticos rellenos y/o Mampostería Confinada	0.7	1.0	1.5
Mampostería de ladrillo/piedra	0.3	0.5	0.7

(Hirosawa, M., 1992)



Modificadores del Índice de Demanda (ΔI_s)

Estos modificadores son idénticos para todos los tipos de estructuras y todas las zonas sísmicas del país, estos dependen del año de construcción, de sus condiciones presentes, del tipo de estructura y del tipo de cimentación. En la **tabla 18** se muestran estos valores.

$$I_{s2} = I_{s1} + \Delta I_s \quad (24)$$

Tabla 18.- MODIFICADORES ΔI_{so}

Tipos de Estructuras	ΔI_s
Edificios altos (8 pisos o más)	-0.5
Edificios de altura media (4-7 pisos)	0.0
Edificios bajos (3 pisos o menos)	0.3
Pobres condiciones	-0.3
Pobres condiciones de las estructuras prefabricadas de concreto	0.5
Piso blando (si la estructura tiene más de un nivel)	-1.0
Excentricidad significativa	-0.5
Posible choque (solamente para edificios de media y elevada altura):	
.- Entrepisos adyacentes al mismo nivel	-0.2
.- Entrepisos adyacentes a diferentes alturas	-0.5
Columnas cortas de hormigón	-0.5
Año de construcción:	
Antes de 1960	-0.5
Entre 1960-1975	0.0
Después de 1975	0.5
Tipo de Suelo:	
S1 (roca y arcilla dura)	0.0
S2 (arena, grava)	-0.2
S3 (suelos blandos y medios o desconocidos)	-0.3
S4 (edificios de elevada altura)	-0.4

(Hirosawa, M., 1992)



II.5.- Evaluación del Daño Estructural

II.5.3.- Estados o grados de daño

Una primera alternativa para describir el nivel de daño consiste en definir diferentes *estados de daño* de la edificación. Para ello, se emplean términos o definiciones cualitativas que sirven como indicadores del grado de daño global de la edificación o del nivel de perturbación que sufre el mantenimiento de sus funciones. *Constituyen una medida discreta del nivel de deterioro que puede sufrir la edificación.* La mayoría de los trabajos han utilizado cinco estados de daño básicos identificados a través de los siguientes calificadores: ninguno, menor, moderado, severo y colapso.

II.5.3.1.- Estados discretos de daño

Los estados discretos de daño (*EDD*), representan una condición límite o tolerable de la estructura de acuerdo con tres aspectos esenciales a tener en cuenta: Daños físicos sobre los elementos estructurales y no estructurales, el nivel de riesgo de los ocupantes de la edificación, y la funcionalidad de la vivienda después del sismo (Comité Visión 2000, 1995).

En la actualidad, se han hecho varias clasificaciones para los estados discretos de daño (ATC-13, EMS-98, MSK, HAZUS, ATC-25, RISK-UE entre otros), las cuales han sido extraídas de los daños físicos observados en las estructuras después de la sacudida sísmica y/o de ensayos de laboratorio. A continuación se presenta una breve descripción de clasificaciones de estados de daño:

II.5.3.1.1.- Clasificación de acuerdo con los daños observados

En 1987, Park, Ang y Wen propusieron 5 estados de daño diferentes para edificios de concreto reforzado (ver **tabla 19**) apoyándose en la evidencia de los daños observados después del sismo y ensayos de laboratorio:

Tabla 19.- CLASIFICACIÓN DEL DAÑO ESTRUCTURAL (según Park, et al.)

Estado discreto de daño	Descripción del daño
Sin daño	Se producen grietas en el concreto
Daño ligero	Se producen grietas en varios elementos estructurales
Daño moderado	Agrietamiento severo y se producen algunos desprendimientos de concreto
Daño severo	Aplastamiento del concreto y pérdida de recubrimiento de las barras de acero de refuerzo
Colapso	Daño total

(Bedoya, D. 2005)



En 1992, Petrovski et al., proponen tres estados de daño aplicables a estructuras de concreto reforzado y mampostería estructural (ver **tabla 20**). La propuesta se basó en los daños observados y la disponibilidad de estas estructuras de ser utilizadas una vez ha ocurrido el sismo:

Tabla 20.- CLASIFICACIÓN DEL DAÑO ESTRUCTURAL (según Petrovski, et al.)

Estados de daño	Funcionalidad
Leve	Utilizable
Moderado – Severo	Temporalmente utilizable
Severo	Completamente inutilizable

(Bedoya, D. 2005)

II.5.3.1.2.- Clasificación de acuerdo con la reparación de la estructura

Esta propuesta es bastante útil para la toma de decisiones de reforzamiento, planificación y valoración económica después de ocurrido el sismo (Bracci, et al., **1989**; Stone & Taylor, **1993**). Comprende cuatro estados de daño según la reparación de la estructura: Sin daño o daños leves, Reparable, Irreparable y Colapso.

II.5.3.1.3.- Clasificaciones combinadas

EERI (**1994**), propone una escala de 5 estados discretos de daño, en los cuales se involucra los daños no estructurales, el tiempo fuera de funcionamiento de la vivienda y el riesgo al que están expuestos los ocupantes (ver **tabla 21**):

Tabla 21.- CLASIFICACIÓN DEL DAÑO ESTRUCTURAL SEGÚN EERI (1994)

Estados de daño	Descripción del daño
Sin daño	
Leve	Daños menores en elementos no estructurales. La estructura continua funcionando con normalidad en menos de una semana.
Moderado	Daños no estructurales considerables, se producen pequeños daños estructurales. La estructura puede estar cerrada hasta por 3 meses. El riesgo que se produzca pérdida de vidas humanas es mínimo.
Severo	Daños estructurales aumentan y es posible que la estructura deba estar cerrada por un período largo de tiempo. Puede ser necesario demoler la estructura.
Colapso	Daños son irreparables y hay una probabilidad muy alta que se produzcan pérdidas de vidas humanas.

(Bedoya, D., 2005)



II.5.3.2.- Índices de daño

En los estudios de vulnerabilidad, los índices o indicadores de daño son parámetros que permiten correlacionar y cuantificar la respuesta obtenida a partir de modelos estructurales sometidos a movimientos sísmicos con el grado de daño o deterioro ocasionado por estos movimientos sobre los elementos y/o la estructura. Estos parámetros habitualmente involucran una o más variables (Dolce, et al., **1995**), tales como: deformaciones unitarias, curvatura, rotaciones, desplazamientos, deriva entre piso, fuerzas, energía absorbida y energía disipada, entre otras. Su elección está determinada por el tipo de daño que se desea analizar; local, intermedio o global.

Para definir los índices de daño es necesario implementar o diseñar un modelo estructural que represente de la mejor manera posible las características del sistema estructural, las propiedades mecánicas de los materiales utilizados, las características de las fuerzas aplicadas y los posibles tipos de fallo que presenta la estructura. Ante este panorama la definición o *elección de un índice de daño es un problema complejo para el cual aún no existe un criterio unificado.*

A pesar de ello, en la actualidad se han propuesto varios índices de daño obtenidos a partir de ensayos de laboratorio y/o de observaciones de los daños ocurridos después del terremoto. La mayoría de estos índices han sido desarrollados para edificaciones en concreto reforzado, acero y mampostería estructural.

II.5.3.3.- Relaciones entre los estados e índices de daño

Los estados de daño *describen de forma cualitativa el daño*, y los *índices de daño* son parámetros que nos *permiten correlacionar la respuesta de la estructura con el grado o estado de daño.*

Dentro los primeros avances en la determinación de índices de daño, se encuentra la propuesta de Park, Ang y Wen (**1987**). En la **tabla 22**, se muestra la correlación del índice de daño global ID y cinco estados discretos de daño. Debe notarse que estos estados discretos e índices de daño han sido propuestos para edificaciones de concreto reforzado y fueron obtenidos a partir de observaciones hechas después de sismos y/o por medio de ensayos de laboratorio.

**Tabla 22.-** CORRELACIÓN ENTRE ÍNDICE DE DAÑO GLOBAL Y ESTADOS DISCRETOS DE DAÑO

Estado discreto de daño	Intervalo de variación del índice de daño (I_D)
Sin daño	$I_D < 0.10$
Ligero	$0.10 \leq I_D < 0.25$
Moderado	$0.25 \leq I_D < 0.40$
Severo	$0.40 \leq I_D < 1.00$
Colapso	$I_D \geq 1.00$

(Park, et al., 1987)

Similarmente, Bracci et al. (1989) propone la correlación mostrada en la **tabla 23**, para cuatro estados discretos de daño, apoyado en estudios anteriores y realizando ensayos de laboratorio sobre columnas y pórticos de concreto reforzado.

Tabla 23.- CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE DAÑO GLOBAL Y LOS ESTADOS DISCRETOS DE DAÑO

Estado discreto de daño	Intervalo de variación del índice de daño (I_D)
Sin daño	$I_D < 0.33$
Reparable	$0.33 \leq I_D < 0.66$
Irreparable	$0.66 \leq I_D < 1.00$
Colapso	$I_D \geq 1.0$

(Bracci, et al., 1989)



II.6.- Índice de Daño de Edificios de Mampostería Confinada

II.6.1.-Introducción

Para estimar el daño estructural se hizo uso de funciones de vulnerabilidad (**Figura 3**) que relacionan el Índice de vulnerabilidad (**Iv**) con el Índice de daño condicionado sobre las aceleraciones horizontales del suelo debido a un sismo propuesto⁸.

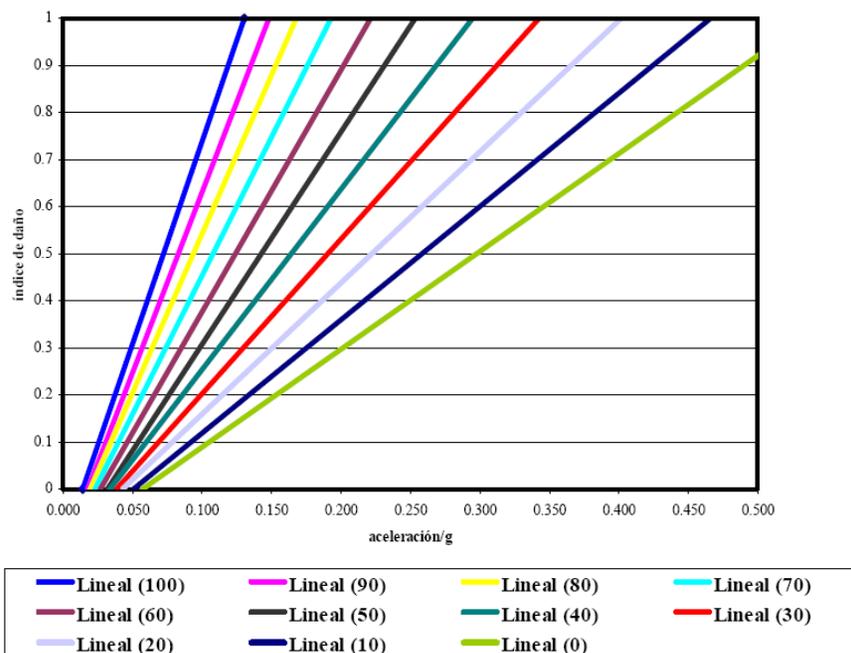


Figura 3.- FUNCIONES DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD-DAÑO-ACELERACIÓN
FUENTE: Reyes, N. et al. (2002)

El daño se expresa en una escala normalizada ($0 < ID < 1$), y se adoptó la clasificación de estado de daño propuesta por Park, Ang y Wen (**1993**), ligeramente modificada (ver **tabla 24**) con la intención de que este índice de daño cuantitativo calzara con el rango cualitativo para la estimación de pérdidas humanas propuesta en Metodología HAZUS.

**Tabla 24.- CARACTERIZACIÓN DEL DAÑO PARA EL ÍNDICE DE DAÑO DE PARK, ANG Y WEN (1993), (MODIFICADA)⁸**

Estado de daño	Índice de Park, Ang y Wen	Descripción del estado de daño
Menor	$ID < 0.25$	Agrietamiento ligero generalizado en toda la estructura
Moderado	$0.25 \leq ID < 0.4$	Agrietamiento fuerte y pérdida del recubrimiento localizado en varios elementos estructurales.
Severo	$0.4 \leq ID < 0.8$	Aplastamiento del concreto y exposición del refuerzo.
Total	$0.8 \leq ID < 1.0$	Colapso parcial o destrucción total del edificio.
Colapso	$ID \geq 1.0$	Colapso total del edificio

(Reyes, N. et al, 2002)

Por simplicidad, las curvas de daño han adquirido una forma trilineal definido por dos puntos: la aceleración a la cual el daño comienza ($ID > 0$) y la aceleración a la que el edificio colapsa completamente ($ID = 1$). Las ecuaciones que describen las rectas mostradas en la **figura 3** se muestran en la **tabla 25**.

Tabla 25.- ÍNDICES DE DAÑO PARA IV NORMALIZADO

IV normalizado	Ecuación de la recta
100	Índice de Daño = $8.6154*(a/g) - 0.1231$
90	Índice de Daño = $7.6712*(a/g) - 0.1371$
80	Índice de Daño = $6.7470*(a/g) - 0.1325$
70	Índice de Daño = $5.8947*(a/g) - 0.1368$
60	Índice de Daño = $5.1376*(a/g) - 0.1376$
50	Índice de Daño = $4.5161*(a/g) - 0.1452$
40	Índice de Daño = $3.8356*(a/g) - 0.1301$
30	Índice de Daño = $3.2845*(a/g) - 0.1261$
20	Índice de Daño = $2.7861*(a/g) - 0.1194$
10	Índice de Daño = $2.4086*(a/g) - 0.1226$
0	Índice de Daño = $2.0786*(a/g) - 0.1188$

(Reyes, N. et al, 2002)

Selección de sismos

Para realizar el cálculo del índice de daño de cada edificación del Hospital Vélez Paiz, se escogieron los siguientes sismos:

- **Sismo de 0.10g:** este sismo se seleccionó con el propósito de visualizar cuán pequeño resultaría el índice de daño y de esta forma disponer de información amplia para hacer comparaciones respecto a los resultados obtenidos con el resto de aceleraciones escogidas.



- **Sismo de 0.19g:** un evento con esta aceleración corresponde a 1.82 m/s^2 y su probabilidad de excedencia es de 0.02 por año (período de retorno de 50 años) según los parámetros estadísticos de la amenaza sísmica de la capital.
- **Sismo de 0.30g:** es un movimiento mucho más fuerte que el anterior, su aceleración equivale a 2.94 m/s^2 , tiene probabilidad de excedencia de 0.004 y un período de retorno de 250 años. La razón de su escogencia es analizar los efectos de un terremoto destructor cuya aceleración máxima no alcance la del 1972.
- **Sismo de 0.40g:** esta aceleración es aplicada al presente estudio debido a que una de similar magnitud (0.36g) fue registrada por el acelerógrafo ubicado en Cruz Roja Belmonte, cercano al sitio de estudio. El período de retorno de esta aceleración es de 1000 años.

Tabla 26.- SISMOS vs ÍNDICE DE DAÑO (I_d)

IV Normalizado	Índice de Daño			
	$a_1=0.10g$	$a_2=0.19g$	$a_3=0.30g$	$a_4=0.40g$
100	0.738	1.514	2.462	3.323
90	0.630	1.320	2.164	2.931
80	0.542	1.149	1.892	2.566
70	0.453	0.983	1.632	2.221
60	0.376	0.839	1.404	1.917
50	0.306	0.713	1.210	1.661
40	0.253	0.599	1.021	1.404
30	0.202	0.498	0.859	1.188
20	0.159	0.410	0.716	0.995
10	0.118	0.335	0.600	0.841
0	0.089	0.276	0.505	0.713

Obando, G. & Rodríguez, R. (2008)

II.6.2.- Cálculo de Pérdidas Económicas

Para calcular las pérdidas económicas ante eventos telúricos se requiere de dos datos, el índice de daño de las estructuras, el cual se obtuvo con las funciones de vulnerabilidad del método del índice de vulnerabilidad, y el costo de las edificaciones, que en este caso se utilizó valor propuesto por OPS/OMS en **tabla 4 Costo Estimado de Reposición de daños**.

Es importante mencionar que estas pérdidas económicas incluyen tanto, costos estructurales como costos derivados de daños en elementos no estructurales (lámparas, televisores, ventanas, muebles, etc.).



La ecuación utilizada para este cálculo es la siguiente:

$$P_e = I_d * \$ \tag{25}$$

Donde:

P_e : Pérdidas económicas

I_d : Índice de daño

$\$$: Costo de la edificación (leer *Costo Estimado de Reposición de daños* en **tabla 4**, pág. 26)

II.6.3.- Cálculo de Pérdidas Humanas

La metodología para la estimación de víctimas se basa en *suposición* de que hay una fuerte correlación entre el daño (estructural y no estructural) del edificio y, el número y severidad de víctimas ante eventos sísmicos. Seguidamente se muestra la tabla de víctimas en función del índice de daño únicamente de estructuras de mampostería confinada ubicadas en regiones altamente sísmicas (ver **tabla 27**).

Tabla 27.- RANGO DE VÍCTIMAS EN FUNCIÓN DEL ÍNDICE DE DAÑO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA

Estado de daño	Índice de Park, Ang y Wen	Nivel de gravedad de las víctimas			
		1.Golpeados %	2.Heridos %	3.Heridos graves %	4.Muertos %
Menor	ID<0.25	0.05	0.005	0	0
Moderado	0.25≤ID<0.4	0.4	0.04	0	0
Severo	0.4≤ID<0.8	2	0.2	0.002	0.002
Total	0.8≤ID<1.0	10	2	0.02	0.02
Colapso	ID ≥1.0	50	10	2	2

(Reyes, N. et al, 2002)

La ecuación utilizada para este Cálculo es la siguiente:

$$V_i = \%V_i * P \tag{26}$$

Donde:

V_i : Víctimas tipo i (i = 1, 2, 3 ó 4)

$\%V_i$: Víctimas tipo i (i = 1, 2, 3 ó 4), en función del estado de daño de la estructura

P : población



II.7.- Técnicas de Intervención Estructural

La intervención estructural consiste en la *implementación de todas aquellas medidas estructurales necesarias para garantizar un nivel de desempeño estructural adecuado ante un sismo**.

Las estrategias de reforzamiento estructural persiguen reducir la susceptibilidad de la edificación de sufrir daños debidos a un sismo. Teniendo en cuenta que dichos daños generalmente dependen del nivel de deformaciones, así como de la historia de deformaciones (número, magnitud, secuencia de incursión inelástica, etc.), es importante reconocer que *el control de daños implica en cierta forma el control de las deformaciones relativas*. Tales estrategias pueden enmarcarse desde un punto de vista cualitativo en tres grupos¹³:

- ✓ Técnicas de rigidización
- ✓ Técnicas para elevar la capacidad de deformación de la estructura
- ✓ Técnicas para reducir la demanda sísmica actuante sobre la estructura.

Estas técnicas suelen implementarse a través de la inserción de elementos adicionales. En el caso de técnicas de rigidización del sistema, estos elementos pueden ser muros de corte, contrafuertes, marcos, marcos arriostrados, muros de relleno en marcos, reforzamiento de diafragmas, reforzamiento de columnas y vigas e incorporación de elementos de confinamiento. En cambio, las técnicas que ayudan a elevar la capacidad de deformación de la estructura, se orientan a mejorar el confinamiento en elementos poco dúctiles (por ej.: unidades de mampostería), incrementar la resistencia, reducir la rigidez local o agregar soportes adicionales.

Finalmente, están las técnicas de reducción de la demanda sísmica, raramente implementadas en nuestro país. Estas pretenden modificar la *respuesta estructural* como medida de reducción de las demandas de fuerzas y deformaciones en el sistema. Existen diferentes estrategias tales como: el aislamiento de la base, el incremento de la capacidad de disipación de energía empleando dispositivos disipadores y la reducción de masas innecesarias.

A continuación se, explica en breve, algunas de las estrategias de intervención estructural utilizadas en la actualidad en muchos países del mundo²⁴:

*Leer también *Intervención prospectiva e intervención correctiva* en Glosario



I.7.1.- Rigidez estructural global

Algunas estructuras flexibles tienen un desempeño pobre en terremotos debido a que los componentes y elementos críticos, no tienen adecuada ductilidad o resistencia para soportar grandes deformaciones laterales que el movimiento del suelo induce en la estructura. Para estructuras compuestas por muchos elementos, una medida efectiva para mejorar el desempeño, es aumentar su rigidez para que su repuesta produzca menos deformación lateral. *La adición de marcos o muros de corte*, son medios efectivos para el incremento de tal rigidez.

I.7.2.- Resistencia estructural global

Esta técnica se emplea cuando la edificación posee resistencia inadecuada para soportar cargas laterales, dado que exhibe comportamiento inelástico a niveles muy bajos de movimiento del suelo. Al proveer resistencia adicional al sistema resistente a cargas laterales del edificio, es posible incrementar el umbral del movimiento del suelo en uno donde no ocurra el inicio del daño. Los muros de corte y marcos arriostrados, son elementos efectivos para este propósito. Sin embargo, pueden llegar a ser significativamente más rígidos que las mismas estructuras en donde son adicionados, requiriendo que se diseñen para proveer resistencia lateral necesaria de la estructura. Los marcos resistentes a momentos, al ser más flexibles, pueden ser más compatibles con los elementos existentes en algunas estructuras. Sin embargo, tales elementos pueden no ser efectivos en la repuesta del edificio hasta que los elementos frágiles existentes sean dañados.

I.7.3.- Reducción de masas

Las reducciones en la masa del edificio, proporciona reducciones tanto en la carga lateral como en la demanda de deformación producida por terremotos. La masa puede ser reducida mediante la demolición de pisos superiores, el reemplazo de pesados revestimiento y particiones interiores o la remoción de almacenes pesados y cargas de equipos.

I.7.4.- Técnicas de aislamiento sísmico

Cuando una estructura es aislada sísmicamente, los cojinetes de demanda son introducidos entre la superestructura y su fundación. Esto produce un sistema con repuesta fundamental de traslación por encima de los cojinetes. La mayor parte de la deformación inducida en el sistema aislado por movimiento del suelo, ocurre dentro de cojinetes de demanda, los cuales han sido especialmente diseñados para resistir esos desplazamientos concentrados.

Por esta razón, el aislamiento sísmico es a menudo una estrategia apropiada para la protección de contenidos históricos de una nación (como museos, teatros, catedrales), contenidos valiosos (como bancos, edificios de la presidencia), y de los equipos (en el caso de hospitales o de industrias), o bien, para edificios que contienen operaciones y funciones



importantes. Esta técnica es la más efectiva para edificios relativamente rígidos con bajos perfiles y grandes masas, y por el contrario es menos efectiva para estructuras flexibles.

I.7.5.- Disipación adicional de energía

En la actualidad algunas tecnologías disponibles permiten que la energía impartida a una estructura sea disipada de una manera controlada por medio de la acción de artefactos especiales (amortiguadores de fluidos viscosos o cilindros hidráulicos), platos de fluencia, o cojines de fricción (produciendo una reducción global de los desplazamientos de la estructura). Los artefactos más comunes disipan energía por medio de procesos friccionantes, histeréticos o visco-elásticos.

Con la finalidad de disipar energía de manera substancial, los artefactos de disipación comúnmente deben ser sometidos a deformaciones significativas, lo cual requiere de una experiencia estructural de desplazamientos laterales significativos. Por lo tanto, estos sistemas son más efectivos en estructuras que son relativamente flexibles y tienen cierta capacidad de deformación inelástica.

Los disipadores de energía son más comúnmente instalados en estructuras con componentes de marcos arriostrados. En algunos casos, aunque los desplazamientos late



III.1.- Material

El material empleado para el desarrollo de esta monografía se ha agrupado, de acuerdo con las etapas que ha seguido la investigación, de la siguiente manera:

a) Trabajo de Gabinete

Se usó Procesador portátil *Acer Aspire 5050* para estudiar, analizar y digitalizar toda información recopilada que serviría para fortalecer el marco teórico, así como, para realizar el informe final del estudio (ver **foto 1**). Para esta labor, se emplearon programas específicos para confección de planos estructurales (planta y elevación), y la elaboración de diapositivas: Autocad 2008, Microsoft Excel y Microsoft Word y Power Point. Durante el proceso se empleó calculadora *TI-83 Plus* para realizar cálculos de manera más rápida.

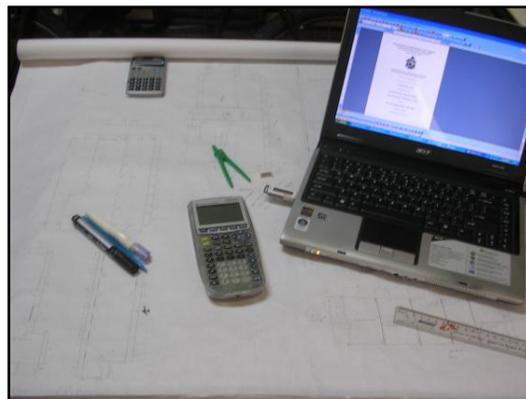


Foto 1.- EQUIPO DE OFICINA

b) Trabajo de Campo

Se empleó tablillas portapapeles por persona (2 en total), hojas blancas de papel de 8,5"x11" y bolígrafos para anotar aspectos importantes de cada edificación (como geometría en planta y en elevación, entre otras), además se emplearon memorias flash *Kingston* y CDs para almacenar documentación digital proporcionada por el área Administrativa del hospital y de otros sitios. Se usó también cinta métrica de fibra de vidrio de 50m de longitud, para tomar lecturas de longitudes y alturas de columnas, vigas y muros (ver **foto 2**).



Foto 2.- EQUIPO DE CAMPO

Se utilizó cámara fotográfica digital de 3,5 mega píxel para evidenciar zonas agrietadas y potencialmente vulnerables del Hospital Vélez Paiz. Durante toda esta etapa se elaboró y usó de formatos de evaluación de la vulnerabilidad previamente elaborados en etapa de gabinete (vea **cuadro 9**).



III.2.- Método

En el presente trabajo se emplearon tres métodos para el alcance de objetivos propuestos y resultados obtenidos, estos son: Descriptivo, Explicativo y Correlacional. El *Primero*, consistió en especificar las propiedades de los materiales que componen cada edificación evaluada, como: resistencia del concreto a la compresión, resistencia del acero a la corrosión, entre otras, y estadísticas propias del hospital en estudio. Además, se usó el método Explicativo para descubrir las causas de vulnerabilidad sísmica del Hospital Vélez Paiz, con ayuda del cálculo de índices de seguridad sísmica utilizando Método de Hirosawa. Finalmente, se empleó el método Correlacional para relacionar índices de seguridad sísmica calculados, con índices de daño de edificios de mampostería confinada tipología similar a edificaciones del hospital Vélez Paiz.

Para la consecución de los Objetivos propuestos se alcanzó procediendo de la forma siguiente:

III.2.1.- Recopilación de Información

III.2.1.1.- Revisión bibliográfica preliminar

Se consultó trabajos monográficos realizados en la ciudad de Managua vinculados con el tópico que aquí se aborda. Se consultó también, monografías en formato digital de estudios de vulnerabilidad sísmica de hospitales de otros países, libros relacionados con propiedades físico-mecánicas de materiales, textos de análisis y diseño de estructuras sismorresistentes, y artículos periodísticos publicados en Internet. La documentación escrita y cartográfica disponible del área se encuentra en la Dirección Administrativa del Hospital Fernando Vélez Paiz, la Alcaldía municipal, Empresa **nicaSolum** Ingeniería de Materiales S.A., en las oficinas del Laboratorio de Suelos y materiales de construcción (SUMACSA) y otros.

III.2.1.1.1.- Documentación técnica encontrada

a) Estudios Geológicos:

Se utilizó el informe de una investigación geológica practicada con anterioridad en un lote de terreno ubicado en el Reparto Belmonte, Managua, cuyo propósito fue evaluar el peligro sísmico por fallamiento superficial y determinar las características estratigráficas generales de esa área de estudio.

Esa investigación consistió en el análisis e interpretación de los trabajos existentes realizados en áreas aledañas al sector, levantamiento geológico del sector y sus alrededores, apertura de tres zanjas de 167.00 m. de longitud total cada una orientadas de acuerdo a criterios geológicos por fallamiento superficial, descripción geológica detallada de las zanjas y de la secuencia estratigráfica del subsuelo y análisis de los resultados¹⁶.



b) Estudios Geotécnicos

Se obtuvieron y analizaron datos sobre las características y propiedades físico-mecánicas de la estructura del Hospital Fernando Vélez Paiz (ver **foto 3**), reunidos en el estudio “*Informe Geotécnico, Pruebas en Concreto, Corrosión y Distribución de Acero*”, de **Nicasolum** (2005).



Foto 3.- PRUEBA DE MARTILLO SUIZO.

Fuente: nicasolum, 2005

III.2.1.1.2.- Entrevistas

Se realizó entrevista al personal de la Gerencia Administrativa del Hospital sobre la calidad y tipo de material empleado en su construcción, su edad, existencia de áreas agrietadas, acciones de reforzamiento estructural practicado al edificio, personal que actualmente labora en dicho hospital y que se espera esté presente al momento de un desastre, entre otros. Cabe señalar que esta tarea se realizó debido a que no existían planos estructurales, ni arquitectónicos del hospital, algunos otros datos (como la población) se consiguieron por información consultada en la biblioteca de este hospital o consultada por la página web del Ministerio de Salud (www.minsa.gob.ni).

III.2.2.- Elaboración de formato o planilla de inventario

Se elaboró ficha o planilla de inventario (vea **cuadro 9**) que reúne información necesaria sobre la aplicación del método de cálculo de la vulnerabilidad sísmica en el hospital, tales como las dimensiones (en planta) de cada instalación, cantidad de muros, tipo de muros, cantidad de vanos (ventanas y puertas), etc. Esto fue posible mediante una inspección previa en el terreno con el fin de determinar aquellos ítems a considerar en el levantamiento, como indicadores de medición del Índice de seguridad sísmica: el comportamiento estructural de la instalación, la configuración estructural y el grado de deterioro de la edificación. Este formato está estructurado en cinco columnas principales las cuales son: ocupación, geometría de la construcción, dimensión de muros, columnas, estado actual del edificio y una clasificación visual del daño presente con el empleo de fotografías tomadas in situ. Este último aspecto toma en cuenta el estudio de la presencia de fisuras o agrietamiento en muros de mampostería confinada, vigas y columnas de concreto.



Por otra parte, se diseñaron planillas donde se tabuló los tipos y niveles de riesgo para todos los elementos del hospital (vea **cuadro 10**): muebles, vidrios, estantes, gabinetes, cielorrasos, objetos que deslizan o ruedan por el piso, conductos de gases tóxicos o médicos, líquidos corrosivos o peligrosos, generador eléctrico, generadores de vapor, sistemas de soporte de vida, central telefónica, computadoras y equipos en general.

III.2.3.- Levantamiento de Campo

Se realizó inspección de campo en nueve edificaciones del Hospital caso de estudio con el empleo del formato de vulnerabilidad sísmica previamente elaborado, con el fin de obtener parámetros necesarios que contempla la metodología propia de este informe en su aplicación.

Para la evaluación in situ de la vulnerabilidad, se ha efectuado inspección sistemática y completa de las instalaciones. Estas visitas fueron clasificadas en tres categorías y en tres niveles de riesgo: riesgo para las vidas, riesgo de pérdida de bienes muebles y riesgo de pérdida funcional; éstos, a su vez, fueron clasificados en bajo, moderado o alto, en base a los cuales se asociaron tres niveles de vulnerabilidad sísmica.

A fin de determinar la vulnerabilidad funcional, se evaluó lo referente a la infraestructura. En primer lugar, el sistema de suministro de agua y de energía eléctrica, que son las partes más vulnerables. También son afectadas por los sismos las tuberías de aguas servidas, alcantarillado, gas y combustibles (kerosén, diesel y gasolina).

III.2.4.- Procesamiento de datos y Análisis de Resultados

Se analizó los datos obtenidos. Una vez obtenidos los resultados (preliminares) provenientes del levantamiento de campo, se debe realizar un análisis de los mismos con el fin de obtener el nivel de seguridad sísmica del hospital y el grado de vulnerabilidad de sus diferentes instalaciones. Con ello se cuantifica no sólo los daños (físicos y económicos) que se esperan, sino también, el probable número de víctimas humanas debido a la acción de un sismo de 0.10g, 0.18g, 0.30g similar al del terremoto de 1972, y uno de 0.36g obtenido de registros acelerográficos en Cruz Roja Belmonte.

III.2.5.- Interpretación y Discusión de Resultados

En esta etapa los resultados se presentan en tablas y gráficos donde se encuentran agrupadas las variables determinadas por cada edificación estudiada del hospital. En estas, se muestra tanto el valor del Índice sísmico de capacidad como el Índice de demanda, por medio de los cuales se clasifica luego, el grado o nivel de vulnerabilidad estructural de la edificación.

Para esta labor se usó de los siguientes programas computacionales: Autocad 2008 para la confección de planos del edificio.



III.2.6.- Elaboración de Informe Final

Para esta etapa se realizó documento final, el cual fue dividido en cinco capítulos: el Primero contiene una Introducción del informe y presentación de Objetivos propuestos, el Segundo Capítulo consta de Aspectos Conceptuales sobre el problema que se aborda, el Tercero comprende la Metodología de trabajo de esta investigación. Además, se destina un Capítulo exclusivo para Resultados que abarca el análisis, interpretación y discusión de los mismos. En el último Capítulo, se presentan las Conclusiones y Recomendaciones generales del informe.



CAPÍTULO IV

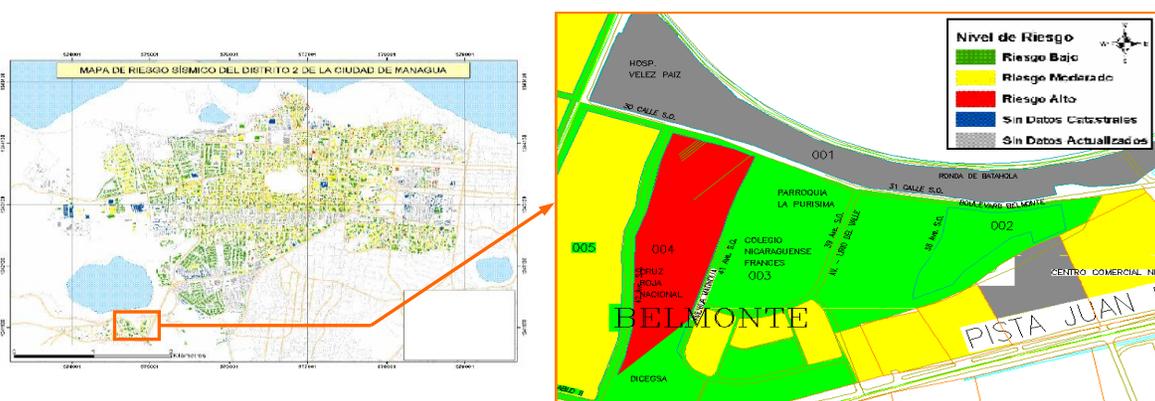
HOSPITAL FERNANDO VÉLEZ PAIZ (ESTUDIO DE CASO)

IV.1.- Introducción

Se consideró como parte de este estudio el mapa de riesgo sísmico del distrito dos de la ciudad de Managua²⁶, donde se describen a nivel preliminar, zonas de riesgo bajo, medio y alto (ver **mapa 1**).

La red de salud del Minsa de este Distrito, cuenta con cuatro Centros: *Francisco Morazán*, *Sócrates Flores*, Centro de Rehabilitación *Aldo Chavarría* y Centro Nacional Psiquiátrico *José Dolores Fletes*; y dos hospitales de Referencia Nacional como son el Hospital *Lenín Fonseca* y el Hospital *Fernando Vélez Paiz*.

En Hospitales atiende un promedio de 40 médicos con un nivel de atención por habitantes, entre 2.9 y 3.3 médicos por cada 10,000 habitantes.



Mapa 1.- MAPA DE RIESGO SÍSMICO DEL DISTRITO DOS DE LA CIUDAD DE MANAGUA

FUENTE: INETER, 2005

La zona donde se ubica el Hospital Vélez Paiz, presenta tres fallas geológicas muy peligrosas: falla los Bancos, falla Asososca y falla de la Embajada Americana, y la falla de Apoyeque que se ha activado por la cadena de sismos registrados en años recientes. Debido a ello, si se produjera un sismo de gran magnitud los efectos en la infraestructura del hospital y la población, podrían ser devastadores, principalmente por falta de preparación ante eventos como este.

Desmejora esta situación, el hecho de que once barrios de este distrito se ubican sobre fallas sísmicas (ver **foto 4**). Se sabe de estudios recientes (Ibarra, R. & Centeno F., 2005), que el



barrio Monseñor Lezcano, es altamente vulnerable debido a la antigüedad de sus construcciones (algunas de ellas datan desde 1931), y por la alta densidad poblacional. El nivel de afectación de este barrio podría alcanzar un 30%.¹⁹



Foto 4.- FOTO AÉREA DEL SITIO DE ESTUDIO
FUENTE: WWW.GOOGLEEARTH.COM

Tabla 28.- COORDENADAS DE LAS TRINCHERAS EXAMINADAS

	Extremo Oeste	Extremo Este
Norte	575057 E - 1340716 N	575086 E -1340705 N
Centro	575019 E - 1340748 N	575060 E -1340734 N
Sur	574930 E - 1340819 N	575015 E -1340808 N

(DEPSA, 2005)

IV.2.- Descripción General



a) Antecedentes del hospital

La edad del hospital Materno infantil se contabiliza en sesenta años, tiempo que sobrepasa hasta hoy día su vida útil, poniendo en riesgo instalaciones dentro de dicha infraestructura, entre estas: sistema eléctrico e hidráulico, sistema y filtros de climatización, control de desechos sanitarios y otros.⁵

Después del sismo de octubre del 2004, el hospital sufrió severo daño visible en sus partes interiores y exteriores, debido de una u otra manera a las características arquitectónicas y estructurales de estas. Es preciso mencionar, el alto grado de saturación de personas que concurren en ese lugar, distribuidas en un 82% de su área de construcción.¹⁹

b) Edificaciones que componen el Hospital Vélez Paiz

Este hospital se compone de diez edificaciones, mismas que se mencionan a continuación:

1. Edificio de Docencia y Auditorio
2. Oficinas de Administración
3. Edificio de Consulta Externa
4. Edificio de Epidemiología
5. Edificio de Baños y Bodega
6. Edificio de Planta Eléctrica de Emergencia
7. Área de Lavado, Caldera, Cocina y Lactancia
8. Edificio de Labor y Parto: Comprende las áreas de contabilidad, cuartos médicos, área de recién nacidos y lactancia, área de desechos de partos, y área de labor y parto
9. Edificio de Quirófano, Vestidores y Área de control central de equipos
10. Edificio Principal (en *fase de Rehabilitación*)

El Hospital presenta también las siguientes características generales o Especialidades: UCI y medicina; quemados; ortopedia; cirugía plástica y pediátrica; neumonía; neonatología; diarrea y gastroenteritis, obstetricia, maternidad, ARO.

c) Capacidad de atención

El hospital Fernando Vélez Paiz fue diseñado para una capacidad de atención de 250 camas y una capacidad instalada de 204 camas, la cuál se ha reducido por problemas en la infraestructura del hospital. Estudios realizados por Ministerio de Salud (2005), muestran que la dotación de camas para evitar exposición de riesgo de personas en el Hospital Vélez Paiz debe ser 120 camas. A pesar de ello, dicho hospital continúa funcionando con la misma capacidad de atención de años atrás.⁶



El Departamento de Estadísticas del Hospital Vélez Paiz, muestra egresos del hospital indicados en **figura 5**.



Figura 5.- EGRESOS EN EL HOSPITAL VÉLEZ PAIZ
FUENTE: ESTADÍSTICAS DEL HOSP. FERNANDO VÉLEZ PAIZ, 2004

El Total de Egresos en el año 2004 fue de 13,668. Las principales causas de egresos fueron en primer lugar los servicios de Obstetricia, Maternidad y ARO con el 40.3%, seguido por neonatología con el 19 %; Diarrea y Gastroenteritis con el 15.13%; neumonía con el 9.8%; Cirugía plástica y pediátrica, 5.9 %; Ortopedia, 4.8%, Quemados, UCI y Medicina Interna con el 5%.

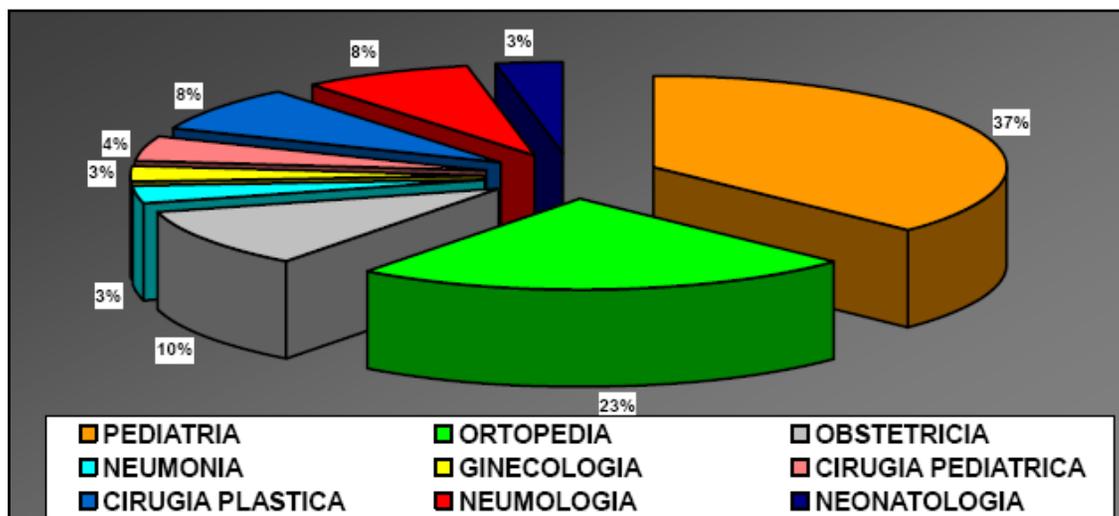


Figura 6.- PRODUCCIÓN DE SERVICIOS DE CONSULTA DE MAYOR DEMANDA
FUENTE: ESTADÍSTICAS HOSP. FERNANDO VÉLEZ PAIZ, 2004



Las especialidades de mayor demanda en Consulta Externa fueron pediatría con 15701 consultas; Ortopedia con 9773, Obstetricia, 4420; Ginecología, 1198; Cirugía Pediátrica, 1847; Cirugía plástica, 3447; Neumología, 3212 y Neonatología con 1314.

Los indicadores de movimiento Hospitalario no muestran una gran diferencia con las del promedio nacional. El Promedio de estancia es de 3.83, el índice ocupacional es del 72% y el índice de rotación por cama es de 58.35.

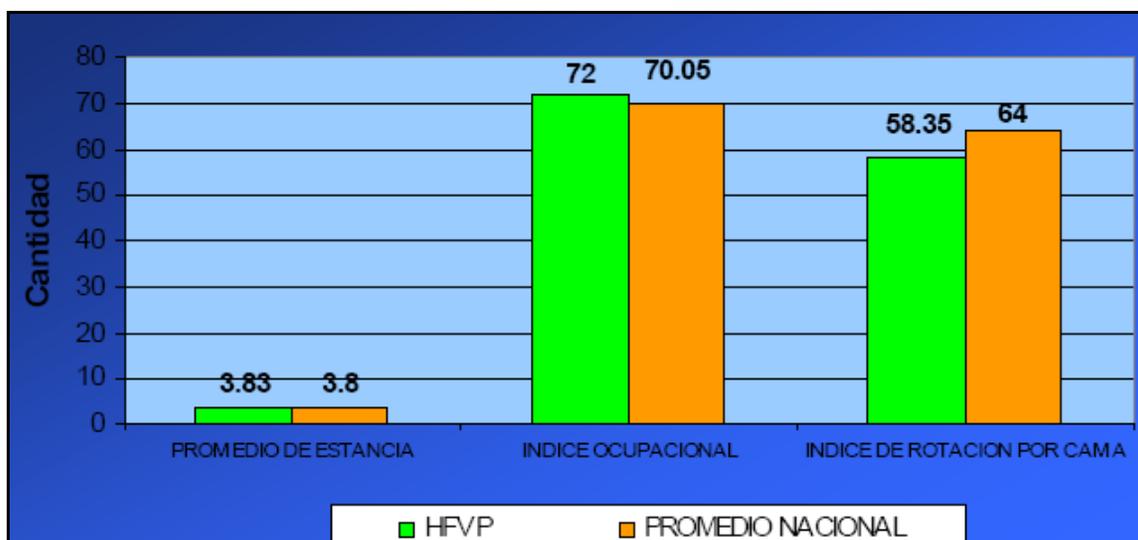


Figura 7.- INDICADORES DE MOVIMIENTO HOSPITALARIO

FUENTE: ESTADÍSTICAS HOSP. FERNANDO VÉLEZ PAIZ, 2004

Aunque el índice ocupacional es del 72%, este indicador no es el principal determinante en la demanda del Hospital, ya que este índice está determinado por aspectos de calidad en la atención, referidos a infraestructura, equipamiento, recursos humanos e insumos, en los cuales, el Hospital presenta problemas.



IV.3.- Descripción física

De acuerdo con el aporte brindado por la empresa destinada a la evaluación estructural de edificios (Nicasolum, 2005), las edificaciones presente en el hospital pueden ser clasificadas estructuralmente, como un sistema de marcos revestido por serie de muros a base de mampostería, propensa a fuertes torsiones debido a irregularidades en planta.

A continuación se presentan (ver **tabla 29-37**), las principales variables recogidas del inventario estructural efectuado a cada instalación de salud del hospital Vélez Paiz. Se han agrupado por orden de número y nombre de instalación, de la siguiente manera:

Tabla 29.- EDIFICIO 01: MÓDULO DE DOCENTES

Número de Pisos:	1,0	
Número de ambientes:	7,0	
Número de ocupantes (máx.):	250	
Geometría en planta:	Bastante regular, forma de L	
Estado actual del edificio:	Buen estado, construido hace tres años	
Categoría de Columna:	B, columnas de concreto reforzado Columnas principales: 0,30m x 0,30m Columnas secundarias: 0,20m x 0,20m	
Categoría de muro:	C, muros de mampostería confinada Bloques de 6"x8"x16" Lm _{corta} =19,10m Lm _{larga} =33,90m	
Atura máx.:	3,10m	

Foto 5.- Vista Frontal del Módulo de Docentes

Tabla 30.- EDIFICIO 02: EDIFICIO DE CONSULTA EXTERNA

Número de Pisos:	1,0	
Número de ambientes:	16,0	
Número de ocupantes (máx.):	220	
Geometría en planta:	Bastante regular, forma rectangular	
Estado actual del edificio:	Buen estado, construido hace tres años	
Categoría de Columna:	B, columnas de concreto reforzado Columnas principales: 0,30m x 0,30m Columnas secundarias: 0,20m x 0,20m	
Categoría de muro:	C, muros de mampostería confinada Bloques de 6"x8"x16" Lm _{corta} =24,10m Lm _{larga} =90,00m	
Atura máx.:	3,10m	

Foto 6.- Vista Frontal de Edificio de Consulta Externa



Tabla 31.- EDIFICIO 03: OFICINAS DE ADMINISTRACIÓN

Número de Pisos:	1,0	
Número de ambientes:	4,0	
Número de ocupantes (máx.):	120	
Geometría en planta:	Bastante regular, forma de L	
Estado actual del edificio:	Buen estado, construido hace tres años	
Categoría de Columna:	D, Otro Columnas metálicas: 4"x4"x1/8"	
Categoría de muro:	D, Otro Paredes de plycem Lm _{corta} =13,40m Lm _{larga} =38,62m	
Atura máx.:	2,60m	

Foto 7.- Entrada a Oficinas de Administración

Tabla 32.- EDIFICIO 04: ÁREA DE LAVADO Y COCINA

Número de Pisos:	1,0	
Número de ambientes:	2,0	
Número de ocupantes (máx.):	100	
Geometría en planta:	Bastante regular, forma en L	
Estado actual del edificio:	Mal estado, construido hace unos 60 años, Vigas deterioradas por la acción del tiempo.	
Categoría de Columna:	B, columnas de concreto reforzado Columnas principales: 0,30m x 0,40m Columnas secundarias_1: 0,30m x 0,30m Columnas secundarias_2: 0,20m x 0,20m	
Categoría de muro:	C, muros de mampostería confinada Bloques de 6"x8"x16" Lm _{corta} =81,90m Lm _{larga} =96,54m	
Atura máx.:	3,10m	

Foto 8.- Equipo de Cocina



Foto 9.- Equipo de lavandería

**Tabla 33.- EDIFICIO 05: EDIFICIO DE EPIDEMIOLOGÍA**

Número de Pisos:	1,0	 <p>Foto 10.- Poca separación entre Edificio de Epidemiología y el de Bodega.</p>
Número de ambientes:	3,0	
Número de ocupantes (máx.):	100	
Geometría en planta:	Bastante regular, forma en L	
Estado actual del edificio:	Mal estado, construido hace unos 60 años, falta de junta de separación.	
Categoría de Columna:	B, columnas de concreto reforzado Columnas principales: 0,30m x 0,40m Columnas secundarias: 0,20m x 0,20m	
Categoría de muro:	C, muros de mampostería confinada Bloques de 6"x8"x16" $L_{m_{corta}}=27,55m$ $L_{m_{larga}}=88,20m$	
Atura máx.:	3,00m / 3,80m	

Tabla 34.- EDIFICIO 06: QUIRÓFANO

Número de Pisos:	1,0	 <p>Foto 11.- Muro con grietas o fisuras en toda la junta de mortero.</p>
Número de ambientes:	2,0	
Número de ocupantes (máx.):	20	
Geometría en planta:	Bastante regular, forma rectangular	
Estado actual del edificio:	Algunas de sus columnas y muros se encuentran en mal estado, construido hace unos 60 años, necesita reparación	
Categoría de Columna:	B, columnas de concreto reforzado Columnas principales: 0,30m x 0,40m Columnas secundarias: 0,30m x 0,30m	
Categoría de muro:	C, muros de mampostería confinada Bloques de 6"x8"x16" $L_{m_{corta}}=16,10m$ $L_{m_{larga}}=50,35m$	
Atura máx.:	3,00m	



Tabla 35.- EDIFICIO 07: PLANTA ELÉCTRICA DE EMERGENCIA

Número de Pisos:	1,0	 <p>Foto 12.- Planta Eléctrica</p>
Número de ambientes:	1,0	
Número de ocupantes (máx.):	8	
Geometría en planta:	Bastante regular, forma rectangular	
Estado actual del edificio:	Muro de mampostería (construido hace unos 60 años) en mal estado y necesita reparación, paredes exteriores de plycem en buen estado (construidas hace 2-3 años)	
Categoría de Columna:	B, columnas de concreto reforzado Columnas principales: 0,30m x 0,40m C, columnas de concreto prefabricado Columnas secundarias: 0,15m x 0,15m	
Categoría de muro:	C, muro de mampostería confinada Bloques de 6"x8"x16" Lm _{corta} =6,18m D, Otro Paredes de plycem Lm _{corta} =4,20m Lm _{larga} =19,18m	
Atura máx.:	3,10m	

Tabla 36.- EDIFICIO 08: BAÑOS Y BODEGA

Número de Pisos:	1,0	 <p>Foto 13.- Área de Baños y Bodega</p>
Número de ambientes:	5,0	
Número de ocupantes (máx.):	40	
Geometría en planta:	Bastante regular, forma rectangular	
Estado actual del edificio:	Algunas de sus columnas de concreto reforzado (construidas hace unos 60 años) y columnas prefabricadas necesitan ser reparadas o reemplazadas. Algunas paredes de plycem en regular estado.	
Categoría de Columna:	B, columnas de concreto reforzado Sección de columnas: 0,15m x 0,15m C, columnas de concreto prefabricado Sección de columnas: 0,15m x 0,15m	
Categoría de muro:	D, Otro Paredes exteriores de plycem	



	$L_{m_{corta}}=18,94m$ $L_{m_{larga}}=42,11m$	
Atura máx.:	3,40m	

Tabla 37.- EDIFICIO 09: EDIFICIO DE LABOR Y PARTO

Número de Pisos:	1,0	 Foto 14.- Vista Lateral del Edificio de Labor y Parto
Número de ambientes:	5,0	
Número de ocupantes (máx.):	80	
Geometría en planta:	Bastante regular, forma rectangular	
Estado actual del edificio:	Algunas de sus paredes de bloque y columnas de concreto (construidas hace unos 60 años) necesitan ser reparadas, mientras otras se encuentran en regular estado.	
Categoría de Columna:	B, columnas de concreto reforzado Columnas principales: 0,30m x 0,40m Columnas secundarias_1: 0,30m x 0,30m Columnas secundarias_2: 0,20m x 0,20m	
Categoría de muro:	C, muro de mampostería confinada Bloques de 6"x8"x16" $L_{m_{corta}}=30,00m$ $L_{m_{larga}}=52,60m$	
Atura máx.:	3,10m	

Como pudo observarse en las **tablas 32-37**, 6 de las 9 edificaciones inventariadas (el 67%) presentan problemas en su estructura: *área de lavado y cocina, edificio de epidemiología, quirófano, planta eléctrica, baños y bodega, y el edificio de labor y parto*, pero únicamente cuatro de estas son de mampostería confinada, lo cual representa un criterio de mayor criticidad en relación con las otras dos conformadas por columnas metálicas, y paredes exteriores y particiones internas de plycem. Por ello, se les efectuará una evaluación más detallada en capítulos siguientes únicamente a cuatro edificaciones de las seis que presentaron problemas en su estructura (67%).



CAPÍTULO V

RESULTADOS

V.1.- Análisis de los Resultados

En este acápite se trabajan cuatro edificaciones que mostraron tener cierto grado de daño cuando se realizaba inspección de campo. Además, se tomó en consideración que el contenido en su interior (áreas de mayor aglomeración de personas, equipos médicos valiosos, etc.) fuese vital para el funcionamiento del hospital durante y después de una *crisis sísmica*, estas corresponden con: Área de Lavado y Cocina, Edificio de Epidemiología, Quirófano y, Edificio de Labor y Parto.

V.1.1.- EJEMPLO APLICATIVO: Edificio de Epidemiología

Descripción Sismorresistente

Número de Pisos:	1,0	 <p>Foto 10.- Poca separación entre Edificio de Epidemiología y el de Bodega.</p>
Número de ambientes:	3,0	
Número de ocupantes (máx.):	100	
Geometría en planta:	Bastante regular, forma en L	
Estado actual del edificio:	Mal estado, construido hace unos 60 años, falta de junta de separación.	
Categoría de Columna:	B, columnas de concreto reforzado Columnas principales: 0,30m x 0,40m Columnas secundarias: 0,20m x 0,20m	
Categoría de muro:	C, muros de mampostería confinada Bloques de 6"x8"x16" $L_{m\text{corta}}=27,55\text{m}$ $L_{m\text{larga}}=88,20\text{m}$	
Atura máx.:	3,00m / 3,80m	



1.- Es una estructura pesada conformada por muros perimetrales de mampostería confinada de bloque de 6"x8"x16", lo cual predispone a la estructura a grandes fuerzas de inercia por una acción sísmica de gran magnitud e intensidad (como un terremoto).

2.- De acuerdo con la regularidad en planta, esta edificación es bastante irregular puesto que posee una forma en L, poco sencilla, lo que complica la *respuesta estructural* de cada bloque del edificio dispuesto de manera ortogonal uno con otro al momento de producirse desplazamientos. En cuanto a la simetría vertical, es un edificio de una planta sometida a fuerzas de golpeteo con edificio colindante con mayor número de pisos que el primero (tres pisos).

3.- La dimensión en planta de su dirección más larga es 49.15m, casi 3 veces mayor que la dimensión más corta, la cuál es 17.75m (ver **figura 8**). Esto provoca que la edificación sea excesivamente alargada en planta, lo cual aumenta la posibilidad de que el movimiento de un extremo del edificio sea diferente al del otro extremo, predisponiendo el desempeño de la estructura a altos esfuerzos torsionales. En cuanto a su elevación no presentará efectos de volteo que debiliten sus cimientos de manera considerable.

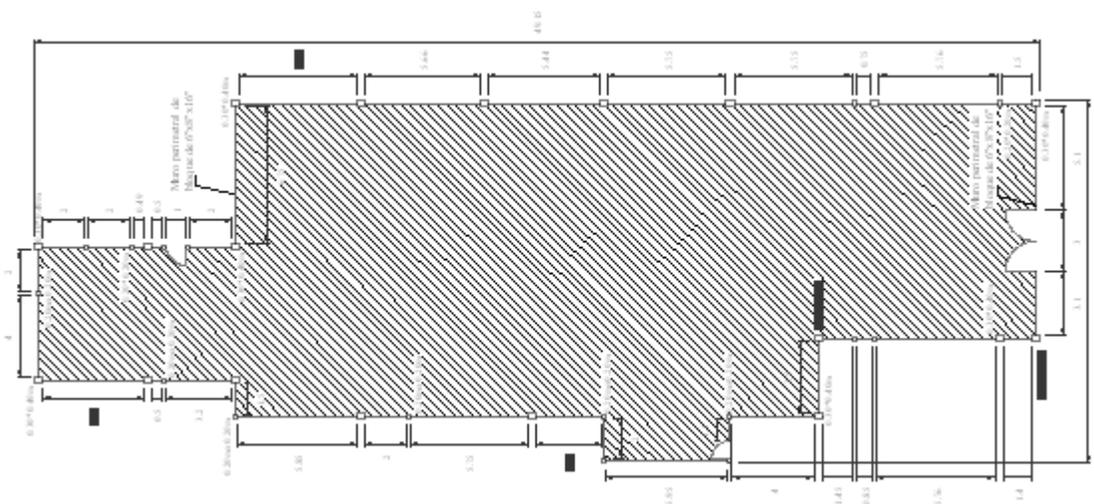


Figura 9.- VISTA EN PLANTA DE EDIFICIO DE EPIDEMIOLOGÍA

5.- No existen cambios de sección en elevación que provoquen cambios bruscos en la masa o en la rigidez del sistema estructural del edificio, y que produzcan amplificaciones dinámicas importantes capaces de provocar daños graves al producirse una respuesta incontrolada de la estructura.



6.- De acuerdo con el Reglamento Nacional de Construcción (2007), el suelo sobre el cual superyace la estructura del hospital es firme, con velocidades de corte entre 360m/s y 750m/s. Según informes conclusivos presentados por INETER (2000), sobre este tipo de suelos edificios flexibles llevan mejor comportamiento o desempeño en su estructura, a diferencia de suelos blandos, donde estructuras rígidas (con periodos de vibración menores) suelen resistir mejor. Ahora bien, el sistema estructural del edificio de epidemiología, está conformado por muros de mampostería confinada que imprimen rigidez y masa considerable al momento de la acción sísmica. Quizá, el mismo deterioro de la estructura con el paso del tiempo (ver **foto 8**), haya debilitado estas dos características antes mencionadas, lo cual sería satisfactorio para sismos de magnitudes no muy altas (menores a 6° en la escala Richter) que no forzarían al sistema global de la edificación entrar el llamado fenómeno de resonancia, por coincidencia de las propiedades dinámicas (frecuenciales) de la estructura y el suelo.



Foto 15.- Presencia de grietas en muro lateral de edificio de epidemiología

7.- Existe poca separación entre el edificio Epidemiología y el Edificio usado para Bodegas (ver **foto 7**), capaz de producir golpeteo entre ambos (popularmente conocido como *efecto aplauso*) debido a la diferencia de fases en la oscilación de cada uno de ellos. Toda estructura debe estar separada de las estructuras vecinas una distancia mínima s para evitar el contacto durante un movimiento sísmico (inciso c) del Arto 38, RNC-07). La dimensión de las juntas y la separación de los bloques en el nivel i , no será menor de 5cm, pero no menos el desplazamiento en el estado limite de colapso más 0.003 veces la altura de dicho nivel sobre el terreno.



➤ Cálculo del Índice Sísmico de Capacidad (Is)

Primer Nivel de Evaluación:

Cálculo de Índice de Configuración Estructural (S_D)

Este coeficiente cuantifica la influencia de las irregularidades de la configuración estructural y de la distribución de rigidez y de masa en el comportamiento sísmico de la edificación.

$$S_D = \prod_{i=1}^{n=8} q_i \quad (21)$$

$$q_i = 1.0 - (1 - G_i) * R_i, \quad \forall i : [1,8] \neq 6$$

$$q_i = 1.2 - (1 - G_i) * R_i, \quad \forall i = 6$$

- **Regularidad a_i :**

$$A_{salientes} = 184.96 \text{ m}^2$$

$$A_{planta} = 649.33 \text{ m}^2$$

$$\% \text{ salientes} = \frac{184.96 \text{ m}^2}{649.33 \text{ m}^2} * 100\% = 28.5\% < 30\%, \text{ por lo tanto la planta no es regular (a}_2\text{).}$$

$$G_1 = 0.9; R_1 = 1.0$$

$$q_i = 1.0 - (1 - G_i) * R_i, \text{ entonces: } q_1 = 0.9$$

- **Relación Largo-Ancho (B):**

$$L' = 48.756 \text{ m}$$

$$b = 18.0 \text{ m}$$

$$B = \frac{2L'}{b} = \frac{2(48.756 \text{ m})}{18.0 \text{ m}} = 5.42, \text{ por lo tanto:}$$

$$G_2 = 0.9; R_2 = 0.5$$

$$q_2 = 0.95$$

- **Reducción de Planta (c):**

$$D_1 = 15.80 \text{ m}; D_0 = 18.0 \text{ m}$$

$$c = \frac{D_1}{D_0} = \frac{15.8 \text{ m}}{18.0 \text{ m}} = 0.88 > 0.80, \text{ por lo tanto:}$$

$$G_3 = 1.0; R_3 = 0.5$$

$$q_3 = 1.0$$

- **Atrio o patio interior (R_{ap}):**

$$R_{ap} = 0.1, \text{ por lo tanto:}$$

$$G_4 = 1.0; R_4 = 0.5$$

$$q_4 = 1.0$$



- **Excentricidad de atrio o patio interior (f_1, f_2):**

$f_1=0.4$; $f_2=0.1$, por lo tanto

$G_5=1.0$; $R_5=0.25$

$q_5=1.0$

- **Subterráneo (R_{as}):**

$R_{as}=1$, por lo tanto:

$G_6=1.0$; $R_6=1.0$

$q_i = 1.2 - (1 - G_i) * R_i$, entonces: $q_6=1.2$

- **Junta de dilatación (s):**

$S_{probable} = \frac{0.05m}{3.10m} = 0.016 > 0.01$, por lo tanto:

$G_7=1.0$; $R_7=0.5$

$q_7=1.0$

- **Uniformidad de altura de piso (R_h):**

$R_h=1 > 0.8$, por lo tanto:

$G_8=1.0$; $R_8=0.5$

$q_8=1.0$

Nuevamente,

$S_D = \prod_{i=1}^{n=8} q_i$, reemplazando valores resulta

$$S_D = q_1 \cdot q_2 \cdot q_3 \cdot q_4 \cdot q_5 \cdot q_6 \cdot q_7 \cdot q_8$$

$$S_D = (0.9)(0.95)(1.0)(1.0)(1.0)(1.2)(1.0)(1.0) = \mathbf{1.026}$$



Segundo Nivel de Evaluación:

Cálculo de Índice de Deterioro de la edificación (T)

Este índice cuantifica los efectos que produce el deterioro de la estructura debido al paso del tiempo o bien a la acción de sismos pasados que puedan haberla afectado. El índice T se determina considerando que se usa un valor único del mismo, el cual debe corresponder con el menor valor obtenido de todos los índices detallados a continuación (ver **tablas 19 y 20**):

a) Deformación permanente (T_1):

- a.1) El edificio ha sido reparado debido a deformaciones presentadas anteriormente (0.90).
- a.2) Visible deformación de vigas o columnas (0.90).

b) Grietas en muros o columnas debido a corrosión del acero de refuerzo (T_2):

- b.1) Presenta filtraciones con probable corrosión de armaduras (0.85).
- b.2) Grietas visibles en muros (0.90).

c) Incendios (T_3):

- c.1) No ha experimentado incendio (1.0).

d) Uso del cuerpo o bloque (T_4):

- d.1) No contiene sustancias químicas (0.90).

e) Tipo de daño estructural (T_5):

- e.1) Presenta daño estructural ligero o no estructural (1.0).

Recordando, el Índice de deterioro será igual al menor valor obtenido. Por lo tanto,
T=0.85



Tercer Nivel de Evaluación:

Cálculo del Índice Sísmico básico de Comportamiento Estructural (Eo):

Consiste en determinar la resistencia última de corte de cada piso en cada dirección de análisis de la planta del edificio como la suma de los productos del área de la sección transversal de un muro o columna y de su resistencia al corte, reducido por un factor α_i , el cual toma en consideración la presencia de elementos que alcanzan su resistencia a un nivel de deformación menor que el resto de los elementos sismorresistentes.

$$E_o = \left(\frac{n_p + 1}{n_p + i} \right) * [\alpha_1 (C_{mar} + C_{sc} + C_a + C_{ma}) + \alpha_2 C_w + \alpha_3 C_c] * F \quad (13)$$

Si, $C_{mar}=C_{sc}=C_a=C_w=0$, entonces $F=1$

$\alpha_1=1$; $\alpha_2=2$; $\alpha_3=0.5$

$n_p=1$ (número de pisos); $i=1$, por lo tanto:

$$E_o = [\alpha_1 (C_{ma}) + \alpha_3 C_c] * F \quad (25)$$

Índice de resistencia de muros de albañilería confinada

$$C_{ma} = \frac{0.6 * (0.45 * \tau_o + 0.25 \sigma_o) * \sum A_{ma}}{\sum_{i=1}^{n_p} W_j} \quad (15)$$

$$\tau_o = \frac{0.75 \left(0.75 \tau_{mortero} + \frac{C_2^u}{A_n} \right)}{1.5} \quad (19)$$

τ_o : Resistencia básica de corte de la albañilería

$\tau_{mortero} = 50 \text{ psi} \approx 3.5 \text{ kg/cm}^2$ (Tomado de RNC-07, pág. 56, Tít. V, Cap. I, Art. 62, inciso 3) Esfuerzo mínimo de corte)

$L_{corta}=30.05\text{m}=1,183.07\text{pulg}$

$L_{larga}=88.211\text{m}=3,472.87\text{pulg}$

$A_{bruta_corta} = 6 \text{ pulg} \times 1,183.07 \text{ pulg}=7,098.43 \text{ pulg}^2$

$A_{bruta_larga} = 6 \text{ pulg} \times 3,472.87 \text{ pulg}=20,837.24 \text{ pulg}^2$

$A_{n_corta} = 50\% A_{bruta} = 3,549.21 \text{ pulg}^2$

$A_{n_larga} = 50\% A_{bruta} = 10,418.62 \text{ pulg}^2$ (Tomado de RNC-07, pág. 56, Tít. V, Cap. I, Art. 60, inciso d) Piezas Huecas)



Determinación de Cargas

a) Carga Muerta:

$$\begin{aligned}
 CM_{viga_long.} &= (2400\text{kg/m}^3)(0.30\text{m})(0.40\text{m}) = 288\text{kg/m} \\
 CM_{viga_transv.} &= 2(2400\text{kg/m}^3)(0.30\text{m})(0.40\text{m})(5.535\text{m})/15.80\text{m} = 201.78\text{kg/m} \\
 CM_{relleno} &= (1800\text{kg/m}^3)(5.535\text{m})(0.05\text{m}) = 498.15\text{kg/m} \\
 CM_{ladrillo} &= (35\text{kg/m}^2)(5.535\text{m}) = 193.73\text{kg/m} \\
 CM_{accesorios} &= (100\text{kg/m}^2)(5.535\text{m}) = 553.5\text{kg/m} \\
 CM_{col_1} &= (2400\text{kg/m}^3)(0.30\text{m})(0.40\text{m})(1.55\text{m})(3)/15.80\text{m} = 84.76\text{kg/m} \\
 CM_{col_2} &= (2400\text{kg/m}^3)(0.20\text{m})(0.20\text{m})(1.55\text{m})(1.0)/15.80\text{m} = 9.42\text{kg/m} \\
 CM_{pared_log.} &= (273\text{kg/m}^2)(1.55\text{m}) = 423.15\text{kg/m} \\
 CM_{pared_transv.} &= 2(273\text{kg/m}^2)(1.55\text{m})(5.535\text{m})/15.80\text{m} = 296.47\text{kg/m} \\
 CM_{cubierta} &= (15\text{kg/m}^2)(1.55\text{m}) = 23.25\text{kg/m}
 \end{aligned}$$

$$CM_{total} = (2,572.21\text{kg/m})(15.80\text{m}) = \underline{40,640.92 \text{ kg}}$$

b) Carga Viva Reducida:

$$\begin{aligned}
 CVR &= (100\text{kg/m}^2)(5.535\text{m})(15.80\text{m}) = 8,745.3\text{kg} \\
 \sum_{i=1}^{np} W_j &= CM + CVR = 40,640.92\text{kg} + 8,745.3\text{kg} = \mathbf{49,386.22\text{kg}}
 \end{aligned}$$

c) Carga Viva:

$$CV = (200\text{kg/m}^2)(5.535\text{m})(15.80\text{m}) = \underline{17,490.60 \text{ kg}}$$

Ahora bien,

$C_2^u = 1.2(40,640.92\text{kg}) + 1.6(17,490.60\text{kg}) = 76,754.06\text{kg} = \mathbf{169,242.71 \text{ lb}}$ (*Tomado de RNC-07, Arto. 15 Métodos de Diseño Estructural, numeral II Combinaciones de carga, inciso a) Diseño por métodos de resistencia última.*)

$$\tau_{o_corta} = \frac{0.75 \left(0.75 * 50 \text{ psi} + \frac{169,242.71 \text{ lb}}{3,549.21 \text{ pu lg}^2} \right)}{1.5} = 42.59 \text{ psi} = \mathbf{3.00 \text{ kg/cm}^2}$$

$$\tau_{o_larga} = \frac{0.75 \left(0.75 * 50 \text{ psi} + \frac{169,242.71 \text{ lb}}{10,418.62 \text{ pu lg}^2} \right)}{1.5} = 26.87 \text{ psi} = \mathbf{1.89 \text{ kg/cm}^2}$$

$$\sigma_{o_corta} = \frac{169,242.71 \text{ lb}}{3,549.21 \text{ pu lg}^2} = 47.68 \text{ psi} = \mathbf{3.35 \text{ kg/cm}^2}$$



$$\sigma_{o_larga} = \frac{169,242.71lb}{10,418.62pu\lg^2} = 16.24 \text{ psi} = \underline{\mathbf{1.14 \text{ kg/cm}^2}}$$

$$C_{ma} = \frac{0.6 * (0.45 * 3.00 \text{kg/cm}^2 + 0.25 * 3.35 \text{kg/cm}^2) * 22,898.10 \text{cm}^2}{49,386.22 \text{kg}} = \mathbf{0.61}$$

Índice de resistencia de columnas de concreto reforzado

$$C_c = \frac{fc}{200} * \frac{10 * \sum A_{c1} + 7 \sum A_{c2}}{\sum_{i=1}^{np} W_j} \quad (17)$$

Asumiendo $fc' = 2,500 \text{ psi} = 175.74 \text{kg/cm}^2$ (concreto afectado por deterioro de propiedades mecánicas en el tiempo).

$\sum A_{c2} = 29,200 \text{cm}^2$ (Tomado de las dimensiones de las columnas en los planos)

Cálculo de la relación h/D

$$\frac{h_1}{D_1} = \frac{3.10m}{0.40m} = 7.75 > 6; \quad \frac{h_2}{D_2} = \frac{3.10m}{0.20m} = 15.5 > 6, \text{ por lo tanto } \sum A_{c1} = 0$$

$$C_c = \frac{fc}{200} * \frac{7 \sum A_{c2}}{\sum_{i=1}^{np} W_j} = \frac{175.74 \text{kg/cm}^2}{200} * \frac{7(29,200 \text{cm}^2)}{58,131.52 \text{kg}} = \mathbf{3.09}$$

Nuevamente,

$E_o = [\alpha_1(C_{ma}) + \alpha_3 C_c] * F$, reemplazando valores resulta

$$E_o = [1.0 * 0.61 + 0.5 * 3.09] * 1.0 = \mathbf{2.16}$$

Índice Sísmico (Is):

Este índice se calcula por medio de la ecuación siguiente:

$I_s = E_o * S_D * T$, reemplazando valores obtenidos con anterioridad resulta

$$I_s = 2.16 * 1.026 * 0.85$$

Entonces, $\underline{\mathbf{I_s = 1.884}}$



➤ **Cálculo del Índice de Demanda (Iso):**

a. Período Fundamental de la Estructura

$$T = C_t h_n^{3/4}$$

Se sabe que: $C_t = 0.0061$; $h_n = 3.10\text{m}$; y $T_a = 0.10\text{seg}$,
Entonces, $T = 0.061 * (3.10)^{3/4} = 0.143$

b. Factor de Amplificación Dinámica

Los períodos locales del suelo son los siguientes, para la cruz de Belmonte es de 0.15seg, y 0.13seg para las coordenadas 1341.84° N, 576.04° E.

Como el período calculado se encuentra en el rango $0.1\text{seg} < 0.143\text{seg} \leq 0.6\text{seg}$, entonces $FAD = 2.7$.

$$\begin{aligned} FAD &= (1.0 + 17 T) & 0.0 \leq T < 0.1 \text{ seg} \\ FAD &= 2.7 & 0.1 \leq T < 0.6 \text{ seg} \quad \text{(RNC-07)} \\ FAD &= 1.62 & 0.6 \leq T \leq 2.0 \text{ seg} \end{aligned} \quad (6)$$

T: Período fundamental de la estructura

c. Selección de a_0

$a_0 = 0.31$ para edificaciones asentada en la zona C (ciudad de Managua), según RNC (2007).

d. Factor de amplificación por tipo de suelo (S):

Determinación del tipo de suelo: Las velocidad media del perfil de suelo del sitio de estudio es 395.32m/s para la zona de la cruz de Belmonte y 421.23 m/s para la orientación 1341.84°N, 576.04°E, dichas velocidades quedan dentro del rango de $360 < V_s \leq 750$ m/s, lo cual determina que la edificación se encuentra asentada sobre un suelo de tipo II, clasificándose como un suelo firme. De aquí surge, que $S = 1.5$ (ver tabla 9).

e. Factor de Importancia (I):

$I = 1.5$ ya que se trata de una edificación esencial (hospital). Este factor es independiente del tipo de edificación esencial y de la sismicidad que presente la zona donde se encuentra ubicada dicha edificación (Melone S., 2002).

f. Factor de sobre resistencia (Ω):

Se selecciono un valor de 2 ya que este número se le asigna a cualquier tipo de estructura.



g. Factor de Ductilidad (Q’):

Se seleccionó valor de $Q = 1.5$, debido a que en esta estructura las fuerzas laterales son suministradas a todo el entre piso, mediante muros de mampostería confinada.

Al ser, $T > T_a$, $Q' = Q = 1.50$.

h. Selección del factor de irregularidad (α)

Debido a que el edificio es de estructura fuertemente irregular, pues no cumple con 2 de los incisos del acápite a) del artículo 23 del RNC-2007, entonces $\alpha = 0.8$.

Coefficiente Sísmico (c)

Dado los valores: $FAD = 2.7$; $a_o = 0.31$; $S = 1.50$; $I = 1.5$; $\Omega = 2$; $Q' = 1.50$ y $\alpha = 0.8$.

Entonces se tiene que, $C = \frac{2.7 * 0.31 * 1.5 * 1.5}{2 * 1.5 * 0.8} = 0.785$

Índice de Demanda (Iso):

$$Iso = \left(\frac{FAD * a_o * S * I}{\Omega * Q' * \alpha} \right) * Z * G * U \quad (23)$$

Ahora, tenemos: $Iso = Eso * Z * G * U$

Donde:

$Eso = 0.7594 = c$

$Z = 1$ (factor de zona sísmica)

$G = 1$ (suelos sin pendiente)

$U = 1$ (dato inmerso en el cálculo de Eso).

Se tiene que, $Iso = 0.785$



➤ Criterio de Vulnerabilidad Sísmica

Índice de Capacidad=1.884

$I_{s1} = 1.5$ dado que I_s calculado es 1.88, valor mayor que 1.5, la edificación se encuentra en la categoría de riesgo bajo (ver **tabla 17**).

Tabla 38.- VALORES DEL ÍNDICE DE CAPACIDAD (I_{s1})

Tipo de estructura	Categoría del Riesgo		
	Alto	Medio	Bajo
Pórticos de madera	2.2	3.0	4.2
Pórticos de acero resistentes a momentos	2.0	2.5	4.2
Pórticos de acero arriostrados	1.5	2.0	2.5
Paredes a cortante de concreto	2.0	2.5	3.0
Grandes paneles de concreto prefabricado	1.5	2.0	2.5
Marcos de concreto	1.0	1.5	2.0
Marcos de concreto prefabricado	0.5	1.0	1.5
Mampostería reforzada	1.5	1.7	2.0
Pórticos rellenos y/o Mampostería Confinada	0.7	1.0	1.5
Mampostería de ladrillo/piedra	0.3	0.5	0.7

(Hirosawa, M., 1992)

Determinación de modificadores ΔS de acuerdo con **tabla 18**:

Tabla 39.- MODIFICADORES ΔI_{s0}

Tipos de Estructuras	ΔI_s
Edificios altos (8 pisos o más)	-0.5
Edificios de altura media (4-7 pisos)	0.0
Edificios bajos (3 pisos o menos)	0.3
Pobres condiciones	-0.3
Pobres condiciones de las estructuras prefabricadas de concreto	0.5
Piso blando (si la estructura tiene más de un nivel)	-1.0
Excentricidad significativa	-0.5
Posible choque (solamente para edificios de media y elevada altura):	
.- Entrepisos adyacentes al mismo nivel	-0.2
.- Entrepisos adyacentes a diferentes alturas	-0.5
Columnas cortas de hormigón	-0.5
Año de construcción:	
Antes de 1960	-0.5
Entre 1960-1975	0.0
Después de 1975	0.5
Tipo de Suelo:	
S1 (roca y arcilla dura)	0.0



S2 (arena, grava)	-0.2
S3 (suelos blandos y medios o desconocidos)	-0.3
S4 (edificios de elevada altura)	-0.4

(Hirosawa, M., 1992)

Tipos de estructura:

Altura del edificio: se trata de un edificio bajo (tres pisos o menos), entonces $\Delta S=0.3$.

Condiciones presente: $\Delta S=-0.30$

No existe excentricidad significativa: $\Delta S=0.0$

Columnas cortas de concreto: no existen entonces $\Delta S=$

Posible choque para edificios de media altura, entonces $\Delta S=-0.2$

Año de construcción ante de 1960 entonces $\Delta S=-0.5$

Tipos de suelos: la edificación esta asentada en un suelo firme entonces $\Delta S=0.0$

De esto se tiene que, $\sum \Delta I s_0 = -0.70$

Calculo del índice estructural:

$$I_s = (I_{s1} + \sum \Delta I s_0) \tag{24}$$

Dado los datos, $\sum \Delta I s_0 = -0.70$ y $I_{s1} = 1.5$ entonces, $I_s = 0.80$ de acuerdo con **tabla 12**, la vulnerabilidad de la estructura es *alta* es decir que la edificación requiere un análisis mas preciso y probablemente se requiera reforzar.

Tabla 40.- CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN FUNCIÓN DEL ÍNDICE SÍSMICO

Vulnerabilidad	Índice sísmico (Is)	Consideraciones
Alta	$I_s < 0.90$	Realizar urgentemente un análisis más preciso y probablemente se requiera reforzar
Media	$0.90 < I_s < 1.10$	No requiere un chequeo urgente más preciso
	$1.10 < I_s < 1.30$	Requiere chequeo con mayor precisión sobre la capacidad estructural, siguiendo el Reglamento Nacional de Construcción (2007)
Baja	$I_s > 1.30$	No requiere un chequeo más preciso

(Hernández, N. et al., 2005)



Con un procedimiento similar al empleado en el Edificio de Epidemiología se determinó el desempeño estructural de las cuatro edificaciones más críticas a lo interno del Hospital Vélez Paiz, descrito anteriormente. Esto incluye cálculo de Índice de configuración estructural (**Sd**), Índice de deterioro de la edificación (**T**), e Índice sísmico básico del comportamiento estructural (**Eo**), cuyos resultados se detallan a continuación:

Edificio	Sd	T	Eo
Lavado y Cocina (04)	0.972	0.800	2.420
Epidemiología (05)	1.026	0.850	2.160
Quirófano (06)	1.140	0.900	1.175
Labor y Parto (09)	1.200	0.900	2.530

Con estos parámetros se determinó el Índice Sísmico inicial (I_{s1}) de cada edificación evaluada, los cuales son:

Edificio	Índice Sísmico (I_{s1})
Lavado y Cocina (04)	1.881792
Epidemiología (05)	1.883736
Quirófano (06)	1.205550
Labor y Parto (09)	2.732400

Los valores de I_{s1} fueron corregidos por **tablas 17 y 18**, para obtener Índice Sísmico final (I_{s2}) de los edificios estudiados, estos se muestran en la siguiente tabla:

Edificio	$\sum \Delta I_{s0}$	Is	Vulnerabilidad
Lavado y Cocina (04)	-0.20	1.30	<i>Media</i>
Epidemiología (05)	-0.70	0.80	<i>Alta</i>
Quirófano (06)	0.30	1.80	<i>Baja</i>
Labor y Parto (09)	-0.20	1.30	<i>Media</i>

Además, se calcularon Índices de Demanda sísmica impuesta sobre la estructura para una aceleración de diseño basada en el RNC-07 igual a 0.31g, tomando en consideración parámetros como: factor de amplificación dinámica, índice de importancia, factor de ductilidad y de sobrerresistencia, entre otros. Finalmente, el Índice de demanda se calcula empleando ecuación (23), resultando:



Edificio	Índice Demanda(Iso)
Lavado y Cocina (04)	0.785
Epidemiología (05)	0.785
Quirófano (06)	0.785
Labor y Parto (09)	0.785

Con el resultado previo de Índices de Capacidad y con la ayuda de la **tabla 26**, se determinó curva que correlaciona el nivel de Daño que podría presentarse en las edificaciones contenidas en el Hospital Vélez Paiz directamente con el Índice de Seguridad Sísmica (Is) para distintas aceleraciones del suelo (que van desde 0.10g hasta 0.40g). Estas se muestran a continuación:



V.1.2.- Curva de Correlación de I_d e I_s

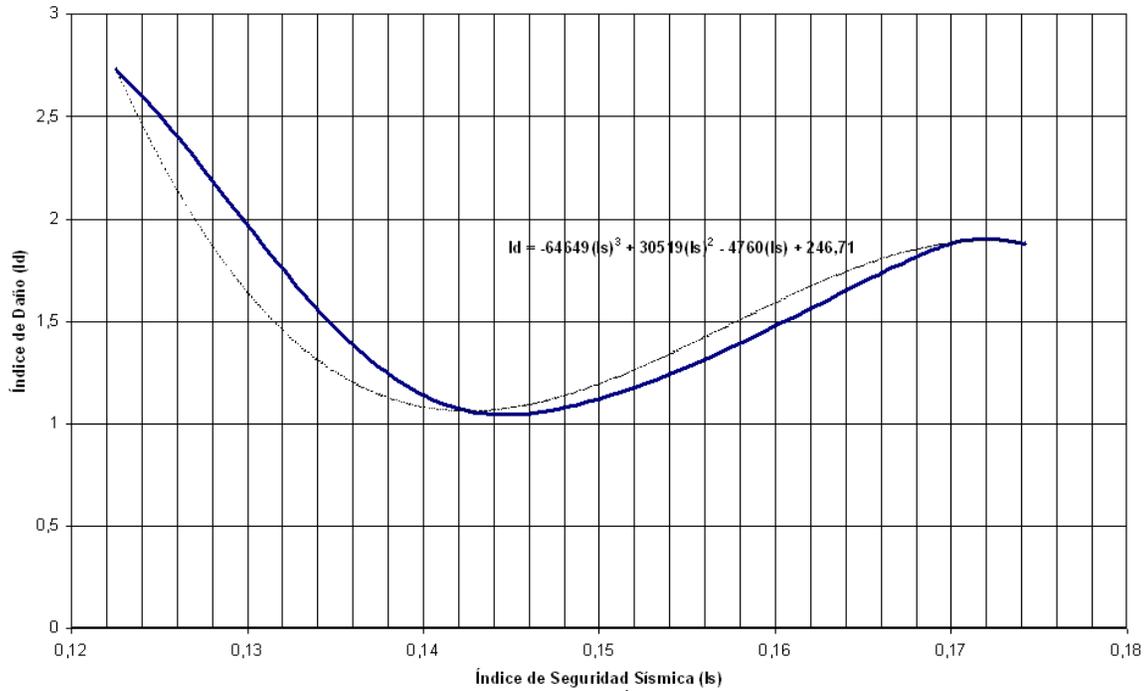


Figura 10.- CURVA DE CORRELACIÓN ENTRE I_s e I_d PARA UNA ACELERACIÓN DEL SUELO DE $0.10g$

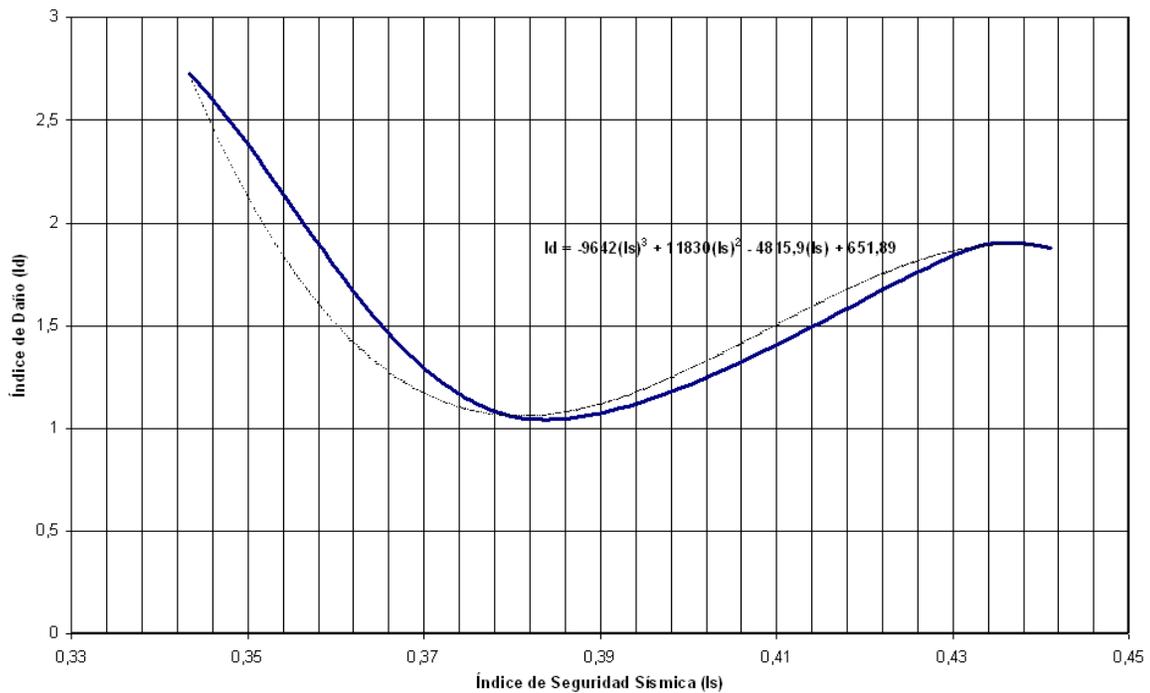


Figura 11.- CURVA DE CORRELACIÓN ENTRE I_s e I_d PARA UNA ACELERACIÓN DEL SUELO DE $0.19g$

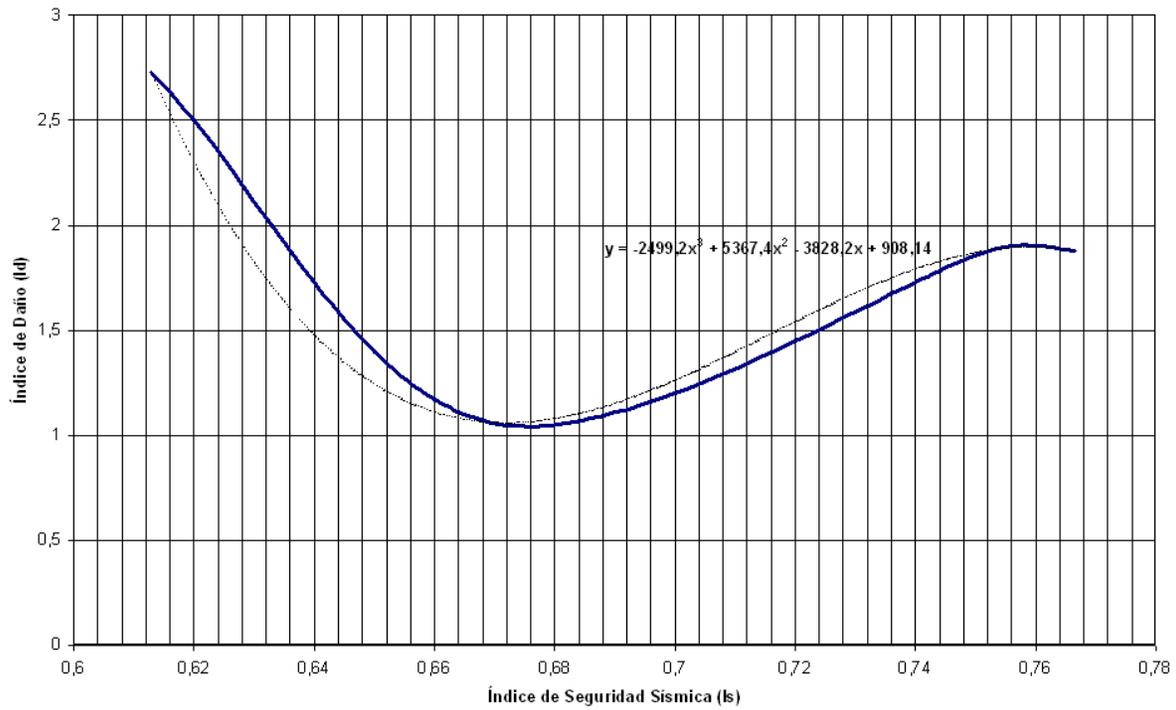


Figura 12.- CURVA DE CORRELACIÓN ENTRE **Is** e **Id** PARA UNA ACELERACIÓN DEL SUELO DE **0.30g**

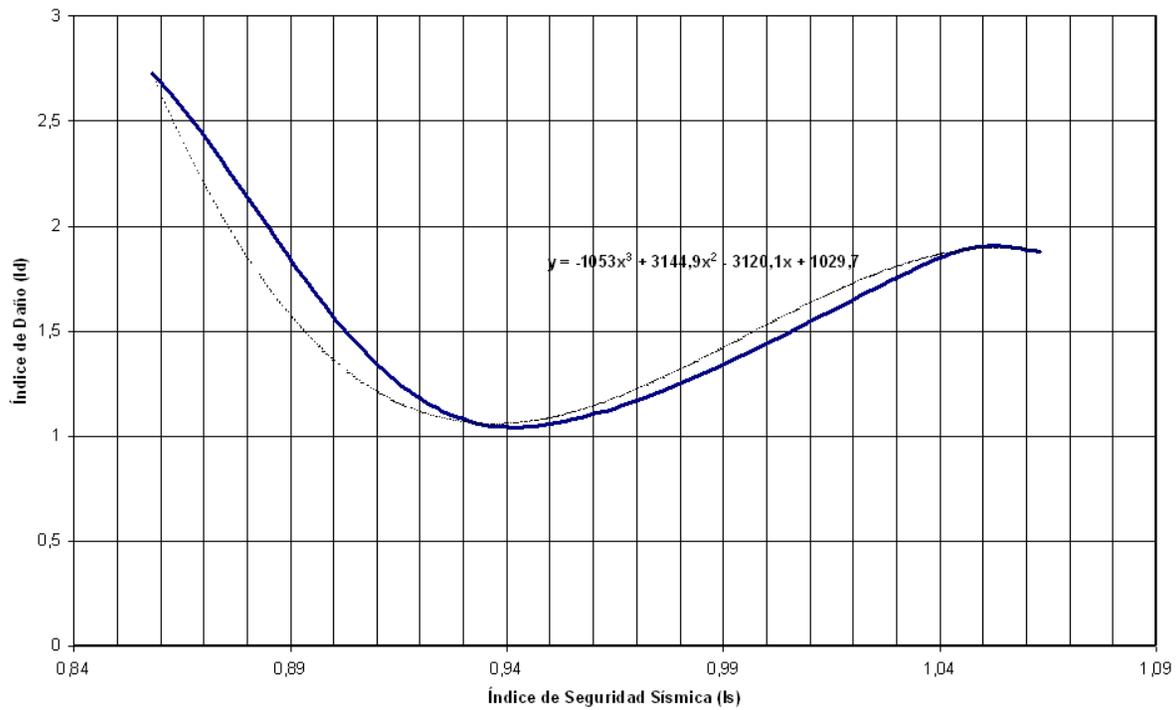


Figura 13.- CURVA DE CORRELACIÓN ENTRE **Is** e **Id** PARA UNA ACELERACIÓN DEL SUELO DE **0.40g**



V.1.3.- Índices de Daño (I_d)

Instalación 04: Área de Lavado y Cocina

Para un Índice de Vulnerabilidad de 23.53%, los valores de I_d se calculan interpolando entre dos valores más próximos de IV normalizado de la **tabla 26**:

Sismo	I_d
0.10g	0.174179
0.19g	0.441064
0.30g	0.766479
0.40g	1.063129

Instalación 05: Edificio de Epidemiología

Para un Índice de Vulnerabilidad de 22.55%, los valores de I_d calculados, se muestran a continuación:

Sismo	I_d
0.10g	0.169965
0.19g	0.43244
0.30g	0.752465
0.40g	1.044215

Instalación 06: Quirófano

Para un Índice de Vulnerabilidad de 16.01%, los valores de I_d calculados, se muestran a continuación:

Sismo	I_d
0.10g	0.142641
0.19g	0.380075
0.30g	0.669716
0.40g	0.933554

Instalación 09: Edificio de Labor y Parto

Para un Índice de Vulnerabilidad de 11.11%, los valores de I_d calculados, se muestran a continuación:

Sismo	I_d
0.10g	0.122551
0.19g	0.343325
0.30g	0.612876
0.40g	0.858094



V.1.4.- Pérdidas Económicas y Humanas

➤ Pérdidas Económicas

Recordemos que: $Pe = A * \$ * I_d$

Donde:

A: Área en planta del edificio (m²)

\$: Costo de reposición de daños (\$/m²)

I_d: Índice de Daño para una respuesta sísmica dada.

Tabla 41.- PÉRDIDA ECONÓMICA PARA UN ÍNDICE DE DAÑO PRODUCIDO POR SISMO 1

Edificio	Área (m ²)	Costo (\$)/m ²	Id ₁ (a ₁ =0.10g)	P.e ₁ (\$)	P.e ₁ (C\$)
Área de Lavado y Cocina	1,426.28	900.00	0.174179	223,585.22	4,337553.3
Edificio de Epidemiología	649.33	950.00	0.169965	104,845.2	2,033996.9
Quirófano	307.57	900.00	0.142641	39,484.88	766,006.67
Edificio de Labor y Parto	503.22	950.00	0.122551	58,586.61	1,136580.2

Tabla 42.- PÉRDIDA ECONÓMICA PARA UN ÍNDICE DE DAÑO PRODUCIDO POR SISMO 2

Edificio	Área (m ²)	Costo (\$)/m ²	Id ₂ (a ₂ =0.19g)	P.e ₂ (\$)	P.e ₂ (C\$)
Área de Lavado y Cocina	1,426.28	900.00	0.441064	566,172.69	10,983750.19
Edificio de Epidemiología	649.33	950.00	0.43244	266,756.45	5,175075.13
Quirófano	307.57	900.00	0.380075	105,209.70	2,041068.18
Edificio de Labor y Parto	503.22	950.00	0.343325	164,129.61	3,184114.43

Tabla 43.- PÉRDIDA ECONÓMICA PARA UN ÍNDICE DE DAÑO PRODUCIDO POR SISMO 3

Edificio	Área (m ²)	Costo (\$)/m ²	Id ₃ (a ₃ =0.30g)	P.e ₃ (\$)	P.e ₃ (C\$)
Área de Lavado y Cocina	1,426.28	900.00	0.766479	983,892.3	19,087510.62
Edificio de Epidemiología	649.33	950.00	0.752465	464,168.19	9,004862.89
Quirófano	307.57	900.00	0.669716	185,386.1	3,596490.34
Edificio de Labor y Parto	503.22	950.00	0.612876	292,990.89	5,684023.27

Tabla 44.- PÉRDIDA ECONÓMICA PARA UN ÍNDICE DE DAÑO PRODUCIDO POR SISMO 4

Edificio	Área (m ²)	Costo (\$)/m ²	Id ₄ (a ₄ =0.40g)	P.e ₄ (\$)	P.e ₄ (C\$)
Área de Lavado y Cocina	1,426.28	900.00	1.063129	1,364687.7	26,474940.8
Edificio de Epidemiología	649.33	950.00	1.044215	644,138.12	12,496279.53
Quirófano	307.57	900.00	0.933554	258,419.88	5,013345.67
Edificio de Labor y Parto	503.22	950.00	0.858094	410,219.56	7,958259.46

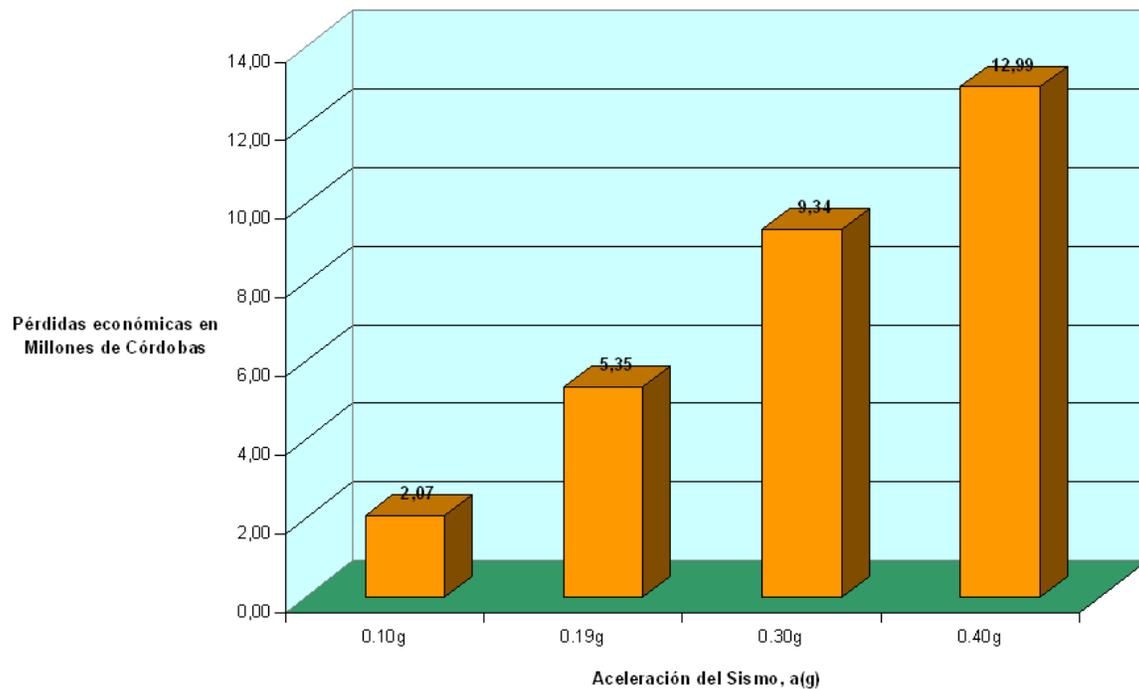


Figura 14.- PÉRDIDAS ECONÓMICAS PROMEDIO EN TODO EL HOSPITAL PARA SISMOS DE 0.10g, 0.19g, 0.30g y 0.40g, RESPECTIVAMENTE

Referente a las pérdidas económicas los resultados arrojan cifras considerables a medida que el índice de daño aumenta en dependencia del sismo perturbador. El primer sismo provocaría C\$ 2,068534.26 en pérdidas en el Área de Lavado y Cocina; el segundo causaría una pérdida de C\$ 5,346001.98 en el Edificio de Epidemiología; con el tercer sismo, similar al terremoto de 1972, se alcanzarían C\$ 9,343221.78 de pérdidas en el Edificio de Quirófano, y finalmente con el cuarto sismo, correspondiente a uno registrado por acelerogramas en un área cercana al sitio de estudio (Cruz Roja Belmonte), se perderían un total de C\$ 12,985706.37 en el Edificio de Labor y Parto (ver **figura 9**).



➤ Pérdidas Humanas

El número de víctimas por índices de daño según el período de estancia se describen en la **tabla 42** y **figura 10**. Cabe destacar que las víctimas que se obtuvieron sólo corresponden a la población que habita en las edificaciones de mampostería confinada que han sido evaluadas (300-400 personas). Además es necesario aclarar que los períodos de estancia se refieren a días de semana, entendiéndose que la cantidad de personas en esos mismos períodos en fin de semana son totalmente distintos y se asume que los resultados obtenidos para esos dos días serían similares a los obtenidos en el tercer período de estancia (por la noche), por lo que se consideró poco relevante determinarlos.

Los períodos de estancia definidos son los establecidos en la **tabla 42**:

Tabla 45.- DENSIDAD DE OCUPANTES PARA DIFERENTES HORARIOS

Uso de la edificación	N° Personas/100m ²		
	9:00am-3:00pm	3:00pm-3:00am	3:00am-9:00am
Residencial	1.2	3.1	--
Educación	20.0	0.5	--
Gubernamental	4.0	--	--
Servicios de emergencia	3.0	--	2.0
<i>Hospital</i>	5.0*	3.0*	4.0*

(Melone, S., 2002)

*Estos valores pueden variar de acuerdo con las Estadísticas registradas en el hospital.



Tabla 46.- POBLACIÓN DENTRO DEL ÁREA DE LAVADO Y COCINA

Área 04 (m2)	Personas/100.00m ²	Población (hab.)	
1426,28	5	71	09:00am-03:00pm
	3	43	03:00pm-03:00am
	4	57	03:00am-09:00am

Tabla 47.- VÍCTIMAS ESPERADAS SEGÚN ÍNDICES DE DAÑO OBTENIDOS EN EL ÁREA DE LAVADO Y COCINA

Instalación 04: Área de Lavado y Cocina				
Víctimas		09:00am-03:00pm	03:00pm-03:00am	03:00am-09:00am
	Id1=	0,14	(0,0.25)	
Golpeados	0,05	4	2	3
Heridos Leves	0,005	0	0	0
Heridos Graves	0	0	0	0
Muertos	0	0	0	0
	Id2=	0,38	[0.25,0.4)	
Golpeados	0,4	28	17	23
Heridos Leves	0,04	3	2	2
Heridos Graves	0	0	0	0
Muertos	0	0	0	0
	Id3=	0,67	[0.4,0.8)	
Golpeados	2	142	86	114
Heridos Leves	0,2	14	9	11
Heridos Graves	0,002	0	0	0
Muertos	0,002	0	0	0
	Id4=	0,93	[0.8,1.0)	
Golpeados	10	710	430	570
Heridos Leves	2	142	86	114
Heridos Graves	0,02	1	1	1
Muertos	0,02	1	1	1

(Obando, G. & Rodríguez, R., 2008)



Tabla 48.- POBLACIÓN DE EDIFICIO DE EPIDEMIOLOGÍA

Área 05 (m2)	Personas/100.00m2	Población (hab.)	
649,33	5	32	09:00am-03:00pm
	3	19	03:00pm-03:00am
	4	26	03:00am-09:00am

Tabla 49.- VÍCTIMAS ESPERADAS SEGÚN ÍNDICES DE DAÑO OBTENIDOS EN EL EDIFICIO DE EPIDEMIOLOGÍA

Instalación 05: Edificio de Epidemiología				
Víctimas		09:00am-03:00pm	03:00pm-03:00am	03:00am-09:00am
	Id1=	0,17	(0,0.25)	
Golpeados	0,05	2	1	1
Heridos Leves	0,005	0	0	0
Heridos Graves	0	0	0	0
Muertos	0	0	0	0
	Id2=	0,40	[0.25,0.4)	
Golpeados	0,4	13	8	10
Heridos Leves	0,04	1	1	1
Heridos Graves	0	0	0	0
Muertos	0	0	0	0
	Id3=	0,77	[0.4,0.8)	
Golpeados	2	0	38	52
Heridos Leves	0,2	6	4	5
Heridos Graves	0,002	0	0	0
Muertos	0,002	0	0	0
	Id4=	1,00	[0.8,1.0)	
Golpeados	10	0	190	260
Heridos Leves	2	64	38	52
Heridos Graves	0,02	1	0	0
Muertos	0,02	1	0	1

(Obando, G. & Rodríguez, R., 2008)



Tabla 50.- QUIRÓFANO

Área 06 (m2)	Personas/100.00m2	Población (hab.)	
307,57	5	15	09:00am-03:00pm
	3	9	03:00pm-03:00am
	4	12	03:00am-09:00am

Tabla 51.- VÍCTIMAS ESPERADAS SEGÚN ÍNDICES DE DAÑO OBTENIDOS EN SALAS DEL QUIRÓFANO

Instalación 06: Quirófano				
Víctimas		09:00am-03:00pm	03:00pm-03:00am	03:00am-09:00am
	Id1=	0,14	(0,0.25)	
Golpeados	0,05	1	0	1
Heridos Leves	0,005	0	0	0
Heridos Graves	0	0	0	0
Muertos	0	0	0	0
	Id2=	0,38	[0.25,0.4)	
Golpeados	0,4	6	4	5
Heridos Leves	0,04	1	0	0
Heridos Graves	0	0	0	0
Muertos	0	0	0	0
	Id3=	0,67	[0.4,0.8)	
Golpeados	2	30	18	24
Heridos Leves	0,2	3	2	2
Heridos Graves	0,002	0	0	0
Muertos	0,002	0	0	0
	Id4=	0,93	[0.8,1.0)	
Golpeados	10	150	90	120
Heridos Leves	2	30	18	24
Heridos Graves	0,02	0	0	0
Muertos	0,02	0	0	0

(Obando, G. & Rodríguez, R., 2008)



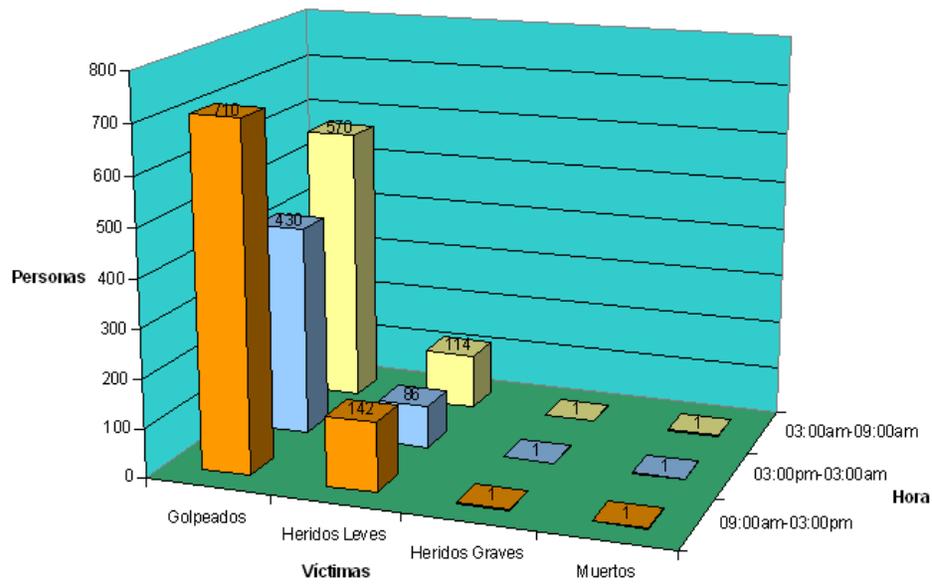
Tabla 52.- EDIFICIO DE LABOR Y PARTO

Área 09 (m2)	Personas/100.00m2	Población (hab.)	
503,22	5	25	09:00am-03:00pm
	3	15	03:00pm-03:00am
	4	20	03:00am-09:00am

Tabla 53.- VÍCTIMAS ESPERADAS SEGÚN ÍNDICES DE DAÑO OBTENIDOS EN EL EDIFICIO DE LABOR Y PARTO

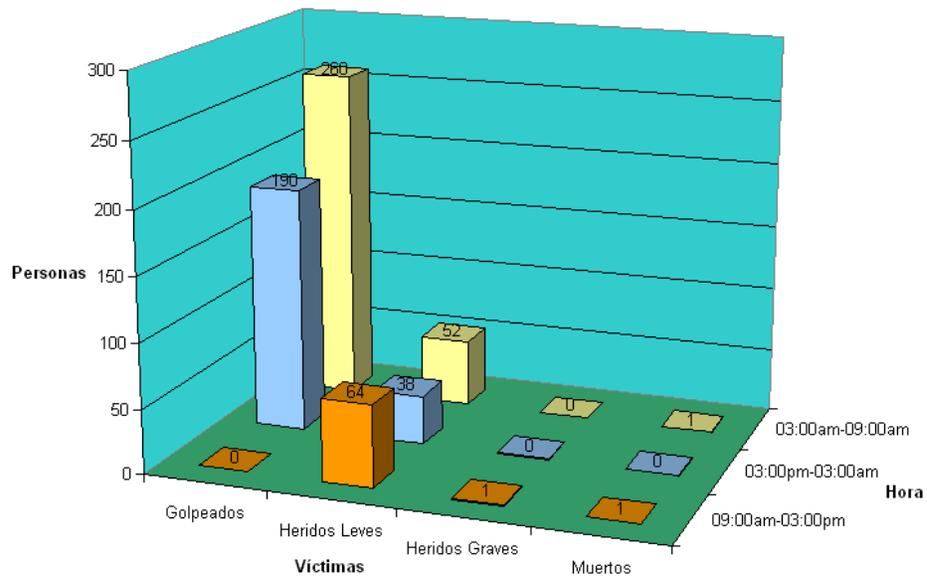
Instalación 09: Edificio de Labor y Parto				
Víctimas		09:00am-03:00pm	03:00pm-03:00am	03:00am-09:00am
	Id1=	0,14	(0,0.25)	
Golpeados	0,05	1	1	1
Heridos Leves	0,005	0	0	0
Heridos Graves	0	0	0	0
Muertos	0	0	0	0
	Id2=	0,38	[0.25,0.4)	
Golpeados	0,4	10	6	8
Heridos Leves	0,04	1	1	1
Heridos Graves	0	0	0	0
Muertos	0	0	0	0
	Id3=	0,67	[0.4,0.8)	
Golpeados	2	50	30	40
Heridos Leves	0,2	5	3	4
Heridos Graves	0,002	0	0	0
Muertos	0,002	0	0	0
	Id4=	0,93	[0.8,1.0)	
Golpeados	10	250	150	200
Heridos Leves	2	50	30	40
Heridos Graves	0,02	1	0	0
Muertos	0,02	1	0	0

(Obando, G. & Rodríguez, R., 2008)



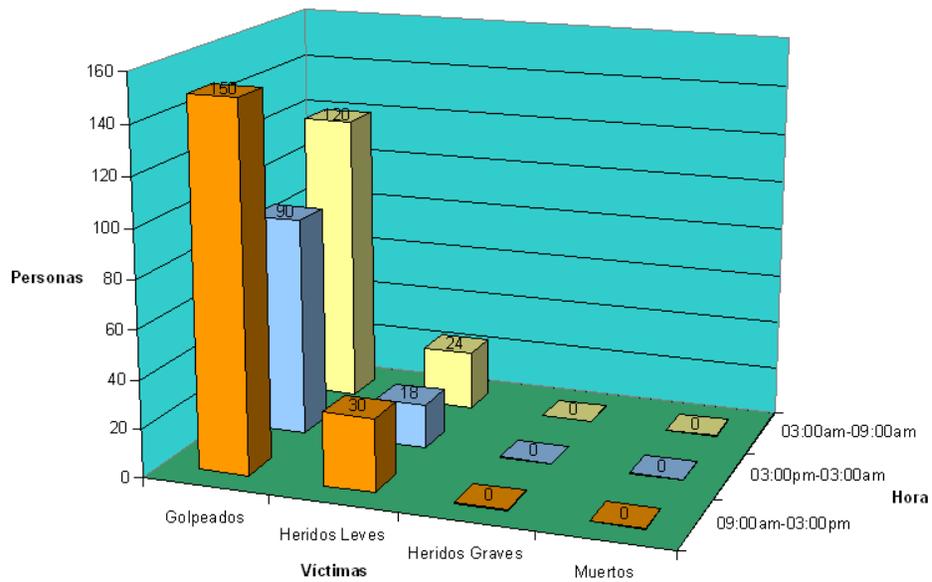
	Golpeados	Heridos Leves	Heridos Graves	Muertos
09:00am-03:00pm	710	142	1	1
03:00pm-03:00am	430	86	1	1
03:00am-09:00am	570	114	1	1

Figura 15.- VÍCTIMAS CAUSADAS POR SISMO $a_4=0.40g$ EN EL ÁREA DE LAVADO Y COCINA



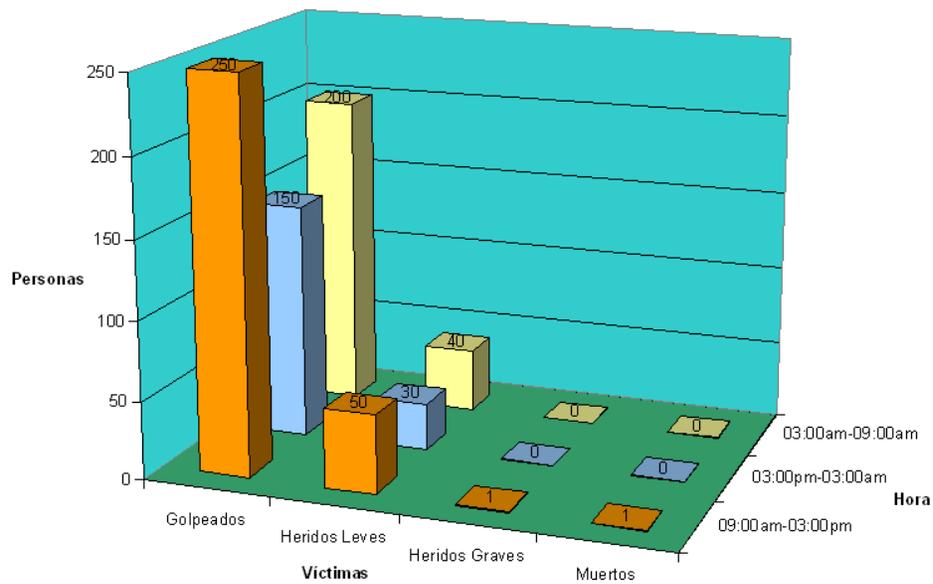
	Golpeados	Heridos Leves	Heridos Graves	Muertos
09:00am-03:00pm	0	64	1	1
03:00pm-03:00am	190	38	0	0
03:00am-09:00am	260	52	0	1

Figura 16.- VÍCTIMAS CAUSADAS POR SISMO $a_4=0.40g$ EN EL EDIFICIO DE EPIDEMIOLOGÍA



	Golpeados	Heridos Leves	Heridos Graves	Muertos
09:00am-03:00pm	150	30	0	0
03:00pm-03:00am	90	18	0	0
03:00am-09:00am	120	24	0	0

Figura 17.- VÍCTIMAS CAUSADAS POR SISMO $a_4=0.40g$ EN LAS SALAS DE QUIRÓFANO



	Golpeados	Heridos Leves	Heridos Graves	Muertos
09:00am-03:00pm	250	50	1	1
03:00pm-03:00am	150	30	0	0
03:00am-09:00am	200	40	0	0

Figura 18.- VÍCTIMAS CAUSADAS POR SISMO $a_4=0.40g$ EN EL EDIFICIO DE LABOR Y PARTO



V.2.-Discusión

El Índice de Seguridad Sísmica de edificaciones de *mampostería confinada del hospital Vélez Paiz* depende fuertemente de irregularidades y deterioro en la estructura, de la distribución de rigidez y de masa, y de la resistencia última de corte de columnas y muros. De acuerdo con los resultados analíticos el factor de configuración estructural varía entre 0.9 y 1.2, el índice de deterioro de esas edificaciones varía de 0.8 a 0.9 y el índice que representa la respuesta estructural varía de 2.4 a 2.5.

Los valores de Is_1 fueron corregidos por tablas 17 y 18, que toman en consideración factores como: número de pisos, condición de la estructura, tipo de suelo, entre otros, para la obtención del Índice Sísmico final (Is_2) de los edificios estudiados. Cabe mencionar que el edificio de Epidemiología presenta mayor predisposición al daño con un índice de seguridad sísmica corregida de 0.80, a pesar de que el Is_1 del edificio de Quirófano es menor. Principalmente podríamos atribuir esta situación al posible golpeteo entre edificios ante la eventualidad de un sismo.

Estos Índices Sísmicos se emplearon para obtener cuatro curvas polinomiales de tercer grado que se correlacionan con el Índice de Daño que se esperaría en el Hospital Fernando Vélez Paiz. Con este último se pueden realizar cálculos como pérdidas económicas y pérdidas de vidas humanas.

De acuerdo con metodología planteada para el cálculo de Índice de Daños Promedio del hospital, el daño producido por sismo a tres distintas horas del día será tipo *severo*, para aceleraciones de 0.10g, 0.19g, 0.30g y 0.40g.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI.1.- Conclusiones

Este trabajo se dedica al estudio de la vulnerabilidad sísmica del hospital Fernando Vález Paiz, orientado al análisis del sistema estructural y funcional como paradigma de edificios y sistemas esenciales en caso de desastre. Se destaca la relevante función que las edificaciones esenciales desempeñan en la atención y gestión de la emergencia debido a sismos. Además se resalta la necesidad de crear un cuerpo de prescripciones específicas que permita adecuar las edificaciones existentes y construir las nuevas con requisitos compatibles a su nivel de importancia.

De esta investigación se concluye que, el grado de Vulnerabilidad Sísmica varía de media a alta con Índices Sísmicos en el rango [0.80, 1.30] en cuatro de los edificios estudiados que presentaron problemas visibles en su estructura. Se valora que es necesario realizar urgentemente un análisis más preciso con el empleo de la Normativa Nacional y probablemente se requiera reforzar estas cuatro edificaciones.

De acuerdo con los valores de Índice de Daño Promedio calculados, el daño que será producido por sismo a distintos intervalos de horas del día será de tipo *severo*, debido a que estos índices varían entre 0.48 y 0.61 para edificios de mampostería confinada con problemas estructurales derivados de su obsolescencia.

A su vez, se esperan pérdidas económicas que varían entre cuatrocientos mil dólares hasta 2.7 millones de dólares para aceleraciones del suelo entre 0.10g y 0.40g con costos de



reposición de daños para hospitales contemplados por la OPS/OMS de \$900 a \$1000 por área afectada.

Finalmente, el mayor número de personas que serán afectadas de manera directa por el sismo en todo el hospital, se han agrupado de la siguiente manera: golpeados (1,110 víctimas), heridos leves (276 víctimas), heridos graves (3 víctimas), muertos (3 víctimas) que corresponden al intervalo de horas de las 9:00am a las 3:00pm para aceleraciones del suelo de 0.40g (máximas).

La mitigación de los efectos producidos por sismos mediante la adopción de medidas preventivas es una actividad altamente rentable en zonas donde se experimentan eventos sísmicos de manera frecuente. Por cada córdoba que se gaste adecuadamente en mitigación antes de que ocurra un desastre, se ahorrarán enormes costos representados en pérdidas económicas, sociales, políticas y humanas que no sucedieron.



VI.2.- Recomendaciones

Los resultados obtenidos de este estudio están encaminados a sustentar acciones de ingeniería para la mejora estructural de las instalaciones del hospital Vélez Paiz. Entre estas se mencionan: reparaciones y/o remodelaciones físicas en el hospital, o inclusive la demolición, siguiendo lineamientos técnicos presentados en **Arto 42 Reparación y Reforzamiento de Estructuras dañadas por sismos**, contemplado en Reglamento nacional de Construcción (2007).

A su vez, se aprovecha la oportunidad para proponer algunas ideas de investigaciones futuras en el hospital Vélez Paiz, con el afán de ofrecer respuesta efectiva ante crisis sísmicas. Estas son:

a) Determinar el nivel de seguridad estructural de hospitales y centros de salud, con características constructivas similares a las del hospital Vélez Paiz, con vista a ser tomados en estudios de rehabilitación estructural de edificaciones o de alguno de sus componentes no estructurales.

b) Calcular la capacidad potencial de funcionamiento de una institución hospitalaria en el ofrecimiento de servicios médicos ante eventuales sismos importantes.

c) Coordinar y ejecutar estudios de vulnerabilidad estructural y no estructural a varios niveles de profundización, integrando al alumnado de la Carrera de Ingeniería Civil y Arquitectura.

d) Fomentar mayor conciencia sobre tópicos de vulnerabilidad sísmica en la sociedad, en el medio ambiente, y en el ámbito político y financiero de nuestro país a corto, mediano y largo plazo.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

❖ Libros

- 1) **Arte de Proyectar en Arquitectura.** Ernst Neufert. México, 1998. Ediciones G. Pili, S.A. de C.V.
- 2) **Fundamentos de Ingeniería Sísmica: Introducción a la Sismología.** Sauter, F. Costa Rica, 1989. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- 3) **Introducción a la Metodología de la Investigación Científica.** Piura L., J. UNAN-Managua, 1995. Tercera edición.
- 4) **Metodología de la Investigación.** Hernández S., R., et al. México, 2006. McGraw Hill, Cuarta edición.

❖ Artículos Periodísticos

- 5) **Planean gran Hospital General para Managua.** Yahoska Dávila. El Nuevo Diario, Nacionales. Managua, 28 de junio del 2006.
- 6) **Vélez Paiz en Escombros vive sus últimos días:** La muerte de un Hospital. Melvin Martínez, El Nuevo Diario, Nacionales. Managua, 26 de junio del 2006.

❖ Entrevistas realizadas a expertos

- 7) Montalbán, Y., Rodríguez A., R. Junio, 2007. **Evaluación Sísmica del Edificio Facultad de Tecnología de la Industria,** UNI-RUPAP. Transcripción.
- 8) Reyes L., N., Obando R., G. Mayo, 2008. **Asesoría en Temas de Vulnerabilidad Sísmica,** e-mail: niwronni@yahoo.com. Archivo.
- 9) Romero L., C., Obando R., G. Febrero, 2007. **Estudio de Vulnerabilidad Estructural de Santa Lucía,** CIGEO. Archivo.
- 10) Ugarte S., A., Obando R., G. Abril, 2007. **Estudios de Vulnerabilidad Sísmica en Hospitales,** UNI. Archivo.
- 11) Ugarte S., A., Obando R., G. Mayo, 2008. **Métodos de Cálculo de la Vulnerabilidad Sísmica,** UNI. Archivo.



❖ Monografías

- 12) **Análisis de Espectros de Respuesta en el Área de la ciudad de Managua.** Parrales E., R. & Picado R., M. Universidad Nacional de Ingenierías (UNI-RUPAP). Abril, 2001. Managua, Nicaragua.
- 13) **Memoria de la Tesis Doctoral: Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones Esenciales, Análisis de su Contribución al Riesgo Sísmico.** Safina M., Salvador. Universidad Politécnica de Cataluña. Diciembre, 2002. Barcelona, España.
- 14) **Metodología para la determinación de la Vulnerabilidad Sísmica en Hospitales, (Hospital Escuela Dr. Roberto José Calderón Gutiérrez).** Hernández A., N & Acuña H., J. Universidad Nacional de Ingenierías (UNI-RUPAP). Octubre, 2005. Managua, Nicaragua.
- 15) **Proyecto de Vulnerabilidad Sísmica de edificaciones hospitalarias de la ciudad de Quito.** Qachet, P. & Fernández, J. Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Estructuras, 1996. Quito, Ecuador.

❖ Documentos no Publicados

- 16) **Informe de estudio geológico para la evaluación de peligro por fallamiento superficial del Proyecto: Diagnostico y Readección Estructural “Hospital Fernando Vélez Paiz”.** DEPSA. Managua, 2005. Hospital Fernando Vélez Paiz.
- 17) **Informe de estudio geotécnico, pruebas en concreto, corrosión y distribución de acero para el proyecto: Diagnostico y Readección Estructural “Hospital Fernando Vélez Paiz”.** DEPSA. Managua, 2005. Hospital Fernando Vélez Paiz.

❖ Sitio web

- 18) Managua Futura, 2004. **Distrito II de la ciudad de Managua.** Recuperado en Febrero (2008), de: <http://www.manfut.org/managua/barrios/Distrito2.html>.
- 19) Ministerio de Salud, 2005. **Proyecto Hospital General Zona Occidental de Managua.** Dpto. de Infraestructura, recuperado en Enero (2008), de: <http://www.minsa.gob.ni/>.



❖ **Trabajos presentados en seminarios, conferencias, congresos y eventos similares**

- 20) **Análisis de vulnerabilidad y preparativos para enfrentar desastres naturales en hospitales en Chile.** Boroschek, R., et al. Universidad de Chile. Estudio realizado para Ministerio de Salud de Chile financiado por OPS/OMS-ECHO, Santiago, Chile, 1995-1996.
- 21) **Evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificaciones estructuradas con pórticos de hormigón armado, Bases Metodológicas.** Boroschek, R., et al. OPS/OMS. Universidad de Chile. Chile, 2000.
- 22) **Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud.** Boroschek, R., et al. Organización Panamericana de la Salud, 2000. Washington, D.C.
- 23) **Guías de Reducción de Vulnerabilidad en el diseño de Nuevos Establecimientos de Salud.** Boroschek, R., et al. OPS/OMS. Universidad de Chile. Chile, 2003.
- 24) **NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings.** FEMA Publication 273. Federal Emergency Management Agency (FEMA), Washington D.C., 1997.
- 25) **Nonstructural Issues of Seismic Designs and Construction** (Publication No. 84-04). EERI. Oakland, California, 1984.
- 26) **Proyecto Reducción de la Vulnerabilidad ante Desastres Naturales: Estudio de la Vulnerabilidad Sísmica de Managua, Informe Final.** INETER. Managua, Nicaragua. 2005.
- 27) **Reglamento Nacional de Construcción.** MCT. Managua, Nicaragua. 1983.
- 28) **Reglamento Nacional de Construcción.** Ministerio de Transporte e Infraestructura. Managua, Nicaragua. 2007.
- 29) **Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage: A Practical Guide.** FEMA 74 Supersedes 1985 Edition. FEMA. Washington 1994.



GLOSARIO

Las siguientes definiciones permiten aclarar los conceptos utilizados en esta tesis. La mayoría fueron extraídas de Cardona (2001, 2004) y AIS (2002, 2003).

Alerta (temprana): Situación que se declara a través de instituciones, organizaciones e individuos responsables y previamente identificados, para la provisión de información adecuada, precisa y efectiva con anterioridad a la manifestación de un fenómeno peligroso, con el fin de que *los organismos operativos de emergencia activen procedimientos de acción preestablecidos y la población tome precauciones específicas.*

Amenaza: Peligro potencial que representa la posible manifestación de un fenómeno de origen natural, socio-natural o antropogénico, que puede producir efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, los bienes y servicios y/o el ambiente expuestos.

Amenaza sísmica*: Es un factor del riesgo externo que se expresa como *la probabilidad de que un evento sísmico (como un terremoto) se presente con una cierta intensidad, en un sitio específico y dentro de un periodo de tiempo definido.*

Análisis o Escenario del riesgo: Es el resultado de *relacionar la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos*, con el fin de determinar los posibles efectos y consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a uno o varios fenómenos peligrosos en un territorio y con referencia a grupos o unidades sociales y económicas particulares. Este análisis, se presenta en forma escrita, cartográfica o diagramada, utilizando técnicas cuantitativas y cualitativas, y basado en métodos participativos, de las condiciones, las causas y las dimensiones del riesgo que afecta a territorios y grupos sociales determinados. *Implica una consideración detallada de las amenazas y vulnerabilidades, de los procesos sociales causales del riesgo y de los actores sociales que contribuyen a las condiciones de riesgo existentes.*

Construcción sismo resistente: Es el tipo de edificación que a través de su diseño y construcción se ajusta a parámetros establecidos por un reglamento o norma que busca desarrollar *estructuras con razonable seguridad para la vida.* Lo que significa que al degradarse la estructura existe la posibilidad de que se salve del colapso y por lo tanto las vidas que se encuentran en su interior.

Crisis: *Condición de inestabilidad que involucra cambios abruptos o decisivos.* Es el proceso de liberación de los elementos sumergidos y reprimidos de un sistema como resultado de una perturbación *exógena* (externa) o *endógena* (interna). Las crisis pueden ser el resultado de un desastre o constituir ellas mismas el *desastre.* Ofrecen oportunidades de cambios positivos y no solamente negativos.



Daño estructural*: Es consecuencia de la falla de un sólo elemento o serie de elementos con ductilidad o resistencia insuficiente.

Daño no estructural*: Se produce por la unión inadecuada entre muros de relleno o divisorios, instalaciones y la estructura, o por falta de rigidez de la misma, lo que se traduce en excesivas deformaciones que no pueden ser absorbidas por este tipo de componentes.

Desastre: Situación o proceso social que se desencadena como resultado de la manifestación de un fenómeno de origen natural, socio-natural o antrópico que, al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en una población, en su producción e infraestructura, causa alteraciones intensas, graves y extendidas en las condiciones normales de funcionamiento del país, región, zona, o comunidad afectada, las cuales no pueden ser enfrentadas o resueltas de manera autónoma utilizando los recursos disponibles a la unidad social directamente afectada.

Desastre por terremoto*: Es un evento o suceso que ocurre en forma repentina e inesperada, causando alteraciones intensas sobre los elementos sometidos, representadas por la pérdida de vida y salud de la población, la destrucción o pérdida de los bienes de una colectividad y daños severos sobre el medio ambiente.

Ductilidad: Es la habilidad que posee una estructura para disipar energía vibratoria a partir del instante en que sus deformaciones exceden el límite elástico. La vibración de la estructura en el rango plástico durante sismos fuertes significa, por lo tanto, la ocurrencia de daños estructurales y no estructurales.

Edificación*: Es una construcción cuyo uso principal es la habitación u ocupación por seres humanos.

Efectos directos: Aquellos que mantienen relación de *causalidad directa* e inmediata con la ocurrencia de un fenómeno físico, representados usualmente por el daño en las personas, infraestructuras, sistemas productivos, bienes y capitales, servicios y ambiente, y por el impacto inmediato en las actividades sociales y económicas.

Efectos indirectos: Aquellos que mantienen relación de *causalidad con los efectos directos*, representados usualmente por impactos concatenados o posteriores sobre la población, sus actividades económicas y sociales o sobre el ambiente. Por ejemplo, pérdidas de oportunidades productivas e ingresos futuros, aumentos en los niveles de pobreza, aumentos en costos de transporte debido a la pérdida de puentes y caminos, etc.

Elementos en riesgo (expuestos): Es el contexto social y material representado por las personas y por los recursos, producción, infraestructura, bienes, servicios y ecosistemas que pueden ser afectados *directamente* por un fenómeno físico. Entre estos tenemos: la población, edificaciones, obras civiles, actividades económicas, servicios públicos, utilidades e infraestructura expuesta en un área determinada.



Elementos o miembros estructurales*: Componentes que aportan resistencia al sistema estructural de un edificio o edificación. Esto incluye cimientos, columnas, muros portantes, vigas y diafragmas (entendidos estos como los pisos y techos diseñados para transmitir fuerzas horizontales, como las de sismos, a través de las vigas y columnas hacia los cimientos).

Elementos o miembros no estructurales*: Se refiere a aquellos componentes de un edificio que están *unidos a las partes estructurales* (tabiques, ventanas, techos, puertas, cerramientos, cielos rasos, etc.), que *cumplen funciones esenciales en el edificio* (plomería, calefacción, aire acondicionado, conexiones eléctricas, etc.) o que simplemente *están dentro de las edificaciones* (equipos médicos, equipos mecánicos, muebles, etc.), pudiendo por lo tanto ser agrupados en tres categorías: *componentes arquitectónicos, instalaciones y equipos*. Aquí se incluyen elementos que aunque no contribuyen a poner en peligro la estabilidad del edificio, si *representan un riesgo para la vida y seguridad de los ocupantes*.

Emergencia: *Estado* caracterizado por la alteración o interrupción intensa y grave de las condiciones normales de funcionamiento u operación de una comunidad, zona o región, causada por un fenómeno o por la inminencia del mismo, que requiere de una reacción inmediata y exige la atención de las instituciones del estado, los medios de comunicación y de la comunidad en general.

Estructura o sistema estructural: Es un ensamblaje de elementos, diseñado para soportar las cargas gravitacionales y resistir las fuerzas horizontales (sísmicas, o de viento).

Evaluación del daño*: Es la medición cualitativa y/o cuantitativa del daño producido por un desastre.

Evaluación de habitabilidad: Evaluación rápida y con limitaciones de tiempo, basada en criterio y juicio experto, en la inspección visual e información fácil de recopilar, con el fin de detectar durante una crisis sísmica, los edificios dañados por un terremoto que pueden ser utilizados salvaguardando razonablemente la vida humana (Goretti, 2001).

Evaluación de la amenaza*: Es el proceso mediante el cual se determina la posibilidad de que un fenómeno físico se manifieste, con un determinado grado de severidad, durante un período de tiempo definido y en un área determinada. Representa la recurrencia estimada y la ubicación geográfica de eventos probables.

Evaluación de la vulnerabilidad*: Proceso mediante el cual se determina el grado de susceptibilidad y predisposición al daño o pérdida de un elemento o grupo de elementos expuestos ante una amenaza particular y, los factores y contextos que pueden impedir o dificultar de manera importante la recuperación, rehabilitación y reconstrucción con los recursos disponibles en la unidad social afectada.

Fenómeno o evento peligroso*: Suceso natural, socio-natural o antrópico que se describe en términos de sus características, su severidad, ubicación y área de influencia. *Es la materialización en el tiempo y el espacio de una amenaza*. Es importante diferenciar entre



un fenómeno potencial que constituye una amenaza, y el fenómeno mismo, una vez que éste se presenta.

Gestión del riesgo*: Proceso social complejo que conduce al *planeamiento y aplicación de políticas, estrategias, instrumentos y medidas de intervención orientadas a impedir, reducir, prever y controlar los efectos adversos de fenómenos peligrosos* sobre la población, la infraestructura, los sistemas productivos, los bienes y servicios y el ambiente. Acciones integradas de reducción, previsión y control de riesgos y los factores particulares de riesgo a través de actividades de prevención, mitigación, preparación para, y *atención de emergencias y desastres y la rehabilitación, reconstrucción y recuperación post-impacto*.

Holismo: Doctrina que propugna la concepción de cada realidad como un *todo* distinto de la suma de las partes que lo componen. (Diccionario de la lengua española - XXII edición).

Integral: Dicho de cada una de las partes de un todo: que entra en su composición sin serle esencial, de manera que el todo puede subsistir, aunque incompleto, sin ella. (diccionario de la lengua española – XXII edición).

Intensidad*: Medida cuantitativa y cualitativa de la severidad de un fenómeno en un sitio específico.

Intervención correctiva*: *Proceso que pretende reducir los niveles de riesgo existentes en la sociedad o en un sub-componente de la sociedad*, producto de procesos históricos de ocupación del territorio, de fomento a la producción y la construcción de infraestructuras y edificaciones, entre otras cosas. *Ejemplos de acciones o instrumentos de la gestión correctiva son:* la construcción de diques para proteger poblaciones ubicadas en las zonas de inundación; el refuerzo de edificios para dotarlos de niveles adecuados de protección sísmo resistente o contra huracanes; cambios en el patrón de cultivos para adecuarse a condiciones ambientales adversas; reforestación de cuencas para disminuir procesos de erosión, deslizamiento e inundación.

Intervención prospectiva*: *Es la anticipación o previsión de riesgos futuros que pueden asociarse con nuevos procesos de desarrollo e inversión*, tomando las medidas para garantizar que nuevos factores de riesgo no surjan con las iniciativas o proyectos de construcción, producción, circulación, comercialización, etc. La intervención prospectiva debe verse como un componente integral de la planificación del desarrollo y del ciclo de planificación de nuevos proyectos. *El objetivo último* de este tipo de intervención *es evitar nuevos riesgos*, garantizar adecuados niveles de sostenibilidad de las inversiones, y así evitar tener que aplicar medidas costosas de intervención correctiva en el futuro.

Líneas (redes) vitales: Infraestructura básica o esencial, conformada principalmente por cuatro componentes que son: energía, transporte, agua y sistema de comunicación interna y externa.



Mampostería Confinada: Es un sistema constructivo para resistir cargas laterales en el cual, la mampostería está confinada por elementos de amarre de concreto reforzado. Los bloques de mampostería constituyen el alma de un diafragma y los elementos de amarre los patines.

Mitigación del riesgo*: *Planificación y ejecución de medidas de intervención dirigidas a reducir el riesgo existente.* La mitigación asume que en muchas circunstancias no es posible, ni factible controlar el riesgo totalmente; es decir, que en muchos casos no es posible impedir o evitar totalmente los daños y sus consecuencias sino más bien reducirlos a *niveles aceptables y factibles*. La mitigación de riesgos puede operar en el contexto de la reducción o eliminación de riesgos existentes, o aceptar estos riesgos y, a través de los preparativos, los sistemas de alerta (temprana), etc. buscar disminuir las pérdidas y daños que ocurrirían con la incidencia de un evento peligroso.

Pérdida*: Valor adverso de orden económico, social o ambiental alcanzado por una variable (ej.: un terremoto) durante un tiempo de exposición específico.

Pérdidas directas: *Están relacionadas con el daño físico*, expresado en número de víctimas, daños a la infraestructura de servicios públicos, daños en las edificaciones, el espacio urbano, la industria y el comercio y, el deterioro del medio ambiente, es decir, la alteración física del hábitat.

Pérdidas indirectas: *Se subdividen en efectos sociales*, tales como la interrupción del transporte, de los servicios públicos, de los medios de información y la desfavorable imagen que puede tomar una región con respecto a otras; *y en efectos económicos*, reflejados en la alteración del comercio y la industria como consecuencia de la baja en la producción, la desmotivación de la inversión, la generación de gastos de rehabilitación y reconstrucción y la falta de acceso a servicios básicos como los de salud.

Plan de contingencia*: Procedimientos operativos específicos y preestablecidos de coordinación, alerta, movilización y respuesta ante la manifestación o la inminencia de un fenómeno peligroso particular para el cual se tienen escenarios definidos.

Plan de emergencias*: Definición de funciones, responsabilidades y procedimientos generales de reacción y alerta institucional, inventario de recursos, coordinación de actividades operativas y capacitación a través de ejercicios de simulación y revisión de procedimientos, con el fin de salvaguardar la vida, proteger los bienes y recobrar la normalidad tan pronto como sea posible después de que se presente un fenómeno peligroso.

Plan de Gestión del riesgo*: *Conjunto coherente y ordenado de estrategias, programas y proyectos*, que se formula para orientar las actividades de *reducción, previsión y control de riesgos*, la *preparación para la atención de la emergencia* y la *recuperación en caso de desastre*. Al garantizar condiciones apropiadas de seguridad frente a los diversos riesgos existentes y disminuir las pérdidas materiales y consecuencias sociales que se derivan de los desastres, se mejora la calidad de vida de la población y se aumenta la sostenibilidad.



Prevención del riesgo*: Medidas y acciones dispuestas con anticipación que buscan prevenir nuevos riesgos o impedir que aparezcan. La prevención de riesgos se refiere a la *intervención prospectiva* del riesgo, mientras que la mitigación de riesgos se refiere a la *intervención correctiva*. Dado que la prevención absoluta rara vez es posible, la prevención tiene una connotación semiutópica y debe ser vista a la luz de consideraciones sobre el *riesgo aceptable*.

Pronóstico*: Cuando se aplica a los fenómenos físicos se refiere a la determinación de la probabilidad de que un fenómeno físico se manifieste con base en: el estudio de su mecanismo físico generador, el monitoreo del sistema perturbador y/o el registro de eventos en el tiempo. Un pronóstico puede ser a corto plazo, generalmente basado en la búsqueda e interpretación de señales o eventos precursores del fenómeno peligroso; a mediano plazo, basado en la información estadística de parámetros indicadores de la potencialidad del fenómeno, y a largo plazo, *basado en la determinación del evento máximo probable o creíble dentro de un período de tiempo que pueda relacionarse con la planificación del área afectable*.

Recuperación: Proceso de reestablecimiento de condiciones adecuadas y sostenibles de vida mediante la rehabilitación, reparación, reconstrucción o reemplazo de la infraestructura, bienes y servicios destruidos, interrumpidos deteriorados en el área afectada, y la reactivación o impulso del desarrollo económico y social de la comunidad.

Reducción del riesgo*: Medidas de intervención correctivas y/o prospectivas dirigidas a cambiar o disminuir las condiciones de riesgo existente o de nuevos riesgos que se puedan generar. Son medidas de *prevención-mitigación y preparación*, que se adoptan en forma anticipada a la manifestación de un fenómeno físico con el fin de: *a) evitar que se presente un fenómeno peligroso, reducir su peligrosidad o evitar la exposición de los elementos ante el mismo; b) disminuir sus efectos sobre la población, la infraestructura, los bienes y servicios y el ambiente, reduciendo la vulnerabilidad que exhiben*.

Respuesta: Etapa de la atención que corresponde a la ejecución de las acciones previstas en la etapa de preparación y que, en algunos casos, ya han sido antecedidas por actividades de alistamiento y movilización, motivadas por la declaración de diferentes estados de alerta. *Corresponde a la reacción inmediata para la atención oportuna de la población*.

Riesgo aceptable*: Posibles consecuencias sociales, económicas y ambientales que, implícita o explícitamente, una sociedad o un segmento de la misma asume o tolera por considerar innecesario, inoportuno o imposible una intervención para su reducción dado el contexto económico, social, político, cultural y técnico existente. *Es el nivel de probabilidad de una consecuencia dentro de un período de tiempo, que se considera admisible para determinar las mínimas exigencias o requisitos de seguridad, con fines de protección y planificación, ante posibles fenómenos peligrosos*.



Riesgo colectivo: Es la probabilidad de que se presente un determinado nivel de efectos adversos de carácter económico, social o ambiental en un sitio particular y durante un período de tiempo definido, cuya magnitud y severidad son tales que afectarían la *comunidad en general*.

Riesgo específico: Es el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un evento particular y como una función de la amenaza y la vulnerabilidad.

Riesgo estructural: Es el diseño de edificios para resistir sismos fuertes sin colapso, aun cuando se produzcan daños estructurales severos; sismos moderados sin daño estructural, pero con algún daño en elementos no estructurales; y sismos leves sin daño.

Sismo*: *Es una transformación brusca de la energía de deformación acumulada en la litosfera, en energía cinética.* Ésta última, se manifiesta por medio de movimientos ondulatorios que se transmiten en el interior y en la superficie de la tierra. Según la profundidad del hipocentro, los sismos se pueden clasificar en: litosféricos (70km), astenosféricos (70-300km), y sismos profundos (>300km). Por otro lado, los terremotos corresponden a sismos de origen natural producidos, generalmente, por la interacción de placas tectónicas.

Sismo interplaca: Son producidos por la fricción en las zonas de contacto entre las placas (ej.: encuentro de las Placas Cocos y Caribe).

Sismo intraplaca: Son aquellos producidos lejos de los límites de placas conocidas

Sismo Operativo: Está relacionado con la continuidad de las operaciones de una edificación luego de un evento sísmico importante capaz de producir daños aceptables en la misma.

Sismo Accidental: Se relaciona con la pérdida de funciones de una edificación después de un evento sísmico importante capaz de producir daños severos en ella.

Sistema de Gestión del riesgo*: Organización abierta, dinámica y funcional de instituciones y su conjunto de orientaciones, normas, recursos, programas y actividades de carácter técnico-científico, de planificación, de preparación para emergencias y de participación de la comunidad, cuyo objetivo es la incorporación de las prácticas y procesos de la gestión de riesgos en la cultura y en el desarrollo económico y social de las comunidades.

Sistema integrado de información: Cuando se aplica a la gestión de riesgos se refiere a la base de conocimiento sobre las amenazas, vulnerabilidades y riesgos, de vigilancia y alerta, de capacidad de respuesta y de procesos de gestión, al servicio de las instituciones y de la población; fundamental para la toma de decisiones y la priorización de las actividades y proyectos de gestión de riesgos.



Solicitaciones*: Son las fuerzas u otras acciones que afectan la estructura debido al peso propio de la misma, de los elementos no estructurales, de sus ocupantes y sus posesiones, de efectos ambientales tales como el viento o el sismo, de los asentamientos diferenciales y de los cambios dimensionales causados por variaciones en la temperatura u otros efectos de los materiales. *En general corresponden a todo lo que pueda afectar la estructura.*

Vulnerabilidad*: Es el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo como resultado de la probable ocurrencia de un evento desastroso. En general se acepta que la vulnerabilidad de un edificio puede ser estructural y no-estructural.

Vulnerabilidad estructural*: Está relacionada fundamentalmente con la capacidad que tiene la estructura para soportar los desplazamientos y los esfuerzos que uno o varios movimientos sísmicos pueden causarle durante su vida útil.

Vulnerabilidad no-estructural*: Tiene relación con la operación o funcionamiento del edificio, lo que depende del comportamiento de elementos tales como acabados, divisiones, instalaciones, equipos, etc.; de su desempeño en el caso de un sismo, depende que el edificio mantenga su operación y pueda seguir ofreciendo sus servicios.

Vulnerabilidad administrativo-organizativa: Es el nivel de organización en la distribución y relación entre los espacios arquitectónicos y los servicios médicos y de apoyo al interior de los hospitales, así como a los procesos administrativos (contrataciones, adquisiciones, rutinas de mantenimiento, etc.) y a las relaciones de dependencia física y funcional entre las diferentes áreas de un hospital.



ANEXOS

1.- Registro de Sondeos Mecanizados

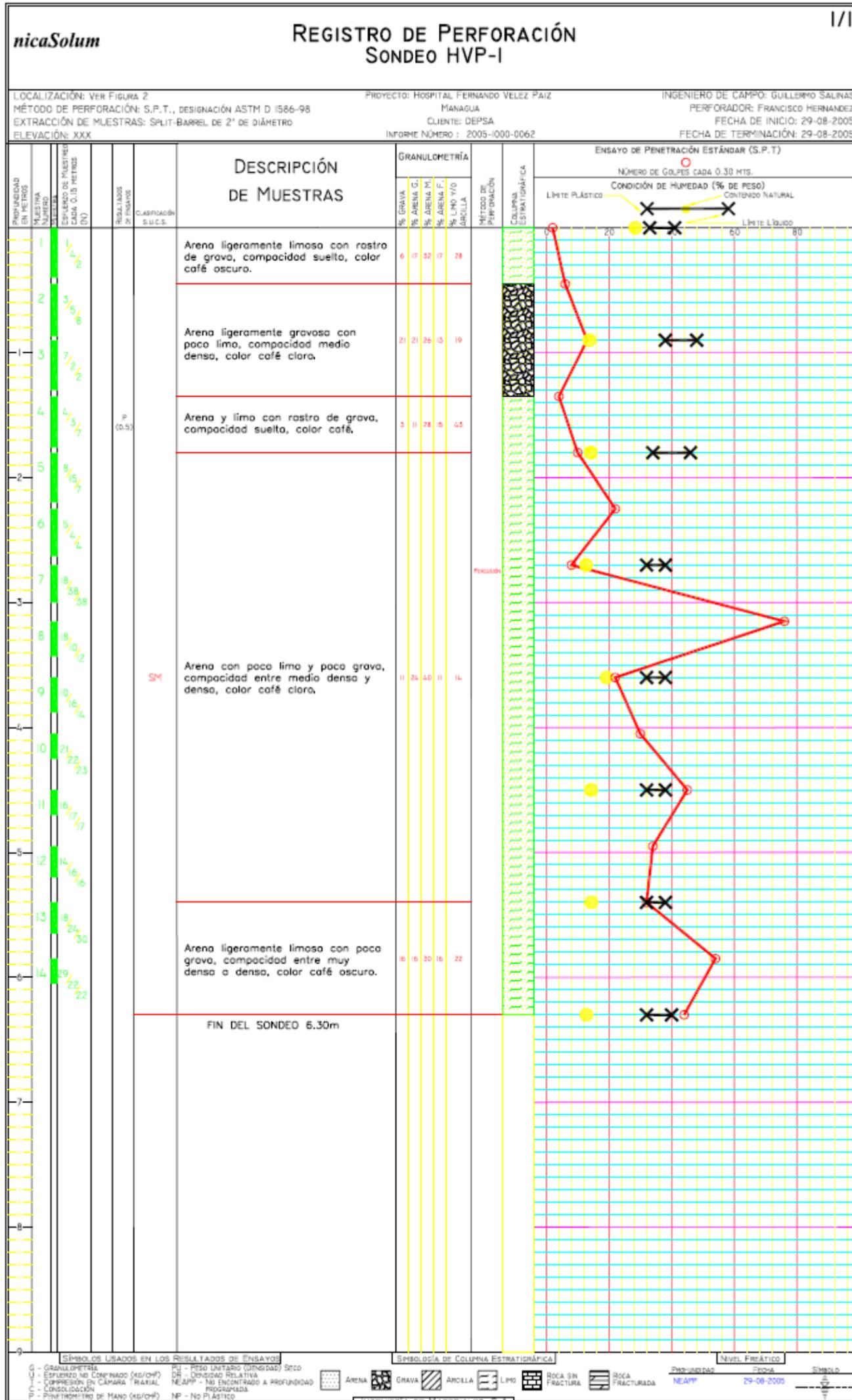
- 1.1.- SONDEO SHVP-1 (HOJA 1/1)
- 1.2.- SONDEO SHVP-2 (HOJA 1/1)
- 1.3.- SONDEO SHVP-3 (HOJA 1/1)

2.- Perfil del Suelo

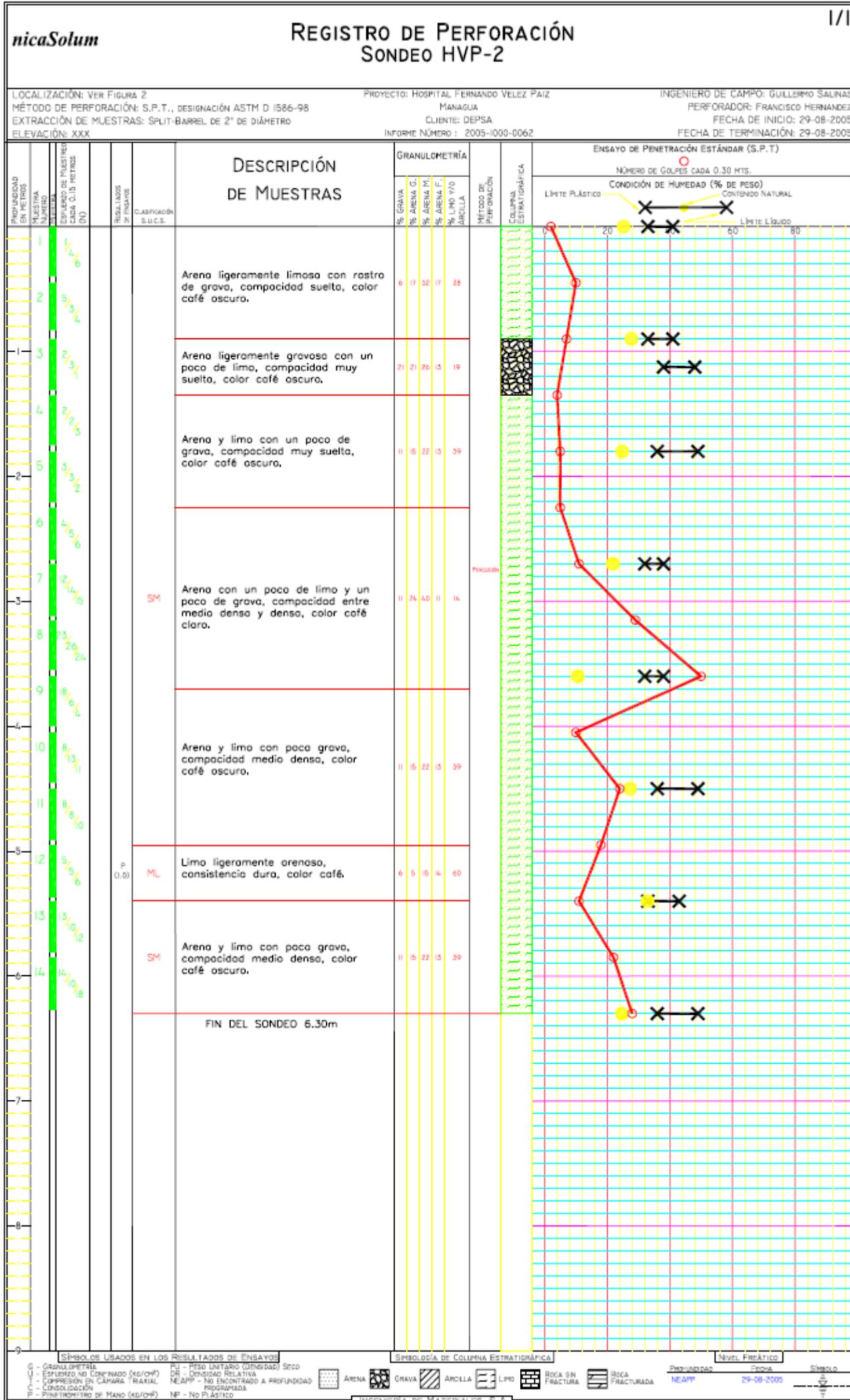
- 2.1.- Cruz Roja (Belmonte) ubicada al costado sur del Hospital Vélez Paiz
- 2.2.- Coordenadas: 1341.84° N, 576.04° E

1.- Registro de Sondeos Mecanizados

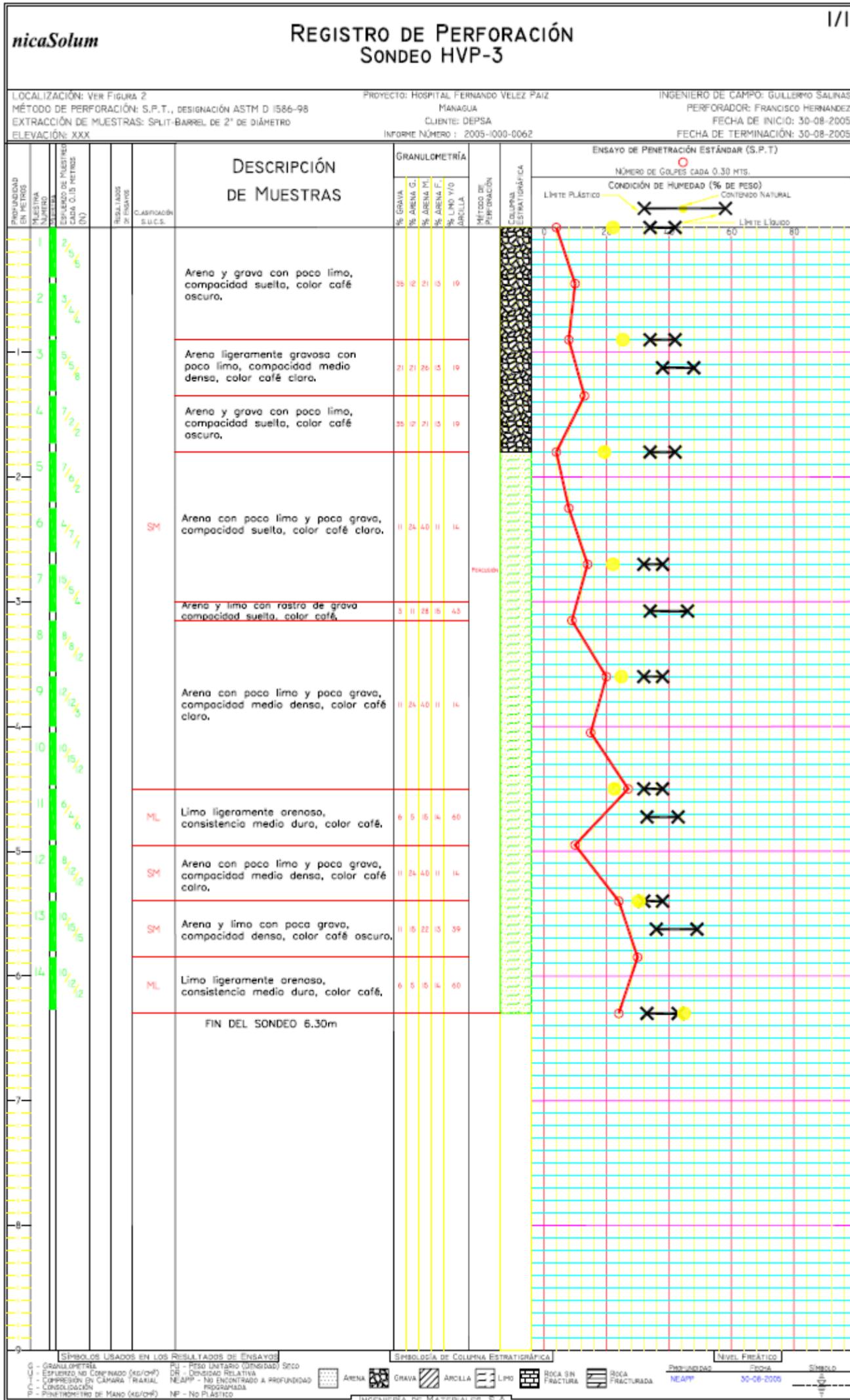
Cuadro 1.- REGISTRO DE PERFORACIÓN DE SONDEO NO.1



Cuadro 2.- REGISTRO DE PERFORACIÓN DE SONDEO NO.2



Cuadro 3.- REGISTRO DE PERFORACIÓN DE SONDEO NO.3



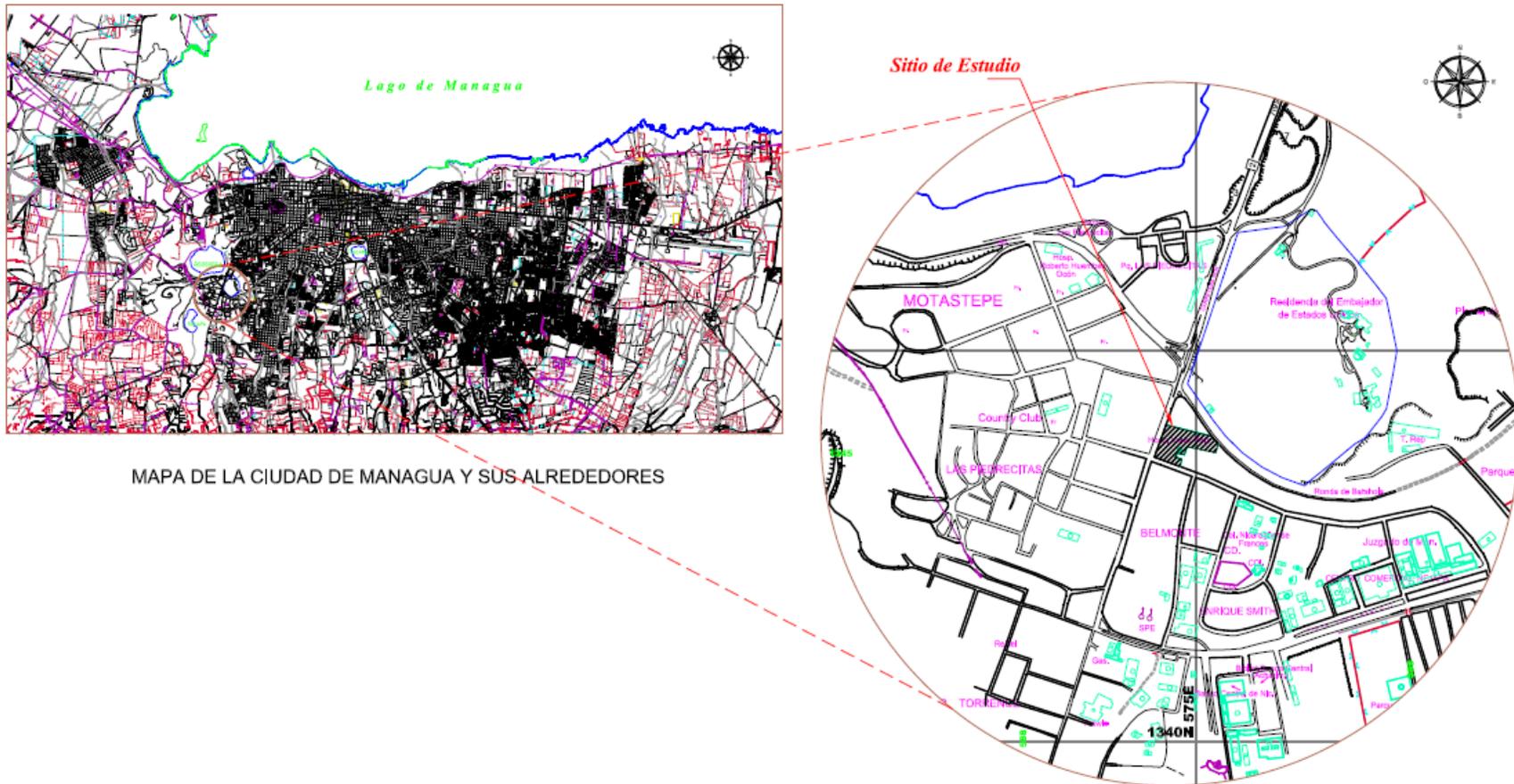


Figura 19.- LOCALIZACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE MANAGUA

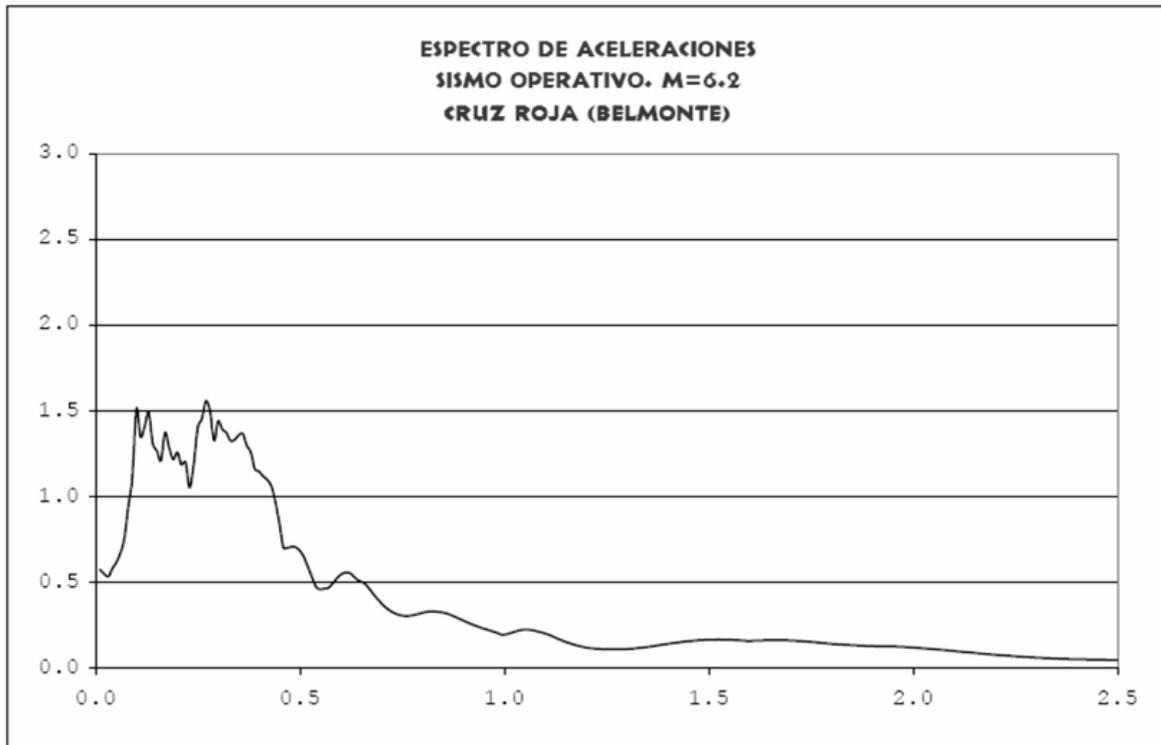
2.- Perfil del Suelo

Tabla 54.- PERFIL DEL SUELO DE CRUZ ROJA (BELMONTE)

		Número de capas = 7			Prof. al basam. =		50 ft.		
No.	Tipo	Espesor (ft)	N	Prof. (ft)	Pres. Tot. (ksf)	Módulo (ksf)	Amortig.	Peso u. (kcf)	Vel. Cort. (fps)
1	3	11.00	14	5.50	0.39	1156	0.100	0.071	724.0
2	5	9.00	45	15.50	0.86	2929	0.100	0.081	1079.0
3	6	10.00	60	25.00	1.07	3826	0.100	0.087	1190.0
4	8	2.00	~	31.00	1.22	3019	0.020	0.092	1028.0
5	8	8.00	~	36.00	1.40	7674	0.020	0.100	1572.0
6	8	10.00	~	45.00	1.80	14846	0.050	0.112	2066.0
7	BASE					18336	0.050	0.112	2296.0

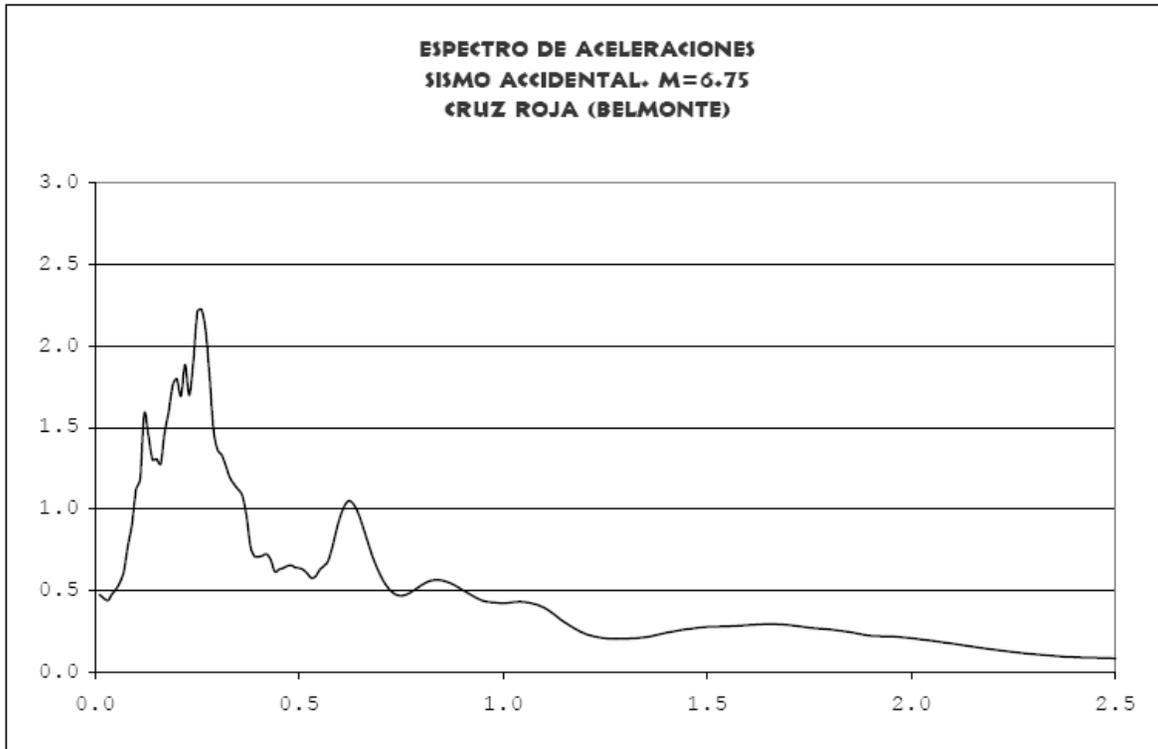
Periodo = 0.15 veloc. de corte promedio = 1297

(Parrales E., et al., 2001)



Máx. valor de respuesta de la aceleración = 1.557
 para la frecuencia = 3.70 c/seg.
 para el periodo = 0.27 seg.

Figura 20.- ESPECTRO DE ACELERACIONES PARA SISMO OPERATIVO, M=6.2
 FUENTE: PARRALES R. & PICADO M., 2001



Máx. valor de respuesta de la aceleración = 2.225
para la frecuencia = 3.85 c/seg.
para el periodo = 0.26 seg.

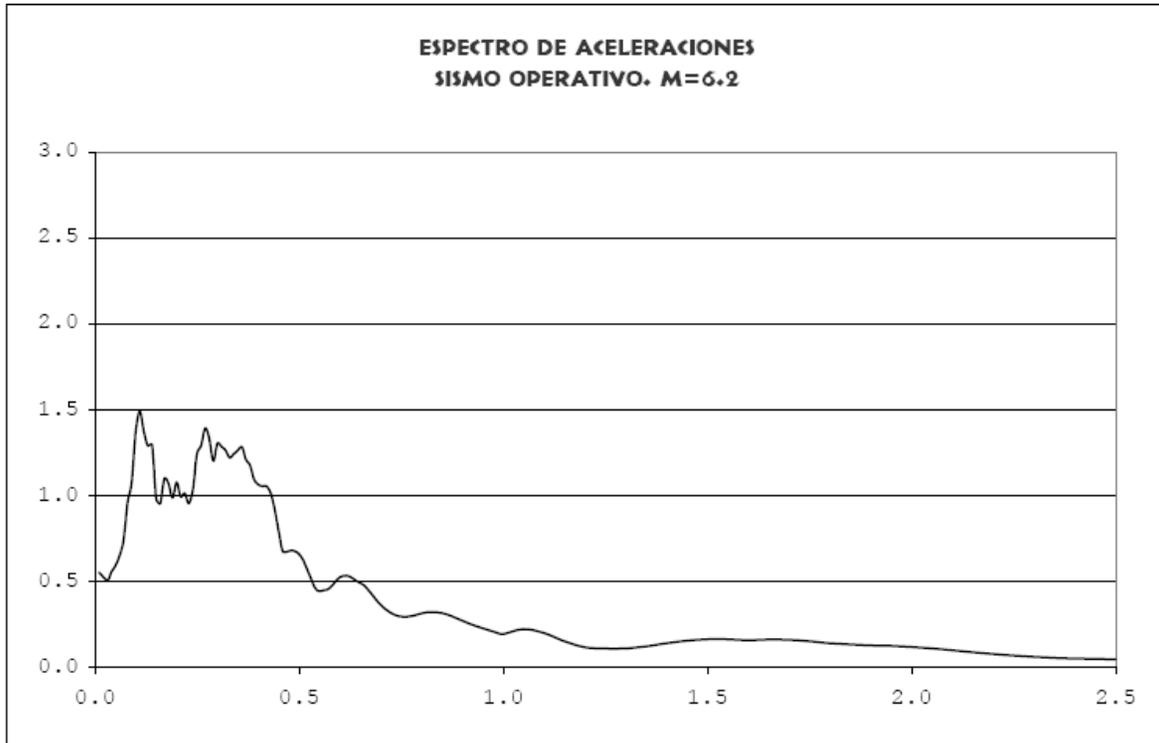
Figura 21.- ESPECTRO DE ACELERACIONES PARA SISMO ACCIDENTAL, M=6.75
FUENTE: PARRALES R. & PICADO M., 2001

Tabla 55.- PERFIL DEL SUELO DE COORDENADA 1341.84° N, 576.04° E

Número de capas = 7 Prof. al basam. = 45 ft.										
No.	Tipo	Espesor (ft)	N	Prof. (ft)	Pres.Tot. (ksf)	Módulo (ksf)	Amortig.	Peso u. (kcf)	Vel. Cort. (fps)	
1	3	5.00	28	2.50	0.19	1959	0.100	0.075	917.0	
2	5	15.00	48	12.50	0.52	3093	0.100	0.082	1102.0	
3	5	5.00	55	22.50	0.73	3521	0.100	0.085	1155.0	
4	8	2.00	~	26.00	0.81	3019	0.020	0.092	1028.0	
5	8	8.00	~	31.00	0.99	7674	0.020	0.100	1572.0	
6	8	10.00	~	40.00	1.39	14846	0.050	0.112	2066.0	
7	BASE					18336	0.050	0.112	2296.0	

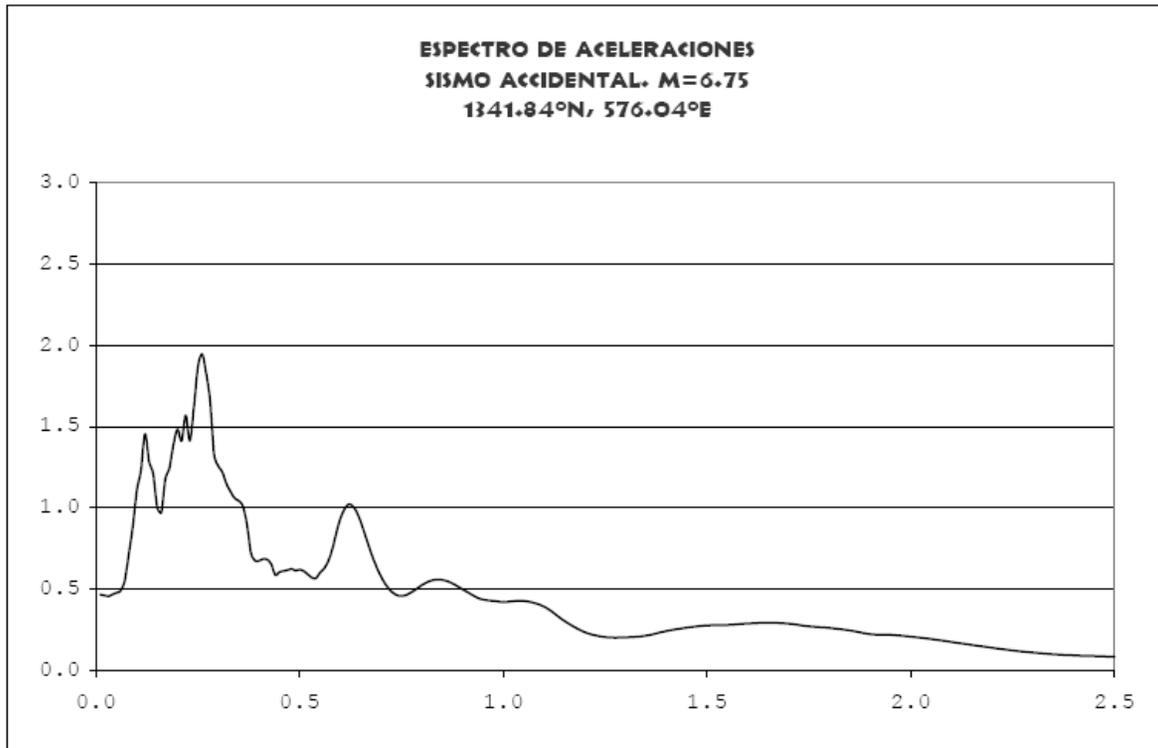
Periodo = 0.13 vel. de corte promedio = 1382

(Parrales E., et al., 2001)



Máx. valor de respuesta de la aceleración = 1.490
 para la frecuencia = 9.09 c/seg.
 para el periodo = 0.11 seg.

Figura 22.- ESPECTRO DE ACELERACIONES PARA SISMO OPERATIVO, M=6.2
 FUENTE: PARRALES R. & PICADO M., 2001



Máx. valor de respuesta de la aceleración = 1.946
para la frecuencia = 3.85 c/seg.
para el periodo = 0.26 seg.

Figura 23.- ESPECTRO DE ACELERACIONES PARA SISMO ACCIDENTAL, M=6.75
FUENTE: PARRALES R. & PICADO M., 2001

3.- Resultados Obtenidos de: Pruebas en Concreto, Corrosión y Distribución de Acero

En base a los datos obtenidos de las investigaciones de campo, se presentan los resultados de localización y tamaño de acero estructural, grado de corrosión de acero estructural, resistencia a la compresión de núcleos y martillo suizo.

Cuadro 4.- RESULTADOS DE LOCALIZACIÓN Y TAMAÑO ACERO ESTRUCTURAL EN COLUMNAS

Identificación de la Prueba	Ubicación	Lado Escaneado del Elemento*	Resultados							
			Acero Longitudinal					Acero Transversal (Estribos)		
			# de barras Localizadas	Espaciamiento Aprox. (cm)	Diámetro Efectivo (mm)			Espaciamiento Aprox. (cm)	Lectura del Diámetro (mm)	Recubrimiento Aprox. (cm)
RC-1	Primer piso. Columna en Intercepción entre Ejes A y 6. A 1.50 m de nivel de piso terminado	Norte	3	15.0	21.0	21.0	20.1	29.0 – 30.0	9.8	4.2 – 4.6
RC-2	Primer piso. Columna en Intercepción entre Ejes B y 6. A 1.50 m de nivel de piso terminado	Cara Sur	3	16 - 17	17.8	19.2	22.9	30.0 – 31.3	9.2	5.0 – 5.8
RC-3	Primer piso. Columna en Intercepción entre Ejes C y 6. A 1.40 m de nivel de piso terminado	Sur	3	15 - 16	20.9	15.5	17.7	18 - 31	8.20	3.3 – 4.3
RC-4	Primer piso. Columna en Intercepción entre Ejes D y 6. A 1.50 m de nivel de piso terminado	Esquina Noroeste de la columna	1	-	24.1			13.6 – 20.0	11.0	3.7 – 4.4
RC-5	Primer piso. Columna en Intercepción entre Ejes C y 16. A 1.50 m de nivel de piso terminado	Cara Oeste	3	14 – 15	24.5	22.6	24.7	31 - 32	9.2	5.0
RC-6	Primer piso. Columna en Intercepción entre Ejes B y 16. A 1.50 m de nivel de piso terminado	Cara Este	3	17 - 15	23.4	15.9	23.5	29.6 - 31	8.8 – 9.2	4.7 – 5.
RC-7	Primer piso. Columna en Intercepción entre Ejes A y 16. A 1.50 m de nivel de piso terminado	Cara Oeste	3	15 - 16	23.8	21.9	24.5	28 - 30	9.5	3.5 – 4.0

* Lado de la columna que presta las condiciones para el equipo utilizado.

Continuación de Cuadro No.4

Identificación de la Prueba	Ubicación	Lado Escaneado del Elemento*	Resultados							
			Acero Longitudinal				Acero Transversal (Estribos)			
			# de barras Localizadas	Espaciamiento Aprox. (cm)	Diámetro Efectivo (mm)			Espaciamiento Aprox. (cm)	Lectura del Diámetro (mm)	Recubrimiento Aprox. (cm)
RC-8	Segundo piso. Columna en Intercepción entre Ejes C y 16. A 1.50 m de nivel de piso terminado	Cara Oeste	3	14 - 17	23.7	16.3	24.6	30	8.8	3.6 – 4.7
RC-9	Segundo piso. Columna en Intercepción entre Ejes B y 16. A 1.50 m de nivel de piso terminado	Cara Este	3	15 - 16	24.5	15.9	25.3	30	7.8	3.8 – 5.3
RC-10	Segundo piso. Columna en Intercepción entre Ejes A y 16. A 1.50 m de nivel de piso terminado	Esquina noreste	1	-	24.5			28 -30	8.1	3.4 – 5.0
RC-11	Segundo piso. Columna en Intercepcion entre Ejes D y 6. A 1.50 m de nivel de piso terminado	Cara Oeste	3	14 - 16	23.4	14.1	19.4	12 - 18	9.1	4.2 – 4.5
RC-12	Segundo piso. Columna en Intercepcion entre Ejes C y 6. A 1.50 m de nivel de piso terminado	Cara Norte	3	15 - 16	16.2	12.7	16.3	16 - 22	7.3	3.2 – 4.6
		Cara Sur	3	15 - 16	17.1	14.1	16.9		7.2	4.0 – 5.1
RC-13	Segundo piso. Columna en Intercepcion entre Ejes B y 6. A 1.50 m de nivel de piso terminado	Cara Sur	3	17	25.4	19.2	23.8	32	8.8	5.2 – 6.6
RC-14	Segundo piso. Columna en Intercepcion entre Ejes A y 6. A 1.50 m de nivel de piso terminado	Cara Sur	3	15 - 17	17.0	16.4	17.3	9 - 32	7.4	3.6 – 4.2

* Lado de la columna que presta las condiciones para el equipo utilizado.

Cuadro 5.- RESULTADOS DE LOCALIZACIÓN Y TAMAÑO ACERO ESTRUCTURAL EN VIGAS

Identificación de la Prueba	Ubicación	Lado Escaneado del Elemento*	Resultados									
			Acero Longitudinal					Acero Transversal (Estribos)				
			# de barras Localizadas	Espaciamiento Aprox. (cm)	Diámetro Efectivo (mm)			Espaciamiento Aprox. (cm)	Lectura del Diámetro (mm)	Recubrimiento Aprox. (cm)		
RV-1	Segundo piso. Viga en Eje 7, entre intercepcion C7 y D7. A 2.77 m de nivel de piso terminado	Cara Este	2	45.0	18.6	18.4			29.5 – 33.0	7.0	2.4 – 4.2	
RV-2	Segundo piso. Viga en Eje 7, entre intercepcion B7 y C7. A 3.41 m de nivel de piso terminado	Cara Inferior	5	9.4 – 13.2	13.5	12.8	12.4	13.4	12.6	14.4 – 27.0	19.5 – 23.4	3.2 – 3.6
RV-3	Segundo piso. Viga en Eje B, entre intercepcion B8 y B7S. A 2.81m de nivel de piso terminado	Cara sur	2	47.0	17.5	18.5			28.0 – 32.0	7.4	5.2 – 5.9	
RV-4	Segundo piso. Viga en Eje 7, entre intercepcion A7 y B7. A 2.80 m de nivel de piso terminado	Cara Este	2	50	18.4	19.4			26 - 35	7.0	4.0 – 4.5	
RV-5	Segundo piso. Viga en Eje A, entre intercepcion A7 y A8. A 2.80 m de nivel de piso terminado	Cara Sur	2	46.0	17.3	16.5			27.1 – 32.2	7.0	4.4 – 6.0	

* Lado de la viga que presta las condiciones para el equipo utilizado.

En paredes en los Ejes 7 y 16, se hizo ensayo de localización y distribución del acero por instrucciones del *Ing. Rolando Lupiac*. En la pared del eje 7 se encontró una viga a 1.33m del nivel de piso terminado, hacia arriba y una columna en el centro de la pared en el ambiente 12 del primer piso. En la pared en el eje 16 se encontró una viga a 1.50m de nivel de piso terminado, hacia arriba, no se encontró refuerzo de columna con el equipo Profometer 5. En el cuadro 6 se presenta resultados de pared en Eje 7. En el cuadro 7 se presenta resultados de pared en el Eje 16.

Cuadro 6.- RESULTADOS DE LOCALIZACIÓN Y TAMAÑO ACERO ESTRUCTURAL EN PARED EN EJE 7

Identificación de la Prueba	Ubicación	Lado Escaneado del Elemento	Resultados						
			Acero Longitudinal			Acero Transversal (Estribos)			
			# de barras Localizadas	Espaciamiento Aprox. (cm)	Diámetro Efectivo (mm)		Espaciamiento Aprox. (cm)	Lectura del Diámetro (mm)	Recubrimiento Aprox. (cm)
RP-1	Primer piso. Pared sobre Eje 7, entre intercepcion entre Ejes A y 7 y Intercepcion entre Ejes B y 7.	Lado Oeste de columna en el centro de la pared.	1	-	18.4		-	-	2.45-2.8
		Lado Oeste en viga	2	12.0	22.8	20.7	28.0 - 32.0	7.3	4.4 - 4.9

Cuadro 7.- RESULTADOS DE LOCALIZACIÓN Y TAMAÑO ACERO ESTRUCTURAL EN PARED EN EJE 16

Identificación de la Prueba	Ubicación	Lado Escaneado del Elemento	Resultados						
			Acero Longitudinal			Acero Transversal (Estribos)			
			# de barras Localizadas	Espaciamiento Aprox. (cm)	Diámetro Efectivo (mm)		Espaciamiento Aprox. (cm)	Lectura del Diámetro (mm)	Recubrimiento Aprox. (cm)
RP-2	Primer piso. Pared sobre Eje 16, entre intercepcion entre Ejes A y 16 y Intercepcion entre Ejes B y 16.	Norte y Sur.	-	-	-		29.5 - 33.0	7.0	2.4 - 4.2

Tabla 56.- UBICACIÓN DE PRUEBAS DE GRADO DE CORROSIÓN DE ACERO ESTRUCTURAL

Prueba No.	Ubicación	Objeto No.
C-1	Segundo piso. Lado Norte de columna en intercepcion Ejes C y 4. A 0.30m medidos a partir del nivel de piso actual, hacia arriba. Ver fotografia 11.	100001
C-2	Segundo piso. Lado Este de columna en intercepcion Ejes B y 11. A 0.30m medidos a partir del nivel de piso actual, hacia arriba. Ver fotografia 12.	100002
C-3	Primer piso. Esquina Sureste de columna en intercepcion Ejes A y 7. A 1.20m medidos a partir del nivel de piso actual, hacia arriba. Ver fotografia 13.	100003
C-4	Segundo piso. Lado inferior de losa de techo. De intercepcion Ejes B y 10, 0.40 m hacia Intercepcion Ejes C y 10. Ver fotografia 14.	100006
C-5	Segundo piso. Lado inferior de losa de techo. De intercepcion Ejes C y 13, 0.40 m hacia Intercepcion Ejes B y 13. Ver fotografia v15.	100007

CSE es *copper-copper sulfate electrode*. 1mV es igual a 0.001v.

En el sitio de la prueba C-1, el resultado obtenido es -0.235 v. (foto 23).

En el sitio de la prueba C-2, el resultado obtenido es -0.235 v. (foto 24).

En el sitio de la prueba C-3, el resultado obtenido es -0.375 v. (foto 25).

En el sitio de la prueba C-4, el resultado obtenido es -0.45 v. (foto 26).

En el sitio de la prueba C-5, el resultado obtenido es ≤ -0.45 v. (foto 27).

De acuerdo a ASTM C876-91, los resultados obtenidos por el uso de este método de ensayo no debe ser considerado como un medio para estimar las propiedades del acero o del miembro de concreto reforzado.

Tabla 57.- RESULTADOS DE RESISTENCIA DE NÚCLEOS DE CONCRETO

Núcleo No	Ubicación	Resistencia a la compresión , PSI
N-1	Primer piso. Columna de intercepcion entre Ejes 12 y B, 0.50m aproximadamente, hacia intercepcion entre Ejes 13 y B, sobre Eje B. En lado Sur de la columna, a 1.88m de nivel de piso actual.	5728
N-2	Segundo piso. Columna de intercepcion entre Ejes 12 y B, 1.00m aproximadamente, hacia intercepción entre Ejes 11 y B, sobre Eje B. En lado Sur de la columna, a 1.95m a partir del nivel de piso actual.	5502
N-3	Primer piso. Pared sobre Eje 7, entre intercepcion entre Ejes A y 7 y Intercepcion entre Ejes B y 7. El núcleo fue tomado de la pared. Ver fotografia 7.	2412
N-4	Primer piso. Pared sobre Eje 16, entre intercepcion entre Ejes A y 16 y Intercepcion entre Ejes B y 16. El núcleo fue tomado de la pared. Ver fotografia 9.	2148
N-5	Segundo piso. Pared sobre Eje A. De intercepcion entre Ejes A y 9, 0.40m hacia Eje 8. El núcleo fue tomado de la pared. Ver fotografia 8.	2901

Tabla 58.- RESULTADOS DE MARTILLO SUIZO.

Identificación de la Prueba	Ubicación	Resultados	
		Rebote Promedio "R"	Resistencia Estimada del Concreto (psi)
M-1	Primer piso. Columna de intercepcion entre Ejes 12 y B, 0.50m aproximadamente, hacia intercepcion entre Ejes 13 y B, sobre Eje B. En lado Sur de la columna. Ver fotografia 17.	54.0	8975
M-2	Segundo piso. Columna de intercepcion entre Ejes 12 y B, 1.00m aproximadamente, hacia intercepción entre Ejes 11 y B, sobre Eje B. En lado Sur de la columna. Ver fotografia 16.	54.0	8975
M-3	Primer piso. Pared sobre Eje 7, entre intercepcion entre Ejes A y 7 y Intercepcion entre Ejes B y 7. Ver fotografia 6.	26.0	2385
M-4	Primer piso. Pared sobre Eje 7, entre intercepcion entre Ejes A y 7 y Intercepcion entre Ejes B y 7. Ver fotografia 9.	21.0	1474

4.- FOTOGRAFÍAS DE TRABAJOS DE CAMPO (SPT, Martillo Suizo, Corrosión y Extracción de núcleos de concreto)



Foto 16.- Ensayo de SPT



Foto17.- Prueba de Martillo Suizo en columna del primer piso



Foto 18.- Prueba de Distribución y tamaño de acero estructural



Foto 19.- Prueba de Corrosión



Foto 20.- Prueba de Extracción de núcleos



Foto 21.- Sitio de extracción de núcleos de pared norte del segundo piso



Foto 22.- Núcleos extraídos de paredes



Foto 23.- Prueba del grado de corrosión del acero estructural en columna, C-1



Foto 24.- Prueba del grado de corrosión del acero estructural en columna, C-2



Foto 25.- Prueba del grado de corrosión del acero estructural en columna, C-3



Foto 26.- Prueba del grado de corrosión del acero estructural en columna, C-4



Foto 27.- Prueba del grado de corrosión del acero estructural en columna, C-5

Foto 28.- Vista Frontal del Edificio



Foto 29.- Entrada Lateral Derecha

Cuadro 8.- EFECTOS DE TERREMOTOS SOBRE SISTEMAS DE SALUD

Identificación Evento	Fecha	Magnitud	Efectos Generales
Managua, Nicaragua	1972	5.6	El hospital general resultó severamente dañado. Fue evacuado y posteriormente demolido.
Guatemala, Guatemala	1976	7.5	Varios hospitales fueron evacuados.
Popayán, Colombia	1983	5.5	Daños e interrupción de servicios en el Hospital Universitario San José.
Chile	1985	7.8	79 Hospitales y Centros de Salud resultaron dañados o destruidos. 3271 camas quedaron fuera de servicio.
Mendoza, Argentina	1985	6.2	Se perdieron algo más del 10% del total de camas de la ciudad. De 10 instalaciones afectadas, 2 fueron demolidas y 1 evacuada.
México, D.F., México	1985	8.1	Colapso estructural de 5 establecimientos hospitalarios y daños mayores en otros 22; por lo menos 11 instalaciones fueron evacuadas. Se estimaron pérdidas directas por US\$ 640 millones. Los hospitales más seriamente dañados fueron el Centro Médico Nacional del Instituto Mexicano de Seguro Social (IMSS), el Hospital General y el Hospital Benito Juárez. Entre camas destruidas y las que fue necesario evacuar, los sismos produjeron un déficit súbito de 5829 camas; en el Hospital General murieron 295 personas y en el Juárez 561, entre las cuales se encontraban pacientes, médicos, enfermeras, personal administrativo, visitantes y recién nacidos.
San Salvador, El Salvador	1986	5.4	2.000 camas perdidas, más de 11 instalaciones hospitalarias afectadas: 10 desalojadas y 1 evacuada permanentemente. Se estimaron daños por US\$ 97 millones.
Tena, Ecuador	1995	6.2	El Hospital Velasco Ibarra (120 camas) sufrió daños no estructurales moderados: el agrietamiento de varias paredes, la ruptura de vidrios, caída de tumbados, desperfecto en el sistema de ascensores y daños en algunas tuberías para conducción de oxígeno y de agua, lo que obligó a la suspensión de sus servicios y la evacuación de las instalaciones.
Aiquile, Bolivia	1998	6.8	El Hospital Carmen López resultó gravemente dañado.
Armenia, Colombia	1999	5.8	El terremoto causó daños en 61 instalaciones de salud.
El Salvador	2001	7.6	El terremoto dejó fuera de operación a 1917 camas hospitalarias, que corresponden al 39.1% de la capacidad del país. El Hospital San Rafael resultó severamente dañado y continuó parcialmente su función en los exteriores del edificio. El Hospital Rosales perdió su capacidad de atención quirúrgica por los daños producidos en el sector de pabellones. Los Hospitales San Juan de Dios de San Miguel y San Pedro de Usulután resultaron con daños de consideración y continuaron su operación sólo parcialmente en los exteriores de los recintos. El Hospital de Oncología fue evacuado completamente.

(Organización Panamericana de la Salud, 2000-2002)

Tabla 59.- VALORES DE ACELERACIÓN ESPECTRAL PARA LAS PRINCIPALES CIUDADES DE NICARAGUA

Ciudad	a ₀ (g)
Bluefields	0.11
Boaco	0.20
Chinandega	0.31
Corinto	0.31
Estelí	0.20
Granada	0.29
Jinotega	0.17
Jinotepe	0.32
Juigalpa	0.21
León	0.31
Managua	0.31
Masaya	0.30
Matagalpa	0.18
Ocotal	0.17
Puerto Cabezas	0.09
San Juan del Sur	0.32
Rivas	0.32
San Carlos	0.23
Somoto	0.19

(RNC, 2007)

Tabla 60.- RIESGO DE EXCEDENCIA Y PERÍODO DE RETORNO EN UNA EDIFICACIÓN

ESTRUCTURA		RIESGO DE EXCEDENCIA		PERÍODO DE RETORNO	
Grupo	Vida útil (años)	Probabilidad de Daño Aceptable	Probabilidad de Daño Severo	Daño Aceptable PRa (años)	Daño Severo PRs (años)
A	100	0.20	0.1	500	1000
B	50	0.40	0.1	100	500
C	20	0.40	0.2	50	100

(RNC, 1983)

El período de retorno puede ser estimado de manera bastante aproximada por medio de la siguiente ecuación:

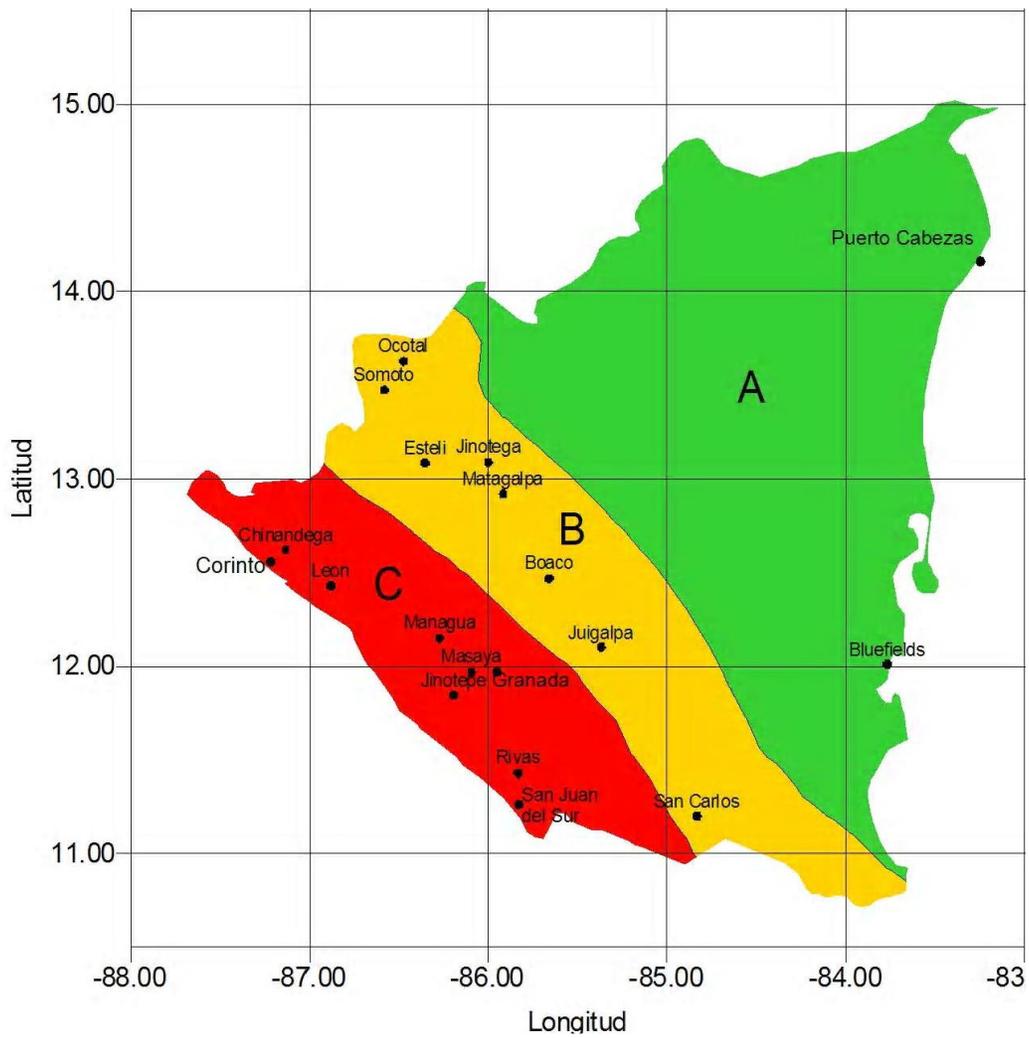
$$T = \frac{1}{1 - (1 - R)^{1/t}}, \text{ para } R = (0,1)$$

Donde,

T: Período de retorno en años (ver **tabla 43**)

t: Vida económicamente útil de la estructura (años).

R: Riesgo probabilístico de excedencia en función del tipo de daño esperado en la edificación.



Mapa 2.- MAPA DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE NICARAGUA
FUENTE: TOMADO DEL REGLAMENTO NACIONAL DE CONSTRUCCIÓN, (2007)

Anexos

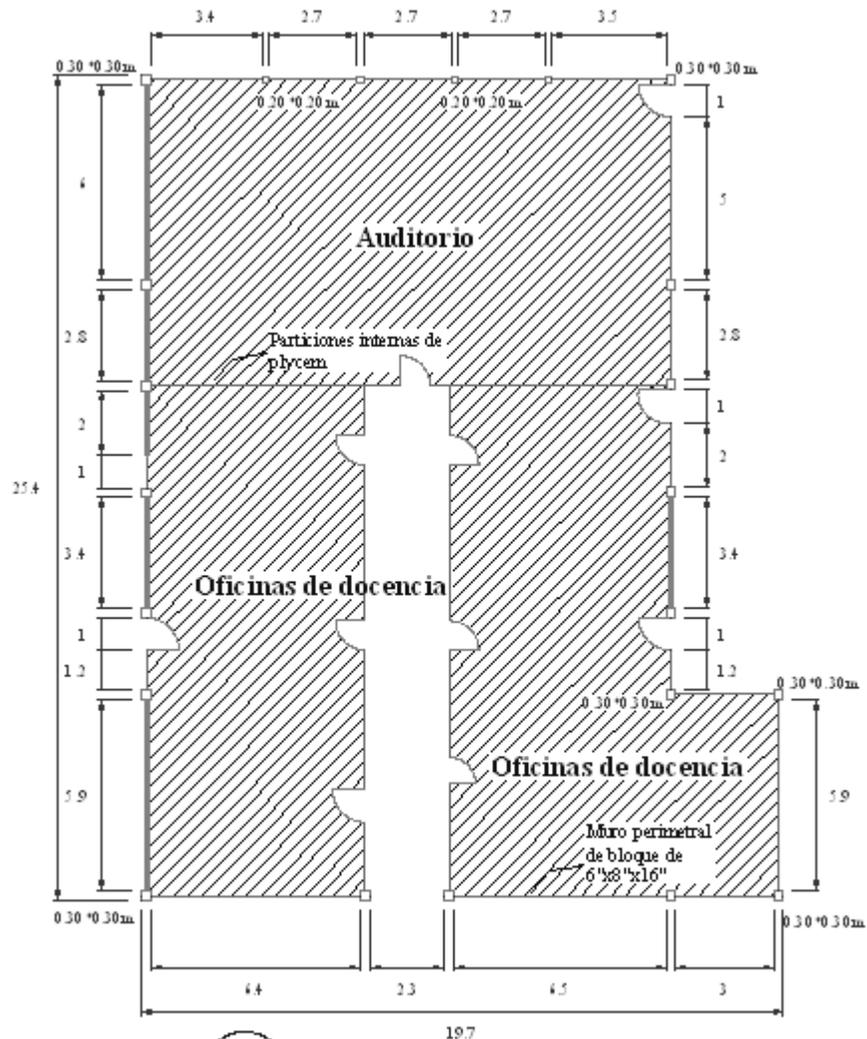
ID de instalación: _____

Nombre de instalación: _____

Ítem	Elemento no Estructural	Localización	Cantidad	Nivel del Riesgo			Costo Estimado de Pérdida	
				Vidas*	Bienes Muebles**	Función***	Unitario (C\$)	Subtotal (C\$)
1	Muebles*/**							
2	Televisor*/**							
3	Mural**							
4	Elementos cortantes*							
5	Ventanas*							
6	Estantes**							
7	Gabinetes**							
8	Cielos rasos*							
9	Particiones ligeras**/*							
10	Generador eléctrico***							
12	Sistemas de soporte de vida*							
13	Central Telefónica***							
14	Computadoras**/*							
15	Aires acondicionados*/**							
16	Abanicos*/**							
17	Conductos de gases tóxicos/médicos*/**/*							
18	Líquidos corrosivos/peligrosos*/**							
19	Otras sustancias químicas*							
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								
33								

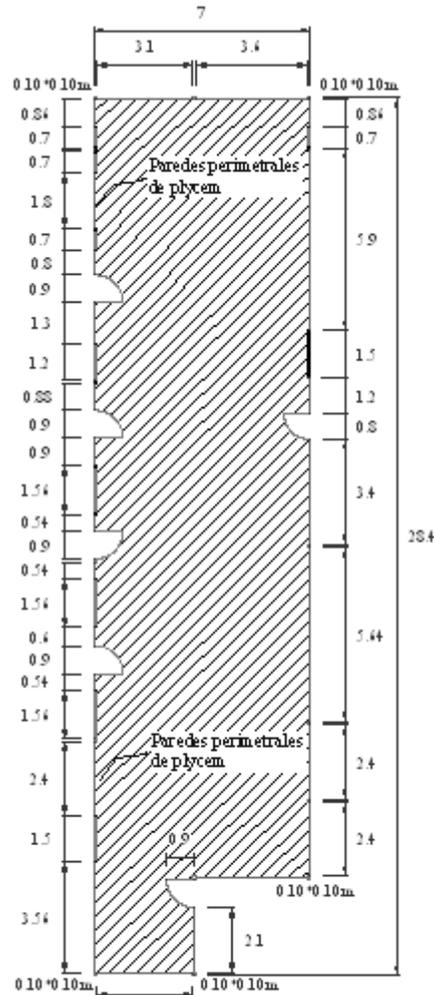
5.- PLANOS ESTRUCTURALES

Edificio N° 1:



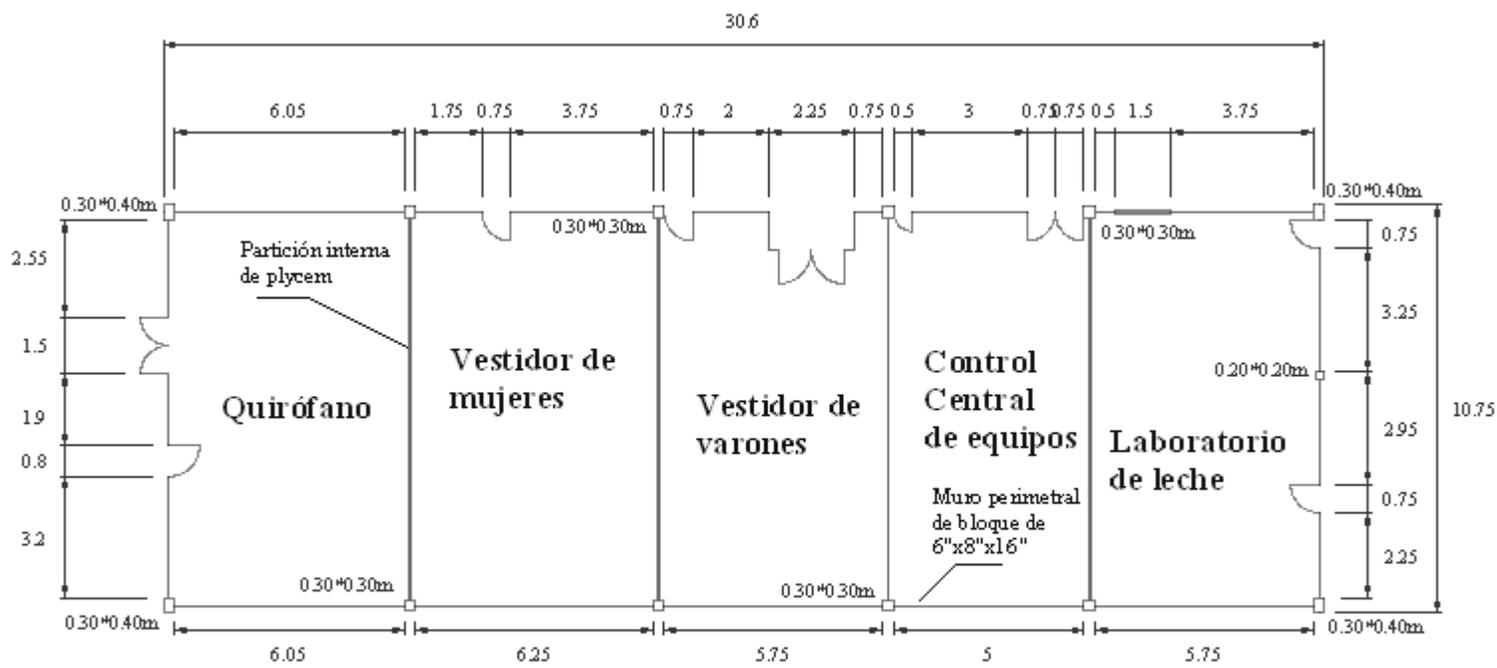
1 Módulo de Docentes

Edificio N° 3:



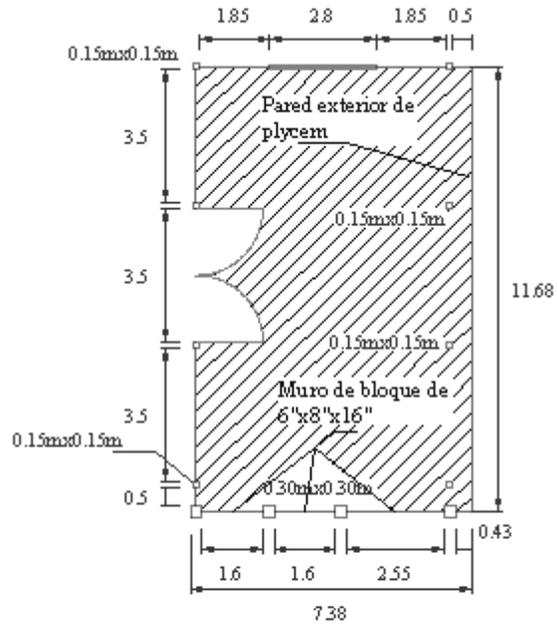
3 Oficinas de Administración

Edificio N° 6:



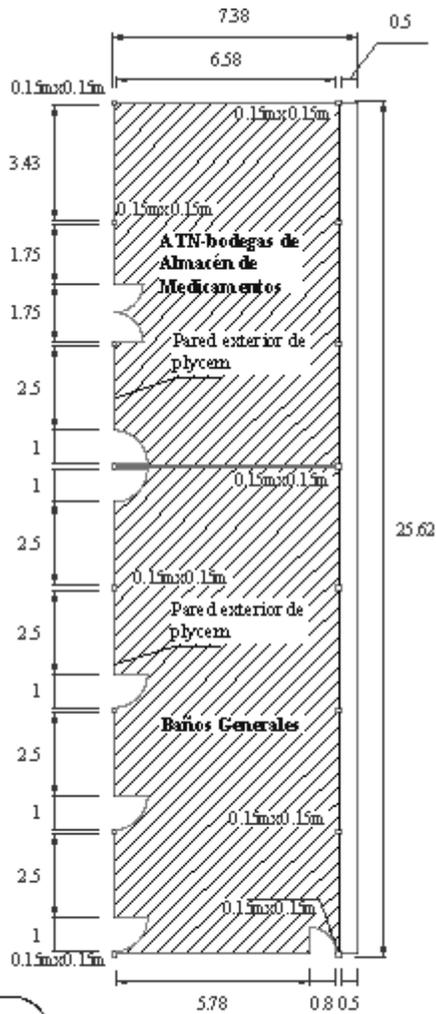
6 Quirófano

Edificio N° 7:



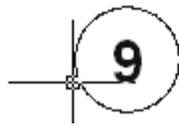
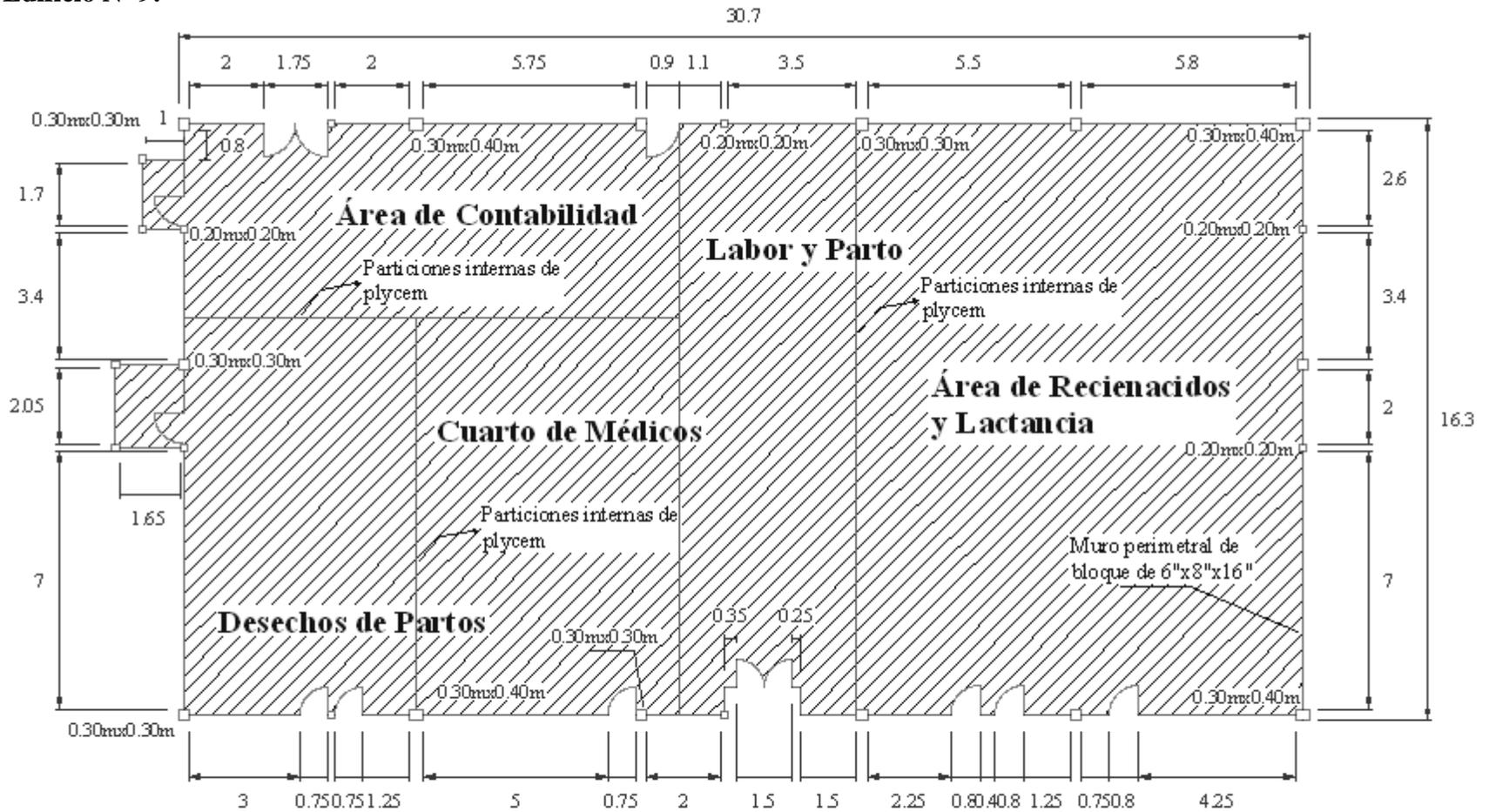
7 Planta Eléctrica de Emergencia

Edificio N° 8:



8 Edificio de Baños y Bodega

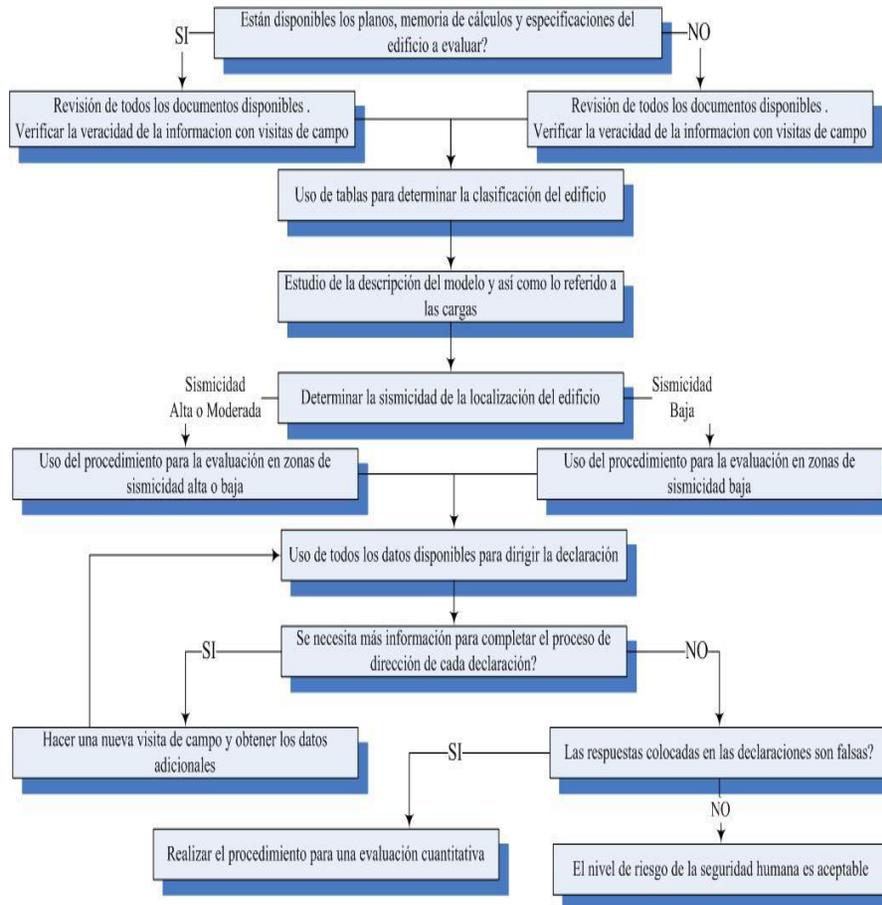
Edificio N° 9:



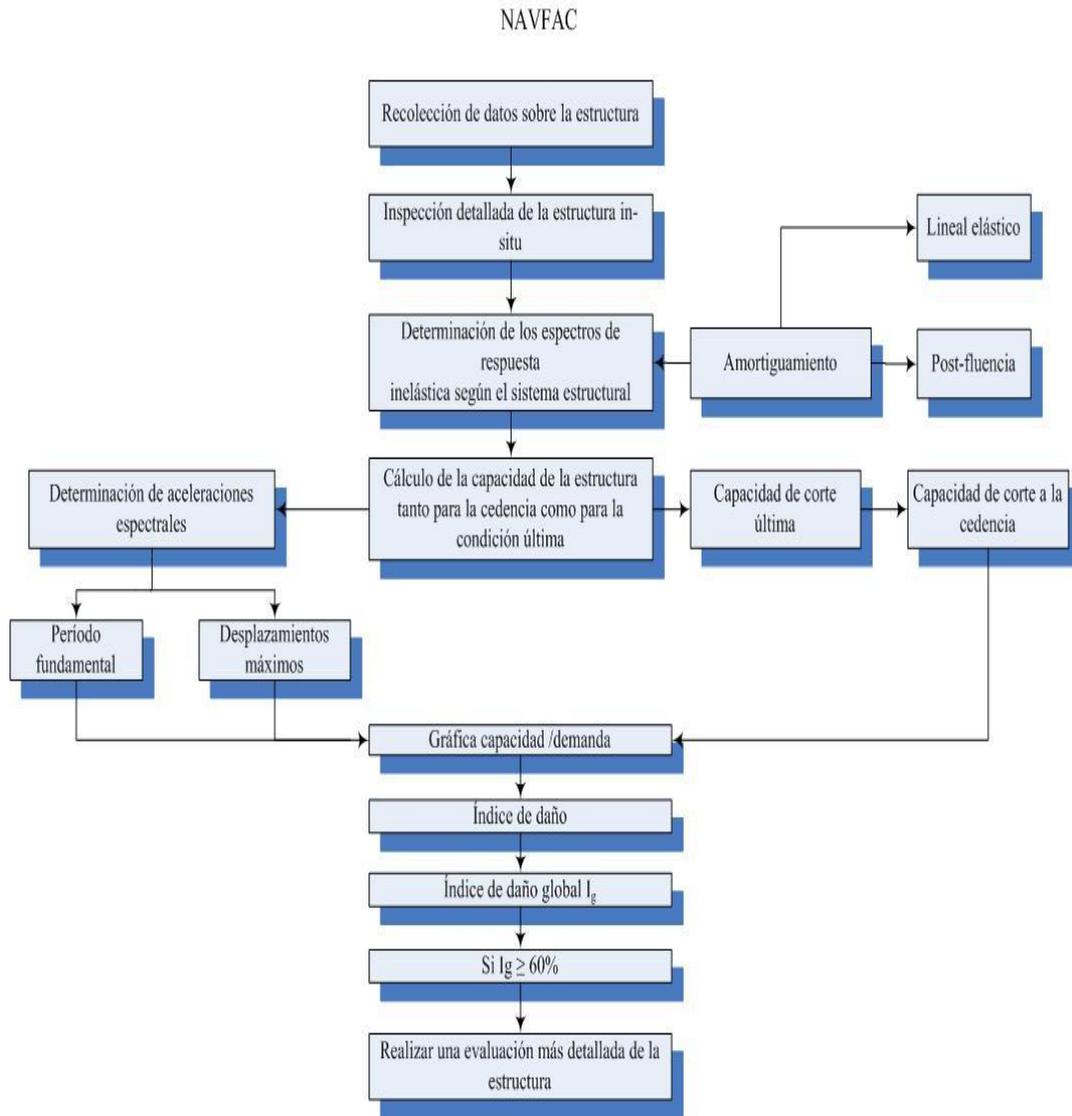
Edificio de Labor y Parto

6.- FLUJOGRAMAS DE METODOLOGIAS DE VULNERABILIDAD SISMICA

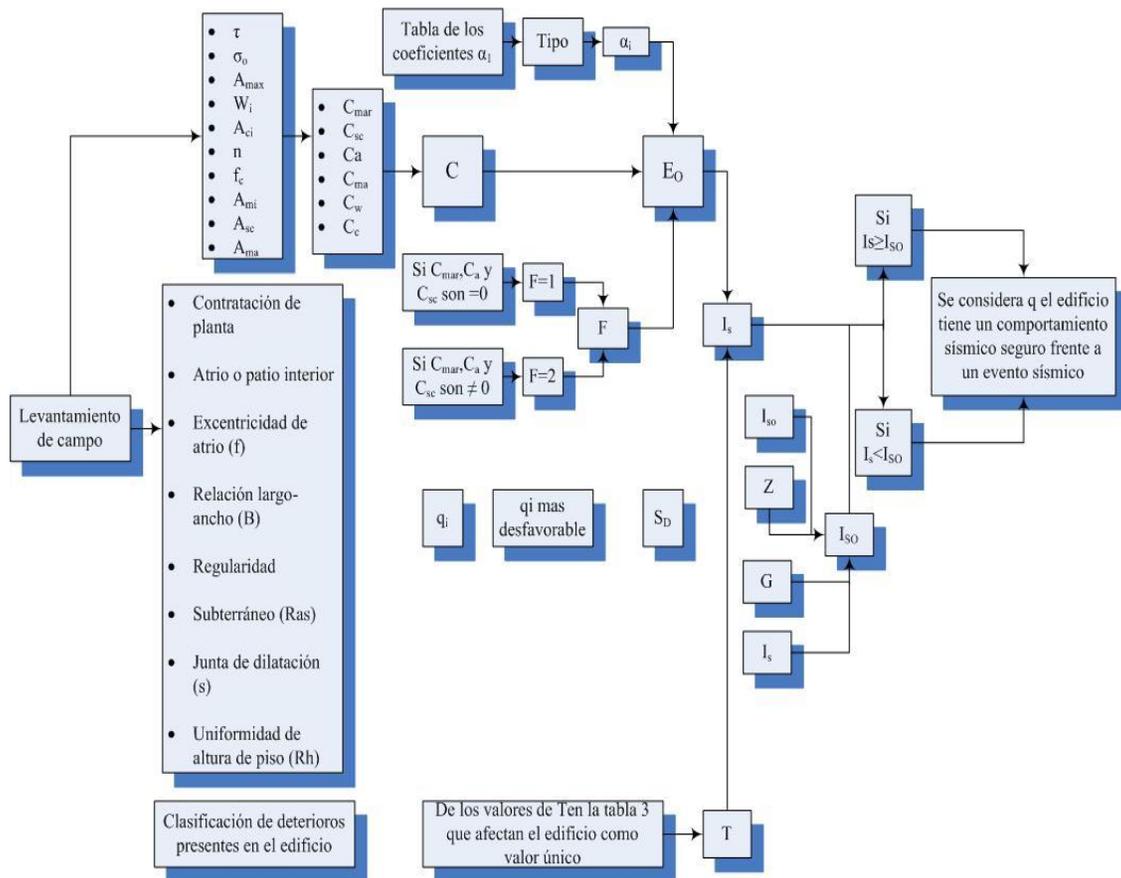
ATC-14



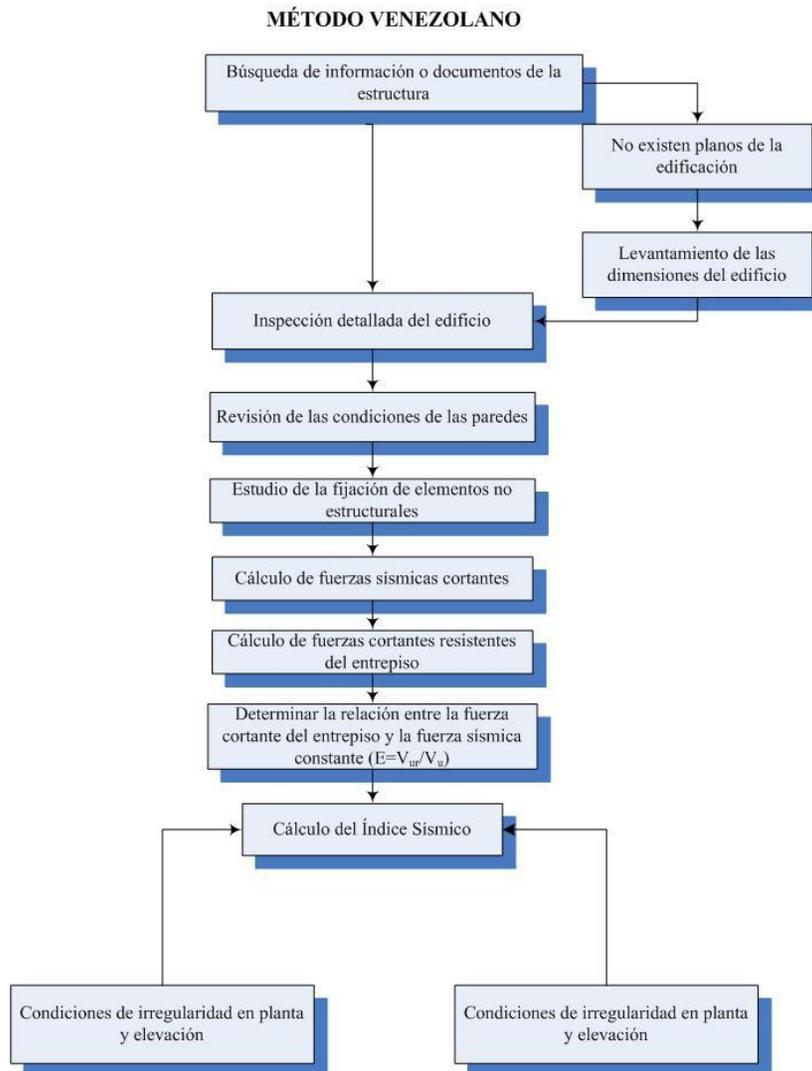
Flujograma No. 1



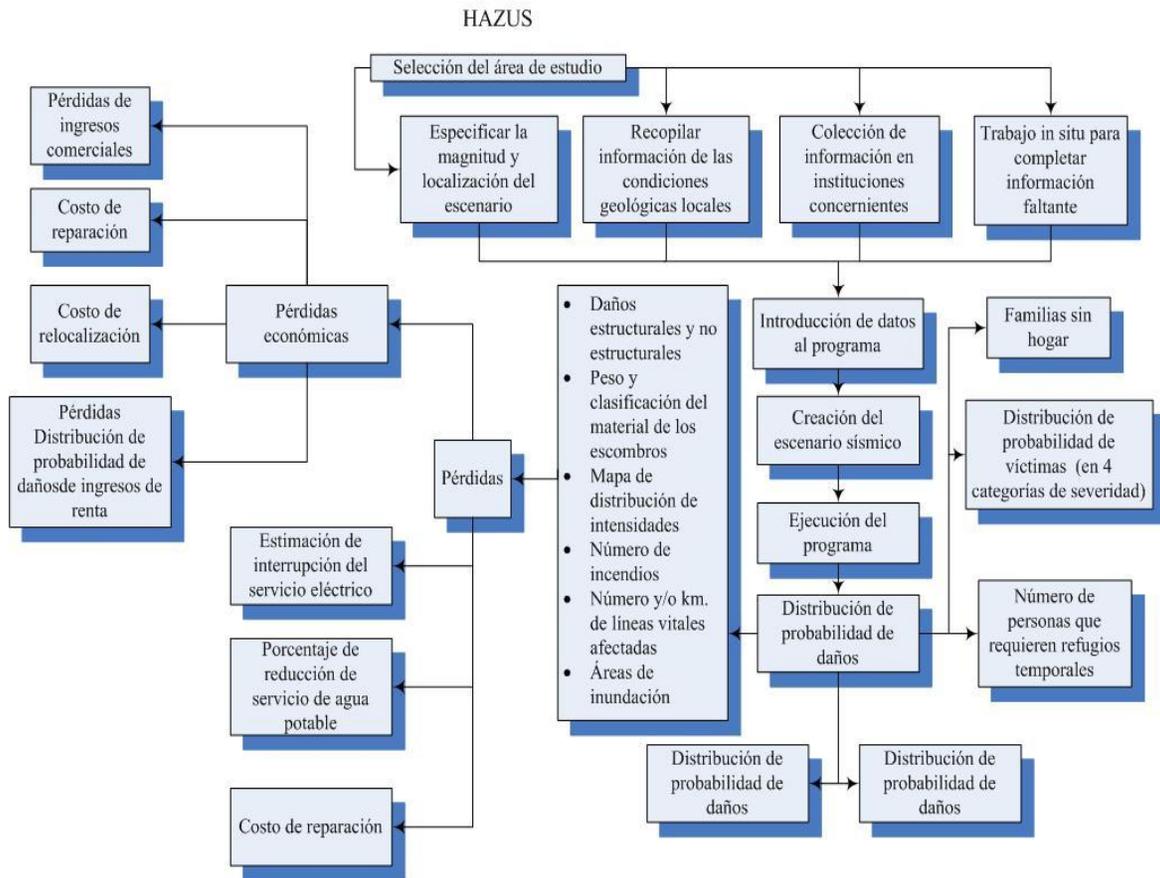
Flujograma No. 2



Flujograma No. 3



Flujograma No. 4



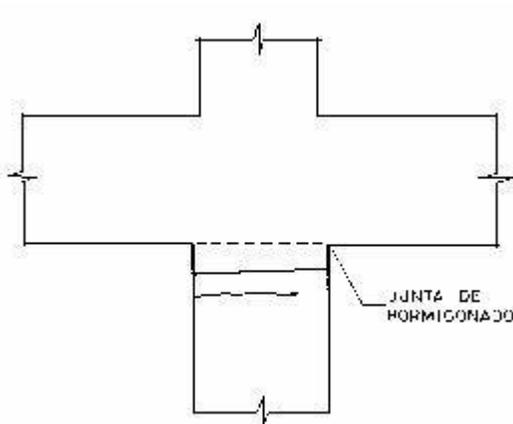
Flujograma No. 7

7.- Mini-Catálogo de evaluación de daños

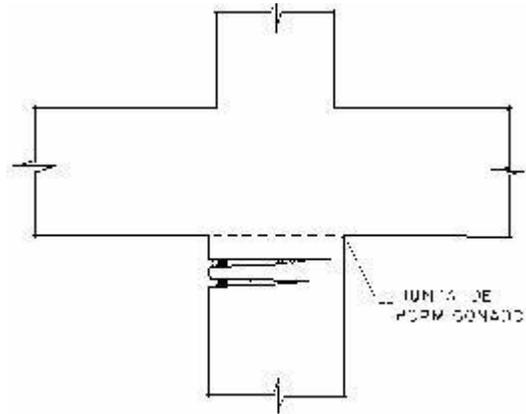
7.1.- Fisuras en Columnas

- a) *Columnas de planta baja*: tienen que soportar todo el peso de la edificación y evitar que se desplace, quedando sometidos a fuertes momentos y cortantes, por ello se les debe prestar atención durante la evaluación.
- b) *Parte superior de columnas*: en esta zona el concreto suele tener menor resistencia en comparación con otras partes del miembro estructural, ya que durante el vibrado del concreto el árido fino y la lechada se acomodan en la parte alta del miembro, siendo más pronunciado este efecto en columnas esbeltas.
- c) *Columnas de esquinas y de fachadas*: El tipo de rotura más frecuente es por aplastamiento del concreto en la cabeza de esta por acción de esfuerzos de corte que producen fisuras en el miembro.

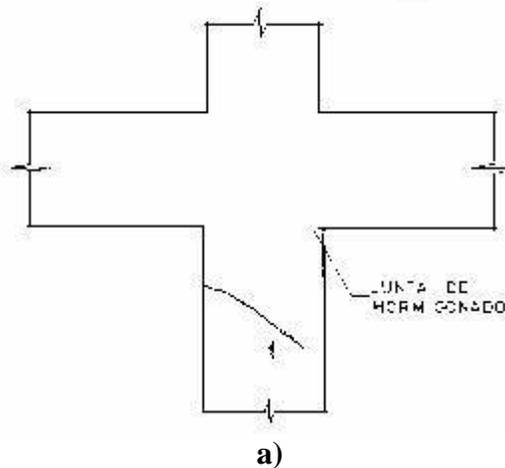
Fisuras que pueden aparecer en la cabeza de columnas:



- 1. Fisura ortogonal a la directriz.
- 2. Ancho muy grande, hasta 2 mm.



- 1. Fisura ortogonal a la directriz
- 2. Ancho muy grande, 3-6mm, que permite, frecuentemente, ver la armadura.



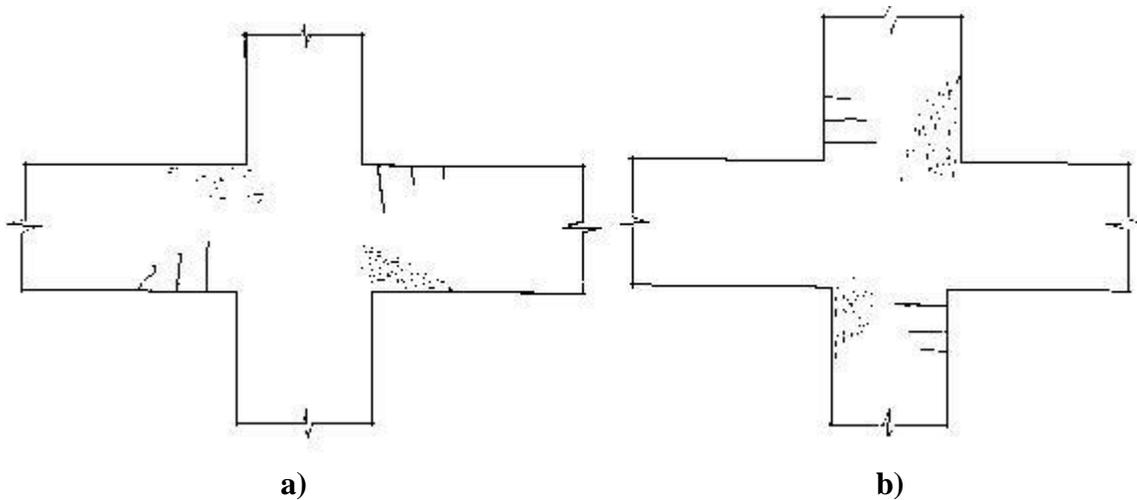
a) Agrietamiento inclinado de columnas, provocado por tensión diagonal. En la mayoría de los casos estas grietas se orientan en dos direcciones y forman una cruz, por efecto de la inversión de esfuerzos; en otros casos las grietas se orientan en una sola dirección, sobre todo en estructuras que sufren asentamientos diferenciales antes o durante el terremoto.

- 1.- Fisuras inclinadas respecto a la directriz.
- 2.- Ancho muy alto 0,3 - 1,0 mm.

Posibles Causas

- ✓ Fisuras debidas a defectos locales, tales como baja resistencia del hormigón en cabeza de columna, estribos con disposición inadecuada para zonas sísmicas, etc., que son puestos en evidencia por la acción sísmica.
- ✓ Dimensionamiento inadecuado para resistir esfuerzos producidos por la acción sísmica.

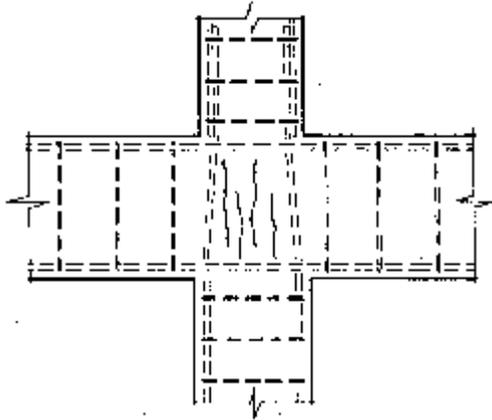
7.2.- Fisuras en Nudos



- a) Desprendimiento y desmoronamiento del concreto en la parte inferior de vigas cerca de la unión con columnas, como consecuencia del exceso de compresión por flexión y de pandeo del acero de refuerzo del lecho inferior de las vigas. En algunos casos se puede observar que existe el mismo tipo de daño en las partes superior e inferior de las vigas, causado por inversión de momentos flectores.
- b) Desprendimiento y desmoronamiento del concreto en columnas, así como pandeo del acero de refuerzo, como consecuencia de la repetida inversión de esfuerzos y las grandes deformaciones provocadas por el terremoto.
- 1.- Fisuras de flexión, generalmente varias y paralelas, en caras opuestas de pilares o vigas.
 - 2.- Zonas de fisuración fina o deslaminación del concreto en caras opuestas de columnas o vigas.

Possible causa:

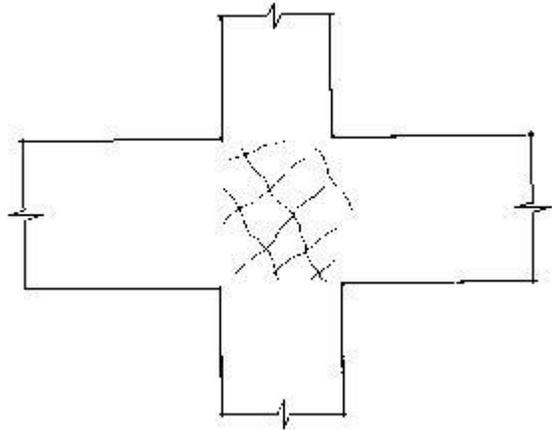
- ✓ Dimensionamiento inadecuado para resistir los esfuerzos producidos por la acción sísmica.



- 1.- Una o varias fisuras paralelas.
- 2.- Ancho importante (0,3 a 0,5 mm.).
- 3.- Dirección paralela a la directriz del pilar.

Posibles Causas:

- ✓ Ausencia o insuficiencia de cercos del pilar en el nudo, en zonas con acción sísmica (agotamiento en compresión del hormigón del nudo).

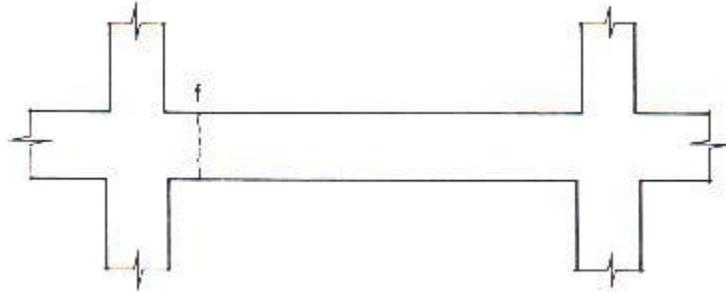


- 1.- Fisuras de ancho variable, ordenadas en dos familias en la dirección de las diagonales del nudo.

Posibles Causas:

- ✓ Esfuerzos por acciones sísmicas dentro del nudo, cuando la cuantía del armado del acero de la columna, contenida en el nudo, es insuficiente para resistir esfuerzos cortantes.

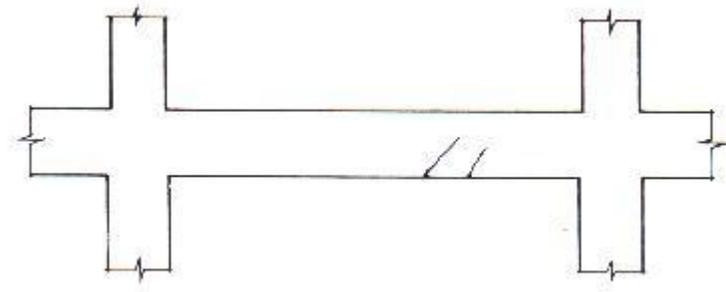
7.3.- Fisuras en Vigas



- 1.- Fisura vertical, seccionando generalmente la sección completa.
- 2.- Posición próxima al nudo
- 3.- Ancho variable, pero generalmente constante en todo el canto

Posibles Causas:

- ✓ La causa es el momento flector alternativo producido por la acción sísmica.



a)

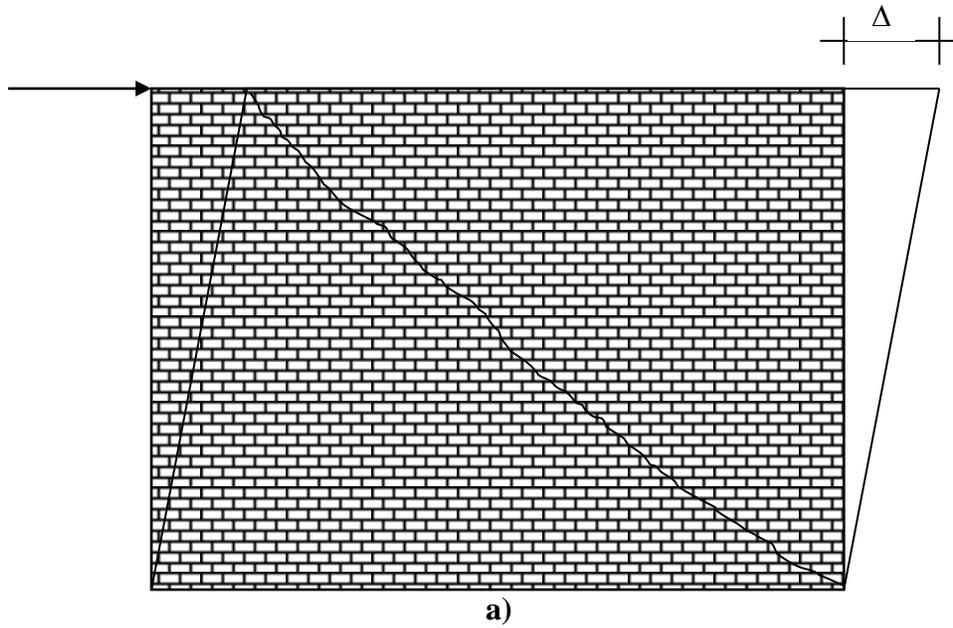
a) Desmoronamiento inclinado de las vigas en la proximidad de sus extremos debido a la *tensión diagonal*. En ocasiones aparecen dos grietas formando una cruz, como consecuencia de la inversión de esfuerzos.

- 1.- Fisuras inclinadas
- 2.- Ancho variable
- 3.- Apertura máxima a nivel de la armadura de tracción

Posibles Causas:

- ✓ Esfuerzos cortantes producidos por las acciones sísmicas.

4.- Fisuras en Muros



a) Agrietamientos, diagonales en cruz en muros de carga o de relleno provocados por tensión diagonal por haber un exceso de carga en ambos sentidos.

|