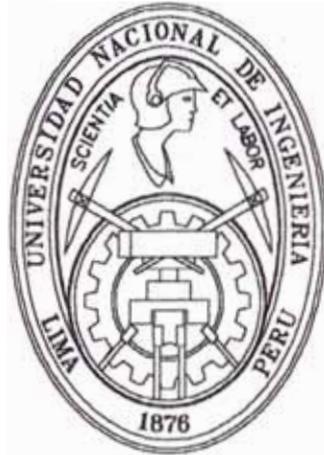


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**COMPARACIÓN DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE EDIFICACIONES
ESCOLARES DISEÑADAS CON LAS NORMAS
SISMORRESISTENTES DE 1997 Y 1977. (AFECTADOS POR EL SISMO
DEL 23 DE JUNIO DEL 2001, REGIÓN SUR – AREQUIPA)**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

PETER FRANK MARTEL VARGAS

**LIMA – PERU
2004**

ÍNDICE

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN	01
Capítulo 2 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	02
2.1 El problema	02
2.1.1 <i>El problema</i>	02
2.1.2 <i>Formulación del problema</i>	02
2.2 Objetivos del estudio	03
2.2.1 <i>Objetivo general</i>	03
2.2.2 <i>Objetivo específico</i>	03
2.3 Hipótesis y variables	03
2.3.1 <i>Hipótesis</i>	03
2.3.2 <i>Variables</i>	04
2.3.2.1 <i>Variables independientes</i>	04
2.3.2.2 <i>Variables dependientes</i>	04
2.4 Marco teórico y conceptual	04
2.4.1 <i>Antecedentes del problema</i>	04
2.4.2 <i>Bases teóricas</i>	05
2.4.2.1 <i>Generación de los sismos</i>	05
2.4.2.2 <i>Efectos de los sismos sobre las estructuras</i>	05
2.4.2.3 <i>La estructuración sismorresistente</i>	06
2.4.2.4 <i>Fallas más comunes en edificaciones</i>	07
2.4.3 <i>Sistemas estructurales para cargas sísmicas</i>	08
2.4.3.1 <i>Sistemas aporticados</i>	08
2.4.3.2 <i>Sistemas de muros, solos o acoplados</i>	08
2.4.3.3 <i>Sistemas mixtos, duales o híbridos</i>	08
2.4.4 <i>Factores a considerar en el diseño sísmico</i>	09
2.4.4.1 <i>La configuración de una edificación</i>	09
2.4.4.2 <i>Condiciones locales</i>	10
2.4.4.3 <i>Tipo de edificación (funcional)</i>	10
2.4.4.4 <i>Condiciones geotécnicas</i>	11
2.4.4.5 <i>El comportamiento sísmico de la estructura</i>	11

Capítulo 3 INFORMACIÓN BÁSICA	12
3.1 Revisión bibliográfica	12
3.2 “Norma Básica de Diseño Sismo – Resistente”, 1977	12
3.3 Norma Técnica de Edificación E.030 “Diseño Sismorresistente”, 1997	23
3.4 Comparación de los parámetros técnicos en cada norma	43
3.4.1 <i>Análisis de la situación actual</i>	43
3.4.2 <i>Alcances y objetivos</i>	43
3.4.3 <i>Parámetros de sitio: Zonificación sísmica, factor de Zona (Z)</i>	44
3.4.4 <i>De la categoría de las edificaciones: Coeficiente (U)</i>	46
3.4.5 <i>De las condiciones geotécnicas: factor (S), factor de amplificación sísmica (C)</i>	48
3.4.6 <i>Del sistema estructural</i>	49
3.4.7 <i>El coeficiente sísmico</i>	51
3.4.8 <i>Control de desplazamientos laterales</i>	61
3.4.9 <i>Análisis de edificaciones</i>	67
3.4.10 <i>Observaciones</i>	67
3.5 Sismo ocurrido en la región sur de Arequipa el 23 de Junio del 2001	68
3.6 Intensidades y sismicidad en la región	69
Capítulo 4 ESTRUCTURAS EN ESTUDIO	71
4.1 Centros Educativos	71
4.1.1 <i>Centro educativo Chucarapi (Islay – Arequipa)</i>	73
4.1.2 <i>Centro educativo José María Morante (Ocoña – Arequipa)</i>	73
4.1.3 <i>Centro educativo Upis Paisajista (Hunter – Arequipa)</i>	73
4.1.4 <i>Centro educativo N° 40199 (Socabaya – Arequipa)</i>	74
4.1.5 <i>Centro educativo N° 40052 (Cayma – Arequipa)</i>	74
4.2 Configuración de los centros educativos	74
4.3 Estructuración de los centros educativos	75
4.3.1 <i>Centro educativo Chucarapi (Islay – Arequipa), Centro Educativo José María Morante (Ocoña – Arequipa)</i>	75
4.3.2 <i>Centro educativo Upis Paisajista (Hunter – Arequipa)</i>	81
4.3.3 <i>Centro educativo N° 40199 (Socabaya – Arequipa), Centro Educativo N° 40052 (Cayma – Arequipa)</i>	83
Capítulo 5 RESPUESTA SÍSMICA DE LAS ESTRUCTURAS EN ESTUDIO	85
5.1 Respuesta de los centros educativos, durante el sismo ocurrido en la región sur de Arequipa el 23 de junio del 2001	85
5.1.1 <i>Centro educativo Chucarapi (Islay – Arequipa)</i>	85
5.1.2 <i>Centro educativo José María Morante (Ocoña – Arequipa)</i>	86
5.1.3 <i>Centro educativo Upis Paisajista (Hunter – Arequipa)</i>	88
5.1.4 <i>Centro educativo N° 40199 (Socabaya – Arequipa)</i>	89
5.1.5 <i>Centro educativo N° 40052 (Cayma – Arequipa)</i>	90

Capítulo 6 ANÁLISIS SÍSMICO	91
6.1 Descripción de los modelos estructurales	91
6.1.1 <i>Módulo 3Aulas/3Aulas del sistema 780/1977</i>	92
6.1.2 <i>Módulo 3Aulas/3Aulas del sistema 780/1997</i>	94
6.2 Análisis de la situación actual	96
6.3 Respuesta sísmica de centros educativos sistema 780	97
6.3.1 <i>Parámetros sísmicos 1997</i>	97
6.3.2 <i>Modelo Módulo 3Aulas/3Aulas Sistema 780 Norma 1977</i>	104
6.3.3 <i>Modelo Módulo 3Aulas/3Aulas Sistema 780 Norma 1997</i>	107
6.4 Análisis de rigideces y desplazamientos permitidos	109
I. <i>Centros Educativos</i>	109
II. <i>Estructura Categoría B</i>	111
Capítulo 7 EVALUACIÓN DE RESULTADOS	114
7.1 Análisis comparativo	114
7.1.1 <i>Comportamiento Sísmico</i>	114
7.1.1.1 Comparación de los períodos obtenidos para cada forma de modo	114
7.1.1.2 Comparación de las masas de participación modal	117
7.1.1.3 Comparación de los desplazamientos relativos elásticos calculados	118
7.1.1.4 Comparación de los desplazamientos relativos inelásticos calculados	119
7.1.1.5 Comparación de las distorsiones esperadas	120
7.1.1.6 Comparación de las rigideces elásticas calculadas	121
7.1.2 <i>Costos</i>	122
7.1.3 <i>Funcionalidad</i>	123
7.2 Resultados relevantes	124
7.3 Verificación de hipótesis	125
Capítulo 8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	126
8.1 Conclusiones	126
8.1.1 <i>Del análisis sísmico</i>	126
8.1.2 <i>Del análisis económico</i>	127
8.1.3 <i>De la funcionalidad</i>	128
8.2 Recomendaciones	128
Revisión bibliográfica	129
Anexos	131
Anexo 1 Fotografías	132
Anexo 2 Planos	150
Anexo 3 Ficha técnica de los modelos y resultados	151
Anexo 4 Presupuesto	162

Capítulo 1 **INTRODUCCIÓN**

La presente investigación evalúa la respuesta sísmica de estructuras educativas, diseñadas y construidas cumpliendo las especificaciones de la Norma Básica de Diseño Sismo – Resistente 1977, comparándola con la Norma Técnica de Edificación E.030 1997, y así reflejar las diferencias entre cada una de ellas.

En el capítulo dos se define la metodología empleada en la investigación, planteando el problema que se busca resolver y el marco teórico conceptual. Como información básica, en el capítulo tres se hace uso de las especificaciones de la Norma Básica de Diseño Sismo - Resistente 1977 y de la Norma Técnica de Edificación E.030 “Diseño Sismorresistente” 1997, para luego comparar sus parámetros técnicos, a su vez se muestran las características del sismo ocurrido en la región sur de Arequipa del 2001.

En el capítulo cuatro se describe cada una de las estructuras educativas dentro del estudio, su ubicación, configuración y estructuración modulada. La respuesta sísmica de estas estructuras se detalla a continuación en el capítulo cinco, y en el capítulo seis se muestra la descripción y el análisis sísmico de dos modelos representativos (modelo módulo 780 N-77 y modelo módulo 780 N-97), empleando el espectro de aceleraciones, resultado de la aplicación de la Norma Técnica de Edificación E.030 1997. En el capítulo siete se realiza un análisis comparativo del comportamiento sísmico de los modelos estudiados, de sus costos y su funcionalidad; además de verificar las hipótesis planteadas, de este modo se evalúan los resultados obtenidos.

Por último en el capítulo ocho se presentan las conclusiones y recomendaciones que son resultados de la investigación.

Esta investigación se desarrolló con el fin de obtener el título profesional de Ingeniero Civil y como una contribución en el área de la ingeniería sismorresistente al determinar las mejoras estructurales en los centros educativos construidos aplicando la Norma Técnica de Edificación E.030 “Diseño Sismorresistente” 1997, así como también el incremento en costos, con respecto a los centros educativos diseñados y construidos con la Norma Básica de Diseño Sismo - Resistente 1977.

Capítulo 2 **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

2.1 El problema

2.1.1 *El problema*

Las normas sismorresistentes en el Perú han tenido un desarrollo progresivo; siendo revisadas y actualizadas por un comité de profesionales e investigadores, representantes de instituciones de control líderes en el campo de la ingeniería sismorresistente.

Las normas tienen un proceso de evolución, este proceso trae consigo interrogantes. Algunas interrogantes que dieron origen a la presente investigación, son las que mostramos a continuación:

¿Qué consideraciones se tomaron en cuenta para realizar los cambios en la Norma Básica de Diseño Sismo – Resistente 1977 (N-77), en el aspecto de respuesta sísmica?

¿Qué grado de seguridad se gana con la Norma Técnica de Edificación E.030 1997 (N-97) con relación a la N-77?

¿Cuál fue el comportamiento sísmico estimado para las edificaciones con cada una de las normas de Diseño Sísmico?

¿En que costo, influyen los cambios realizados en la N-77 con respecto a la N-97?

¿Cuál fue el comportamiento de las edificaciones diseñadas cumpliendo las normas en un evento sísmico?

Dichas preguntas fueron tomadas en cuenta por el comité de las normas sismorresistentes de modo tal que se redujese el riesgo de pérdida de vidas humanas en el caso de ocurrencia de un sismo, mejorando así el comportamiento sísmico de las edificaciones.

2.1.2 *Formulación del problema*

Las siguientes interrogantes resumen el problema que se busca resolver:

¿Qué relación existe entre cada norma: N-77, N-97?

¿Qué respuesta sísmica tuvieron los centros educativos diseñados con estas normas frente a un evento real y que respuesta se esperaba, con cada una de las normas?

¿Cuál es la relación beneficio / costo, al cumplir los cambios de la N-97 vs La N-77?

¿Cuál fue el costo de reparación de edificaciones diseñadas siguiendo las especificaciones de la N-77?

¿Qué ventajas y desventajas presenta la N-97?

2.2 Objetivos del estudio

2.2.1 *Objetivo general*

El conocimiento de las mejoras y ventajas en el comportamiento sísmico, logrados en las edificaciones construidas siguiendo las especificaciones de la N-97, frente a la N-77.

2.2.2 *Objetivo específico*

Evaluación de la influencia de la N-97 en el comportamiento sismorresistente de edificaciones orientadas a cumplir una función esencial (en este caso centros educativos INFES).

El análisis y estudio de los parámetros considerados para su elaboración y su comportamiento en un evento sísmico (sismo ocurrido el 23 de junio del 2001 región sur - Perú).

Comparación del comportamiento sísmico de las edificaciones diseñadas siguiendo las especificaciones de la N-97 frente a la N-77, para edificaciones escolares.

Evaluación del Beneficio / costo, estimando el incremento del costo debido al cumplimiento de las exigencias de la N-97 y los costos de reparación que se requieren después de un sismo severo, en comparación a las edificaciones realizadas con la N-77.

2.3 Hipótesis y variables

2.3.1 *Hipótesis*

- La mejora del comportamiento sísmico de las edificaciones al aplicar las especificaciones de diseño de la N-97 con respecto a la N-77.
- La disminución de los daños causados por la ocurrencia de un sismo severo.
- Menores costos de reparaciones por efectos sísmicos, en las edificaciones construidas con la N-97.

2.3.2 *Variables*

2.3.2.1 *Variables independientes*

- El sismo
- La configuración de una edificación
- La estructuración sísmica (sistema estructural)
- Los elementos resistentes en la edificación
- Condiciones locales
- Tipo de edificación (funcional)
- Condiciones geotécnicas

2.3.2.2 *Variables dependientes*

- El comportamiento sísmico de la estructura
- Fallas estructurales

2.4 **Marco teórico y conceptual**

2.4.1 *Antecedentes del problema*

El Perú es un país ubicado dentro de una zona sísmicamente activa, donde las estructuras deben construirse siguiendo los criterios de diseño sismorresistentes, aceptando que durante su vida útil la estructura experimentará al menos un sismo de gran intensidad, varios sismos de moderada intensidad, y además que algunos de los elementos del sistema estructural puedan experimentar un comportamiento en el rango inelástico, soportando grandes deformaciones que disipen la energía inducida por el terremoto.

Como producto de este fenómeno, se espera, para el caso de sismos moderados, se presenten daños en los elementos no estructurales como tabiquería, paneles, etc. que puedan repararse. Asimismo, el criterio de diseño sismorresistente acepta, en caso de sismos severos, se presenten daños estructurales, pero no colapso.

En el año 2003, se promulgo la Norma de Diseño Sismorresistente NTE E.030 2003 dejando sin efecto la N-97, la cual fue precedida por la N-77.

2.4.2 Bases teóricas

2.4.2.1 Generación de los sismos

Los sismos o terremotos, son vibraciones de la corteza terrestre. Estos se generan por diversos fenómenos, factores naturales y artificiales tales como: la actividad volcánica, caída de techos de cavernas, explosiones, por movimientos tectónicos, entre otros.

Desde el punto de vista de la ingeniería tenemos como los más importantes, los de origen tectónico "que se deben a desplazamientos bruscos de las grandes placas en la que está subdividida la corteza. Las presiones que se generan en la corteza por los flujos de magma desde el interior de la tierra llegan a vencer la fricción que mantiene en contacto los bordes de las placas y producen caídas de esfuerzos y liberación de enormes cantidades de energía almacenada en la roca"(3) como la superficie de la tierra no aumenta, es necesaria la existencia de procesos de destrucción y creación de litósfera; las que tienen lugar en los encuentros de las placas, pudiéndose producir el fenómeno de subducción en el que una placa se introduce debajo de otra placa superior, penetrando en la astenósfera, provocando elevadas presiones, que junto con las grandes temperaturas hacen que esta energía sea absorbida. La mayor parte de la energía que se almacena se libera en forma de ondas vibratorias, debido a los grandes esfuerzos, en distintas partes de la litósfera; estas zonas se conocen con los nombres de Wadatti – Benioff.

Los sismos poseen una naturaleza diversa pudiendo ocurrir hasta profundidades de 700 km aprox. El mejor ejemplo en nuestro medio de generación de sismos lo constituye la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sur Americana, teniendo el sismo más significativo en los últimos años, el ocurrido el 23 de Junio del 2001 en la región sur Arequipa ($M_s = 8.2$, $M_w = 8.4$).

2.4.2.2 Efectos de los sismos sobre las estructuras

Es la vibración de la corteza terrestre la que pone en peligro las estructuras, específicamente las edificaciones (en nuestra investigación edificaciones escolares), es así que en las edificaciones se generan fuerzas de inercia que inducen esfuerzos importantes en la estructura, pudiendo ocasionar la falla.

La energía liberada por un sismo, se propaga mediante diversos tipos de onda como son: las ondas P, S, Love y Rayleigh. Siendo las tres últimas las de mayor importancia para el diseño de estructuras (16). Existen otros fenómenos relacionados con los

efectos sísmicos, como: la licuación de suelos, deslizamiento de laderas, grietas en los suelos, fallas del terreno, etc.

2.4.2.3 La estructuración sismorresistente

En un diseño sísmico la estructuración es una de las partes más importante: "puesto que no se puede lograr que un edificio mal estructurado se comporte satisfactoriamente ante un sismo"(3) teniendo muy en cuenta que existen muchas edificaciones del pasado que han soportado satisfactoriamente sismos de gran intensidad debido a su excelente configuración arquitectónica y estructuración, como las siguientes construcciones que datan de épocas pasadas: El Partenón de Atenas, El Panteón, Santa Sofía (Estambul), etc. (16)

La configuración de la estructura queda definida en buena parte por el proyecto arquitectónico, haciendo necesaria la interacción entre el proyectista arquitectónico y el proyectista estructural, debido a que la configuración en zonas sísmicas tienden a edificios regulares y robustos, por ello se deben conjugar las necesidades arquitectónicas, y estructurales para lograr proyectos funcionales, seguros y estéticamente atractivos.

En general existen requisitos básicos para una buena estructuración:

1. La edificación debe poseer una configuración de elementos estructurales, los cuales le den resistencia y rigidez a las cargas laterales en cualquier dirección a la que estaría sujeta la estructura, lo cual se logra con sistemas resistentes en dos direcciones ortogonales.
2. La configuración de los elementos estructurales debe permitir un flujo regular, continuo y eficiente de las fuerzas sísmicas, desde el punto donde se generan (los puntos donde existe fuerza de inercia) hasta el terreno.
3. Deben evitarse las amplificaciones vibratorias, solicitaciones concentradas, vibraciones torsionales las que son producidas por una mala configuración y en las que se crean irregularidades de masa, rigideces en planta o en elevación.
4. Los sistemas estructurales deben disponer de redundancia y capacidad de deformación inelástica y así disipar la energía introducida por sismos de gran intensidad evitando las fallas frágiles locales y globales.

2.4.2.4 Fallas más comunes en edificaciones

Columna Corta

Este tipo de falla se debe a concentraciones de esfuerzos en puntos críticos, en forma principal en las columnas. Esta falla se ha observado en los diferentes sismos ocurridos en nuestro país: 1971, 1980, 1996 (11), afectando en su gran mayoría a centros educativos debido a que, en su configuración arquitectónica, se contempla entre el pasadizo y las aulas unas ventanas altas, diseñadas para dar privacidad y generar una ventilación cruzada, quedando atrapadas columnas cortas en este eje; considerándose las columnas cortas un problema constructivo más que estructural, debido a que los parapetos no deberían entrar en contacto con los elementos estructurales.

Piso blando

Este tipo de falla es debido a la menor rigidez del piso con respecto a los pisos superiores (11) provocando así la falla por corte en los elementos resistentes.

Reducción brusca en planta

Este tipo de falla se origina por la irregularidad geométrica vertical, debido a una discontinuidad de las dimensiones de la estructura resistente a cargas laterales.

Excentricidad y torsión

Este tipo de falla es debido a que el centro de rigideces, eje en torno al cual tiende a rotar el edificio, y el centro de masas donde pasa la fuerza sísmica horizontal (H), no coinciden y están separados por la excentricidad (e), resultando un momento torsor en planta (M_t), que provoca vibraciones en el modo torsional y puede causar daños y fallas en el extremo flexible del edificio (11).

Falla por impacto

Este tipo de falla se da cuando la separación sísmica entre edificaciones vecinas es menor que la suma de desplazamientos de las estructuras, originándose un impacto, en muchos casos, este impacto supera la resistencia de los elementos estructurales (11).

2.4.3 Sistemas estructurales para cargas sísmicas

2.4.3.1 Sistemas aportricados

Este sistema es conveniente debido a que permite el uso del espacio.

Desde el punto de vista sísmico, una de sus ventajas es la ductilidad y capacidad de disipación de energía, lo que se puede lograr siguiendo los requisitos fijados para cada material estructural.

El mecanismo de falla que deben seguir estos tipos de estructuras es el de "viga débil – columna fuerte" (1), debido a que su comportamiento ante cargas laterales, está regido por las deformaciones de flexión de sus vigas y columnas. Este sistema presenta una resistencia y rigidez a cargas laterales relativamente bajas.

La alta flexibilidad de edificios con este sistema, da lugar a que el período fundamental resulte en general largo, ello es conveniente si el espectro de diseño tiene ordenadas que se reducen fuertemente para períodos largos. Otro problema que presentan estos tipos de sistemas es que los elementos no estructurales, son excedidos en su resistencia trayendo consigo fallas no estructurales.

2.4.3.2 Sistemas de muros, solos o acoplados

En casos prácticos, para dar a las edificaciones rigidez y resistencia ante cargas laterales, se recurre al uso de muros de concreto armado.

En nuestro medio es común el uso de placas en edificios de altura moderada donde los elementos resistentes son muros de mampostería con distintos tipos de refuerzo.

Una forma eficiente de lograr la rigidización es mediante el uso de muros acoplados por elementos horizontales de toda la altura de entepiso, formando un pórtico de gran proporción (1).

2.4.3.3 Sistemas mixtos, duales o híbridos

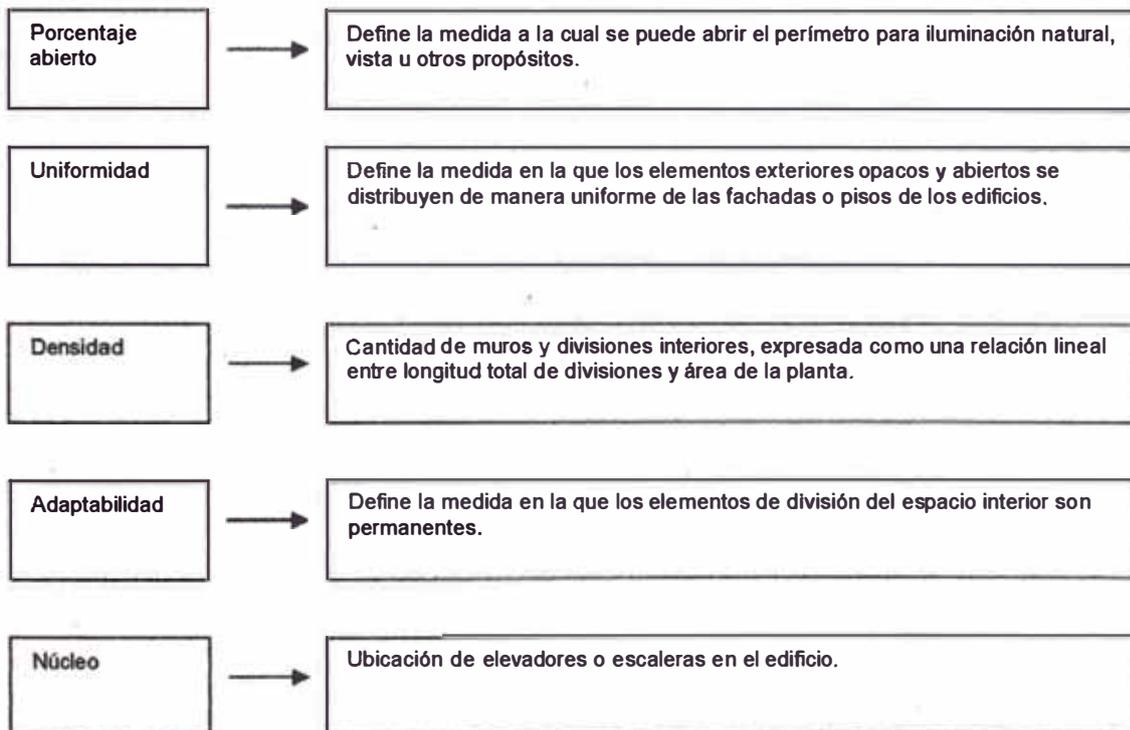
En este sistema las fuerzas horizontales, son resistidas por una combinación de pórticos y muros de concreto armado, en adición a la caja de ascensores o escaleras. Según la N-97 los pórticos deberán ser diseñados, para tomar por lo menos el 25% de la fuerza cortante de la base.

2.4.4 Factores a considerar en el diseño sísmico

2.4.4.1 La configuración de la edificación

La configuración de una edificación está relacionada con las partes que componen la estructura y le dan su peculiar figura; surge de una combinación de geometría pura, importancia sísmica y uso de la edificación. En la práctica la configuración se repite constantemente, pudiendo reducir el número infinito de configuraciones al establecer una base para su definición de la siguiente forma:

Concepto de sencillez y complejidad, éste proviene de los conceptos geométricos de convexidad y concavidad (convexo – sencillo, cóncavo – complejo), incluyendo la elevación.



Según las normas, la N-97, presenta el término configuración estructural, definiendo las estructuras regulares y estructuras irregulares. Considerando las irregularidades tanto en altura como en planta; irregularidades de rigidez (piso blando), irregularidad de masa, irregularidad geométrica vertical, discontinuidad de los sistemas resistentes, irregularidad torsional, esquinas entrantes y discontinuidad del diafragma.

2.4.4.2 Condiciones locales

La influencia del lugar donde se encuentra ubicada la edificación es de suma importancia debido a la diversidad de condiciones de sitio que se pueden tener.

Es por ello que las condiciones locales se pueden conocer mediante estudios de microzonificación sísmica y de sitio.

Los estudios de microzonificación sísmica comprenden el análisis de los efectos sísmicos asociados, (licuación de suelos, deslizamientos, tsunamis, etc.; todos estos fenómenos aumentan la vulnerabilidad y por ende el riesgo sísmico) así como también las modificaciones sísmicas por causa de las condiciones locales y otros fenómenos naturales.

Los estudios de sitio están relacionados con el proyecto, el lugar de su ubicación. La importancia y necesidad de la realización de los estudios de sitio esta dado por la posible modificación de los efectos sísmicos y otros fenómenos naturales de esta forma obtendremos los parámetros de diseño (18).

2.4.4.3 Tipo de edificación (funcional)

En toda norma el tipo de edificación es importante, debido a que este indica el uso que se le dará, estando relacionado con el uso que se dará a la edificación.

Tomando este parámetro de funcionalidad, podemos clasificarlas en 4 categorías (18):

- A) Edificaciones Esenciales. Son consideradas como edificaciones esenciales aquellas cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de la ocurrencia de un sismo, como los hospitales, centrales de comunicación, cuarteles de bomberos, policía, subestaciones eléctricas, reservorios de agua, centros educativos y edificaciones que pueden servir de refugio después de un desastre.
- B) Edificaciones Importantes. Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas como teatros, estadios, centros comerciales, establecimientos penitenciarios o que guardan patrimonios valiosos como museos, bibliotecas y archivos especiales. También se consideran depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.
- C) Edificaciones Comunes. Edificaciones comunes cuya falla ocasionaría pérdidas de cuantía intermedia como viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios, fugas de contaminantes, etc.
- D) Edificaciones Menores. Edificaciones cuyas fallas causan pérdidas de menor cuantía y normalmente la probabilidad de causar víctimas son bajas, como cercos

de menos de 1.50 m. de altura, depósitos temporales, pequeñas viviendas temporales y construcciones similares.

La naturaleza de las edificaciones estudiadas en la investigación es de categoría A por ser centros educativos, adicionalmente se analizará su funcionalidad post-sismo.

2.4.4.4 Condiciones geotécnicas

Las condiciones geotécnicas están relacionadas con las condiciones locales de cimentación, con la composición del terreno donde se cimentarán las estructuras, con las propiedades mecánicas del suelo, el espesor del estrato, el período fundamental de vibración y la velocidad de propagación de las ondas de corte, Todos ellos influyen directamente sobre el comportamiento sísmico de la estructura. Estas características y propiedades definirán en conjunto, con el comportamiento de la estructura un factor de amplificación sísmica o coeficiente de amplificación sísmica en las diferentes normas.

2.4.4.5 El comportamiento sísmico de la estructura

Para una mejor explicación del comportamiento de las estructuras, hablaremos de respuesta estructural, debido a que su comportamiento depende de los elementos que las componen y sobre todo de la forma en que estos elementos se encuentran conectados, teniendo predominancia su estructuración y su configuración, por la entrada al rango inelástico de las estructuras en muchos casos por la ocurrencia de un sismo severo.

El comportamiento de la estructura debe de relacionarse con la respuesta local de las secciones y elementos. El interés general del comportamiento de la estructura está sujeto al cómo medimos la respuesta no lineal del sistema. Considerándose como medida representativa de la respuesta del sistema estructural sujeto a cargas laterales (las que se ejercen en la ocurrencia de un sismo), "el desplazamiento relativo de entrepiso"⁽³⁾, en forma general se usa un índice adimensional, dividiendo el desplazamiento relativo de entrepiso entre la altura del mismo piso, este es el más empleado para cuantificar la respuesta de las edificaciones.

El desplazamiento relativo de entrepiso se encuentra relacionado directamente con el desplazamiento total de la edificación que es la suma de todas las distorsiones en cada piso. Estas medidas, de los desplazamientos relativos definen al factor de ductilidad de entrepiso, como la relación del máximo desplazamiento que puede aceptar el entrepiso antes del colapso y el desplazamiento al que se presentó la primera fluencia de los elementos que la componen.

Capítulo 3 **INFORMACIÓN BÁSICA**

3.1 **Revisión bibliográfica**

Los estudios realizados en el campo de la sismorresistencia son amplios, debido a que nuestro país se encuentra ubicado en la zona de subducción entre las placas de Nazca y Sudamericana, la evolución de estos estudios se muestra en el desarrollo de las normas Peruanas de sismorresistencia, donde están dirigidos en forma general a su mejora, también se tienen estudios de análisis y comportamiento de las placas que originan los sismos, direccionados por el Instituto Geofísico del Perú; por otra parte las Universidades como entes dedicados a la Investigación presentan sus investigaciones en el desarrollo de tesis de grados como: "Coeficiente Sísmico en el Perú y las Normas Peruanas" (19), "Estudio de Actualización de Normas de Diseño antisísmico de Edificaciones" (8), "Algunos criterios para evaluar las características sismo-resistentes y estimar el grado de seguridad sísmica de edificios existentes de concreto armado de mediana a baja altura" (12), "Propuesta de normas de diseño sismo-resistente de construcciones de adobe" (10), todos los anteriores realizados en la Universidad Nacional de Ingeniería.

Por otra parte se tienen estudios en general de vulnerabilidad sísmica realizados en los años subsiguientes por el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) y otras Instituciones, como también estudios pos sísmicos, en los años 1996 (por el sismo ocurrido en la ciudad de Nazca el 12 de Noviembre de 1996, con $M_w = 7.7$), 2001 (por el sismo ocurrido en las provincias de Caravelí y Camaná departamento de Arequipa el 23 de junio del 2001, con $M_w = 8.2$), y otros.

3.2 **"Norma Básica de Diseño Sismo – Resistente", 1977**

Las nuevas normas de diseño sismo resistente, con fecha 3 de abril de 1977 la Resolución Ministerial N° 159-77-VC-1100 del Ministerio de Vivienda y Construcción, mediante la cual aprobó la incorporación al Reglamento Nacional de Construcciones (RNC) de nuevas normas de diseño sismo resistente", estas son las palabras con las que se presenta el documento Oficial de diseño sismo-resistente en el año 1977, participaron en su elaboración:

Colegio de ingenieros del Perú, CIP
Universidad Nacional de Ingeniería, UNI
Pontificia Universidad Católica del Perú, PUCP
Instituto Geofísico del Perú, IGP
Comité Nacional de Defensa Civil

Siendo la institución de coordinación la Oficina de Investigación y Normalización. Esta norma posee como documento base el " Proyecto de Normas de Diseño Antisísmico", elaborado por la comisión ad-hoc del Colegio de Ingenieros del Perú en el año 1975, después del sismo severo ocurrido en Lima en el año 1974, los documentos considerados para su elaboración fueron: "Proyecto de Normas de Diseño Sismo – Resistente", Universidad Nacional de Ingeniería, "Análisis Crítico del Capítulo IV, Título V del Reglamento Nacional de Construcciones", Pontificia Universidad Católica del Perú, "Escalas Sísmicas de Intensidad o Magnitud" Instituto Geofísico del Perú; "Regionalización Sísmicas del Perú por Intensidades", Instituto Geofísico de Perú; "Términos de Referencia para Estudios de Microzonificación", Instituto Geofísico del Perú.

Esta norma presenta una estructura la cual detallaremos en forma simplificada:

En la primera parte se presenta los **alcances**, los cuales establecen los requisitos mínimos para que las edificaciones sean sismorresistentes en el contexto de los criterios que se establecen en la presente norma, estos incluyen los requerimientos relativos al empleo de los diferentes materiales de construcción, dándose los patrones necesarios para la evaluación y reparación de estructuras dañadas por sismos: Para reservorios, tanques, silos y estructuras similares, la norma estipula disposiciones que le son aplicables.

Incluye disposiciones que serán revisadas periódicamente por un comité especializado denominado "comité especializado N° 3"

Las escalas sísmicas, constan de la escala de Richter la cual define el sismo por su magnitud, la escala de Mercalli Modificada (MM) y Escala Internacional de Intensidades (MSK), las cuales definen al sismo por la intensidad, basándose en las sensaciones de las personas.

Zonificación sísmica, considera el territorio nacional dividido en 3 zonas, ésta zonificación se realizó en función a la sismicidad observada: Zona 1 (sismicidad alta), zona 2 (sismicidad media), zona 3 (sismicidad baja).

Microzonificación Sísmica y Estudios de sitio, definen los tipos de estudios a realizarse, en que tipo de áreas y en qué casos se consideran sus limitaciones.

Clasificación de suelos, se clasifica el suelo en 3 categorías, tomando en cuenta el tipo de suelo de cimentación y el período predominante T_s de la estratigrafía, como se muestra a continuación en el cuadro:

Tabla 3.2-1 Clasificación de suelos N-77.

CLASIFICACIÓN	TIPO DE SUELO DE CIMENTACIÓN	PERÍODO (segundos)
I	Roca, grava densa, grava arenosa densa.	$T_s = 0.3$
II	Arena densa, suelo cohesivo duro o firme.	$T_s = 0.6$
III	Suelos granulares sueltos, suelos cohesivos medianos o blandos.	$T_s = 0.9$

Clasificación de los sismos por efectos en las edificaciones y su intensidad, La norma los clasifica de la siguiente manera: sismos leves, los cuales tienen intensidad igual o menor de V (MM); sismos moderados, con intensidad entre VI – VII (MM); sismos severos, con intensidad igual o mayor de VIII (MM)

Los criterios de diseño sismo – resistente, los objetivos presentados en la norma son, los establecidos según los siguientes criterios:

- a) Resistir sismos leves sin daño.
- b) Resistir sismos moderados considerando la posibilidad de daños estructurales leves.
- c) Resistir sismos severos con la posibilidad de daños estructurales importantes con una posibilidad remota de ocurrencia del colapso de la edificación.

Consideraciones para el diseño sísmico, estas consideraciones podemos resumirlas de la siguiente forma:

Toda la edificación será diseñada y construida para resistir solicitaciones sísmicas determinadas en forma prescrita en la norma.

La distribución en planta de las fuerzas horizontales, para el caso de las edificaciones que cuenten con diafragmas rígidos al nivel de los pisos, será de acuerdo con las rigideces de los elementos resistentes, debiendo existir compatibilidad entre las deformaciones de esos elementos y la del diafragma.

Cuando un solo elemento de la estructura, muro o pórtico resiste una fuerza sísmica horizontal en cualquier nivel, dicho elemento deberá diseñarse para el 125% de dicha fuerza.

No es necesario considerar simultáneamente los efectos de sismo y viento.

La **Concepción estructural sismo – resistente**, está orientada a dar recomendaciones para un mejor comportamiento de la estructura en la ocurrencia de un sismo. Una simetría, tanto en masas como en rigideces, el peso mínimo, adecuados materiales de construcción, continuidad en la estructuración, ductilidad como requisito indispensable, deformación limitada debido a los elementos no estructurales, recursos resistentes mediante la inclusión de líneas sucesivas de resistencia asemejando el comportamiento integral de la estructura a un comportamiento inelástico.

Sobre la **altura de las edificaciones**, tenemos que las estructuras de concreto y acero no presentan limitaciones, mientras que las de albañilería poseen como máxima altura 16 metros, las de madera 7 metros y las de adobe 3 metros.

Sobre la **categoría de las edificaciones**, ésta se presenta en el siguiente cuadro.

Tabla 3.2-2 Categoría de las edificaciones N-77.

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
A	Edificaciones especiales cuya falla además del peligro propio del colapso, representa un peligro adicional importante. Se incluye en esta categoría las estructuras para reactores atómicos, grandes hornos, depósitos inflamables y otros similares.
B	Edificaciones especialmente importantes cuando ocurre un sismo por prestar servicios vitales que no deben de ser interrumpidos, o que al fallar causarían pérdidas directas o indirectas excepcionalmente altas, comparativamente con el costo requerido para aumentar su seguridad. Dentro de esta categoría están los hospitales, centrales telefónicas, estaciones de radio, estaciones de bomberos, sub-estaciones eléctricas, silos, tanques de agua, colegios, estadios, auditorios, templos, salas de espectáculos, archivos y registros públicos, museos y en general locales que alojan gran cantidad de personas o equipos especialmente costosos.
C	Edificaciones comunes, cuya falla ocasionaría pérdidas de magnitud intermedia, tales como: oficinas, departamentos, hoteles, casa – habitación, edificios comerciales, restaurantes, almacenes, depósitos y edificios industriales.
D	Edificios cuyas fallas por sismos implican un costo reducido y normalmente no causan daño por consecuencia de su falla. Se incluye en esta categoría los cercos con alturas no mayores de 1.50 m, casetas, almacenes provisionales y otros similares.

Como podemos observar en el cuadro anterior, se tiene una clasificación general de todas las edificaciones presentes en nuestro medio.

Del método para la determinación de las **fuerzas sísmicas horizontales**, estas se calculan mediante la siguiente fórmula.

$$H = \frac{Z \cdot U \cdot S \cdot C}{R_d} \cdot P$$

Donde:

Z = factor de zona

Zona 1	Zona 2	Zona 3
1.0	0.7	0.3

U = Factor de uso o importancia

Categoría A	Categoría B	Categoría C	Categoría D
≥ 1.3	1.3	1.0	Exoneradas

S = Factor de suelo

SUELO	FACTOR "S"
I	1.0
II	1.2
III	1.4

C = Coeficiente sísmico, representa una fracción del peso de la edificación, este se calcula mediante el espectro de respuesta de aceleraciones generalizado, expresado mediante la siguiente fórmula, la cual está en función del periodo fundamental de la estructura y el periodo predominante del suelo.

$$C = \frac{0.8}{\left(\frac{T}{T_s} + 1.0\right)}$$

En la cual C no puede ser menor que 0.16 ni mayor que 0.4; Ts no se tomará menor que 0.3 seg. ni mayor que 0.9 segundos.

R_d = Factor de ductilidad.

En el cálculo de fuerzas internas en la estructura, el coeficiente sísmico obtenido para cada dirección se dividirá entre el correspondiente factor R_d que se especifica en la norma, según las características de la edificación:

Tabla 3.2-3 Clasificación según las características de la edificación N-77.

TIPO	CARACTERÍSTICAS DE LA EDIFICACIÓN	Rd	LÍMITE DE ALTURA m
E1	Edificios de concreto armado cuyos pórticos dúctiles especiales son capaces de resistir el 100% de la fuerza horizontal, considerándose que actúan independientemente de cualquier otro elemento rígido. Edificios de pórtico de acero.	6.0	—
E2	Edificios de concreto armado con pórticos dúctiles especiales y muros de corte especiales diseñados según los siguientes criterios: a) Los pórticos y muros de corte resistirán la fuerza horizontal total de acuerdo a sus rigideces relativas considerando la interacción entre pórticos y muros. b) Los pórticos tendrán capacidad para resistir no menos del 25% de la fuerza horizontal, actuando independientemente.	5.0	—
E3	Edificios similares a los del caso anterior excepto que sus pórticos y / o muros no satisfacen íntegramente los especiales de ductilidad. Edificios de madera y de acero no incluidos en otros casos.	4.0	—
E4	Edificios en los que las fuerzas horizontales son resistidas básicamente por muros de corte o estructuras similares. Tanques elevados, silos y estructuras tipo péndulo invertido (50% de la masa en el extremo superior) en general y no soportadas por un edificio (*)	3.0	—
E5	Edificios con muro de albañilería confinada o armada.	2.5	16
E6	Edificios con muros de albañilería sin confinar, construcciones de adobe y otras no contempladas en esta clasificación.	1.5	7

(*) La fuerza horizontal mínima de diseño H, será de 0.12 P, para las zonas 1; 2, y de 0.08 P para la zona 3. Para tanques deberá tomarse en cuenta los efectos por oscilación del líquido almacenado.

Peso de la edificación (P), se calculará adicionando a las cargas permanente y total del edificio un porcentaje de la carga viva, de la forma indicada en la siguiente tabla:

Tabla 3.2-4 Porcentaje adicional de carga viva para la determinación del peso de la edificación.

TIPO DE EDIFICACIONES	PORCENTAJE ADICIONAL DE CARGA VIVA
Categoría A	100%
Categoría B	50%
Categoría C	25%
En depósitos	80% del peso total que es posible almacenar
En azoteas y techos	25%
Tanques, silos y estructuras similares	100% de la carga que puede contener

Sobre el **período de vibración fundamental de la estructura (T)**, en ésta norma se calcula mediante procedimientos teóricos, presentando una opción al cálculo teórico, lo que implica que en cada dirección se tomará en cuenta su estructuración.

Expresión para el cálculo de T	Estructuración
$0.08 \cdot N$	Para edificaciones cuya estructura está conformada por columnas y vigas (pórticos), exclusivamente.
$\frac{0.09 \cdot h}{\sqrt{D}}$	Para edificios cuyos elementos resistentes a la fuerza sísmica están constituidos únicamente por pórticos y por los muros de las cajas de ascensores, sin otros elementos que rigidicen la estructura.
$\frac{0.07 \cdot h}{\sqrt{D}}$	Para edificios que incluya muros de corte sobre las características indicadas en la descripción anterior.
$\frac{0.05 \cdot h}{\sqrt{D}}$	Para edificios cuyos elementos resistentes corresponden principalmente a muros de corte.

h = Altura de la edificación respecto al nivel del terreno en metros.

D = Dimensión horizontal en metros de la edificación en la dirección del sismo.

N = Número de pisos de la edificación.

Una vez calculada la fuerza horizontal o cortante denominada H en cada dirección se procede a su **distribución en la altura del edificio**, aplicando la siguiente fórmula:

$$F_i = f \cdot H \cdot \frac{P_i \cdot h_i}{\sum P_i \cdot h_i}$$

f = 0.85 para edificios cuya relación alto / ancho en la dirección considerada exceda de 6

f = 1.00 cuando esta relación no exceda de 3

Se presenta la opción de interpolar linealmente para las relaciones alto / ancho entre 3 y 6, aplicando el resto de la fuerza H en el último nivel.

En esta norma se presenta el término de **reducción en planta** el cual está relacionado con los cambios, tanto en la dimensión en altura como en planta. Tenemos así que cuando la dimensión reducida en planta es menor que las 3/4 partes de la dimensión del piso inmediato inferior en la dirección considerada, se tomará a la parte reducida

como una torre independiente, determinándose la fuerza cortante en la misma, tomado los siguientes criterios:

- a) Si la reducción se encuentra entre 50% y 75%, se considerará como una torre independiente la parte reducida con un factor de amplificación de 1.25.
- b) Si la reducción es superior al 50%, se considerará como una torre independiente la parte reducida con un factor de amplificación de 1.5.

La norma considera el efecto de las **fuerzas sísmicas verticales**, para el diseño de los elementos verticales, considerando que el sentido de la fuerza vertical será el más desfavorable en combinación con la fuerza sísmica horizontal y otras fuerzas de diseño, tomando como la fuerza sísmica vertical 0.30 P para la zona 1, 0.20 P para la zona 2, no siendo necesaria su consideración para la zona 3.

Dentro del reglamento se considera también la **determinación de la fuerza sísmica por otros métodos**, para el análisis de edificios de más de 25 pisos o 75 m de altura, o para aquellos casos que el método general no sea lo suficientemente exacto; dentro de éstos tenemos el **análisis modal**, considerándose para cada modo una aceleración del suelo según la siguiente expresión:

$$\frac{Z \cdot U \cdot S \cdot C}{R_d}$$

De la cual C se obtiene según el período correspondiente a cada modo. Pudiéndose diseñar con la cortante obtenida sólo en el caso que ésta sea mayor que el 80% de la obtenida en el método estático. Si se usara el análisis modal se podrían desprejiciar los modos naturales, cuyo efecto combinado no modifique los efectos sísmicos en más del 10%, usando en cualquier caso los tres primeros modos, desprejiciando también el efecto dinámico torsional que resulte de la excentricidad calculada estáticamente no mayores del 5% de la dimensión del piso, medida en la misma dirección de la excentricidad. Por otro lado se tiene que las respuestas modales R_{mi} se obtendrán considerando una superposición modal según el promedio entre la suma absoluta y la medida cuadrática de los modos, debiendo tomarse como mínimo los 3 modos más significativos.

Se tiene otro método para el análisis, al cual se denomina **Análisis Paso a Paso**, y se ha empleado para sismos específicos, pudiéndose usar registros de sismos reales, siempre que no se usen menos de tres movimientos representativos; siendo paliativos a este método los mismos requerimientos para el análisis modal.

Sobre los **momentos del volteo**, la norma estipula que toda la estructura deberá de ser diseñada para resistir conjuntamente el momento de volteo que produce el sismo, y se determina mediante la fórmula.

$$M_v = (F_i \cdot h_i)$$

Además plantea que no se realizará ninguna reducción en los 10 pisos superiores de cualquier edificación, pudiendo hacer una reducción del 2% por cada piso, desde el 10° piso a partir del piso más alto, pero no mayor que el 20%.

Para los **efectos de torsión**, la fuerza sísmica actúa horizontalmente en el centro de gravedad del nivel respectivo, considerándose únicamente los incrementos de la fuerza horizontal por este concepto. No así las disminuciones, teniendo como condición que cada edificación deberá estructurarse de manera que en cada uno de sus niveles, cualquier elemento pueda resistir el momento de torsión, éste no podrá exceder la fuerza que actúa sobre el mismo como resultado de la distribución de la fuerza cortante H_i ; indicando que el momento de torsión en cada nivel, considerando la no-coincidencia entre el centro de masas y el centro de rigideces y una torsión accidental, se determinará según las siguientes fórmulas:

$$M_{Ti} = h_i \cdot (1.5 \cdot e + 0.05 \cdot b \cdot x)$$

$$M_{Ti} = h_i \cdot (e - 0.05 \cdot b \cdot x)$$

Realizando el análisis de torsión para todo tipo de edificaciones, con excepción de las que no necesitan de análisis sísmico.

Para la determinación de los **máximos desplazamientos** laterales durante un sismo, en esta norma se multiplica por $0.75 R_d$ los desplazamientos calculados elásticamente con las fuerzas deducidas según la misma. Para el máximo desplazamiento relativo de entrepisos: S_r será 0.01 la altura del piso considerada cuando existan elementos susceptibles de dañarse por la deformación relativa. En otros casos S_r es considerado 0.015.

Las **juntas de separación sísmica**, entre dos bloques de edificios se establece que no serán menores que los $2/3$ de la suma de los desplazamientos máximos de los bloques calculados ni menor que:

$$S = 3 + 0.4 \cdot (h_i - 5) \text{ Ni menor que 3 centímetros.}$$

Condicionando que el edificio se retirará de los límites de propiedad adyacentes a otros lotes edificables, o con edificaciones, distancias no menores que 2/3 del desplazamiento máximo de los bloques calculados, ni menores a S/2 calculado según la fórmula anterior, esta junta se extenderá en toda la altura de la edificación pudiendo omitirse en la cimentación o en sótanos.

Durante el proceso constructivo se debe contar con la seguridad necesaria ante la ocurrencia de un sismo cumpliendo con lo indicado en la norma.

Es requisito para el cumplimiento de esta norma la presentación de las **memorias de análisis sísmico** para los casos de edificaciones tipo A y B, para edificaciones tipo C con mas de 15 pisos o 45 metros de altura, para edificaciones de albañilería con más de 3 pisos o más de 10 metros de altura.

Para los elementos no estructurales de un edificio y otras estructuras, así como los anclajes, su diseño se establece para resistir la fuerza sísmica y esta dado por la siguiente fórmula.

$$H = U \cdot C_1 \cdot P \text{ (U y P según lo definido anteriormente)}$$

Los valores de C_1 se tomaran de la tabla.

Tabla 3.2-5 Valores de C_1 según los elementos no estructurales a diseñar.

ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES Y OTRAS ESTRUCTURAS	DIRECCIÓN DE LA FUERZA	C1
Elementos que al fallar pueden precipitarse fuera de la edificación (parapetos de coronación, parapetos de balcones ubicados en voladizos, ornamentos exteriores u otros similares). Elementos cuya falla entraña peligro para personas u otras estructuras (ornamentos interiores y otros similares)	Perpendicular al plano del elemento	1.0
Muros dentro de una edificación	Perpendicular al plano del elemento	0.35
Cercos	Perpendicular al plano del elemento	0.25
Torres, tanques y chimeneas, cuando están conectados a una parte del edificio (*)	Cualquiera	0.35
Pisos y techos que actúan como diafragmas	En el plano del elemento	0.20

(*) Cuando h / D el edificio es igual o mayor que 5, aumentará el valor de C_1 en 30%.

En el caso de tanques, se considerará incluido en P el contenido para determinar las fuerzas horizontales.

Para el diseño de **cimentaciones**, deberá hacerse de manera compatible con la distribución de fuerzas obtenidas del análisis de la estructura, teniendo concordancia entre lo considerado para los giros de las zapatas o deformaciones de las conexiones de los diferentes elementos y las rigideces consideradas para la distribución de las fuerzas horizontales en la estructura, considerando para los estudios de suelos los efectos de los sismos para la determinación de la capacidad portante del suelo de cimentación, presentando especial atención a la posibilidad de licuefacción o densificación para el caso de suelos granulares.

Sobre la **reparación y el refuerzo** en el primer punto se indica que si los daños son leves, se podrán reparar y reforzar los elementos dañados, de modo de restituir por lo menos su resistencia original. En el caso que los daños sean severos, tal que pongan en peligro la estabilidad de la estructura, se reforzará la estructura y será necesario de un análisis, considerando los criterios y requisitos de la norma. Para la reparación será necesaria la elaboración del proyecto de reparación, en el cual se asegurará el comportamiento integral de la estructura. Como último punto se indica que todo proyecto de reparación, deberá obtener la aprobación de la oficina de licencias correspondiente, como si se tratara de un nuevo proyecto, presentando como requisito una memoria, en la cual se debe indicar claramente los alcances y objetivos de la reparación y/o refuerzo y la inscripción y conclusiones de los estudios realizados.

De la **Instrumentación**. En esta se obliga a todo edificio superior a 25 pisos la adquisición de dos acelerógrafos, uno de los cuales se ubicaba en el nivel más bajo y el segundo a $2/3$ de la altura del edificio, dando la posibilidad que el proyectista de otras indicaciones. este requisito incluye edificaciones de categoría A y B con un área techada superior a 10,000 m².

El mantenimiento de la instrumentación se realizará por el propietario y estará sujeto a la aprobación y control del Instituto Geofísico del Perú. Además se obliga la instalación de un acelerógrafo para edificaciones que superen los 15,000 m², de menos de 25 pisos, y cuya ubicación la indicará el proyectista.



Grafico 3.2 – 1 Mapa de zonificación sísmica del Perú 1977

3.3 Norma Técnica de Edificación E.030 “Diseño Sismorresistente” 1997

El 14 de Octubre de 1997 mediante Resolución Ministerial N° 494-97 MTC/15.04, se aprueba la actualización de la Norma Técnica de Edificación E.030 “Diseño Sismorresistente”. De esta forma queda en vigencia la Norma Técnica de Edificación E.030 de Diseño Sismorresistente, elaborada por el comité técnico especializado. Esta norma presenta una estructuración similar a la del año 1977 con cambios en la metodología.

GENERALIDADES

Dentro de este título podemos encontrar los **alcances** que se establecen, estipulando requisitos mínimos para que las edificaciones tengan un adecuado comportamiento sísmico con el fin de reducir el riesgo de pérdidas de vidas y daños materiales, posibilitando que las edificaciones esenciales puedan seguir funcionando durante y después de un sismo. Estos requisitos se aplican a las edificaciones nuevas, para la evaluación y reforzamiento de las edificaciones existentes, así como también para la

reparación de edificaciones que resultaran dañadas por la acción de un sismo. Para el caso de estructuras especiales cuyo comportamiento difiere de las edificaciones convencionales, se requerirán consideraciones adicionales.

También en esta norma se dan detalles sobre los **objetivos del diseño sismorresistente**, el cual posee por finalidad un comportamiento que haga posible la resistencia a los sismos leves sin daño, resistir sismos moderados considerando la posibilidad de daños estructurales leves, y resistir los sismos severos con posibilidad de daños estructurales importantes, evitando el colapso de la edificación; clasificando los sismos de la siguiente forma:

Tabla 3.3-1 Clasificación de sismos N-97.

TIPO DE SISMO	CARACTERÍSTICAS
Sismos leves	Sismos con intensidades de grado igual o menores a VI MSK (*)o MM(**).
Sismos moderados	Sismos con intensidades de grados VII y VIII MSK o MM.
Sismos severos	Sismos con intensidad de grado IX MSK o MM.
Sismos catastróficos	Sismos con intensidades de grado X o más MSK o MM.

(*) Medvender, Sponhever y Karnik (1964) escala de intensidades internacional.

(**) Escala de intensidad Mercalli Modificada.

La norma muestra las pautas para la **presentación del proyecto estructural**, la cual debe de contar con planos, memoria descriptiva y especificaciones técnicas, dando la responsabilidad de estos estudios al Ingeniero Civil Colegiado. Además estos estudios contienen como mínimo: el sistema estructural sismorresistente, los parámetros para definir la fuerza sísmica o el espectro de diseño y por último el desplazamiento máximo del último nivel, con el máximo desplazamiento relativo de entrepiso.

Los requisitos anteriormente descritos se dan en forma general, pero en casos en que las edificaciones superan los 70 metros de altura, deberán contener una memoria de datos y cálculos justificativos, revisados por una autoridad competente. Para el caso del empleo de materiales, sistemas estructurales y métodos constructivos diferentes a los indicados en la norma, los estudios deberán ser aprobados por una autoridad competente nombrada por el Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción.

PARÁMETROS DE SITIO

Acá se agrupan diferentes estudios referentes al lugar donde se desarrollará el proyecto, tomando en cuenta la **Zonificación**, que resulta de dividir el territorio nacional en tres zonas, según la siguiente figura.

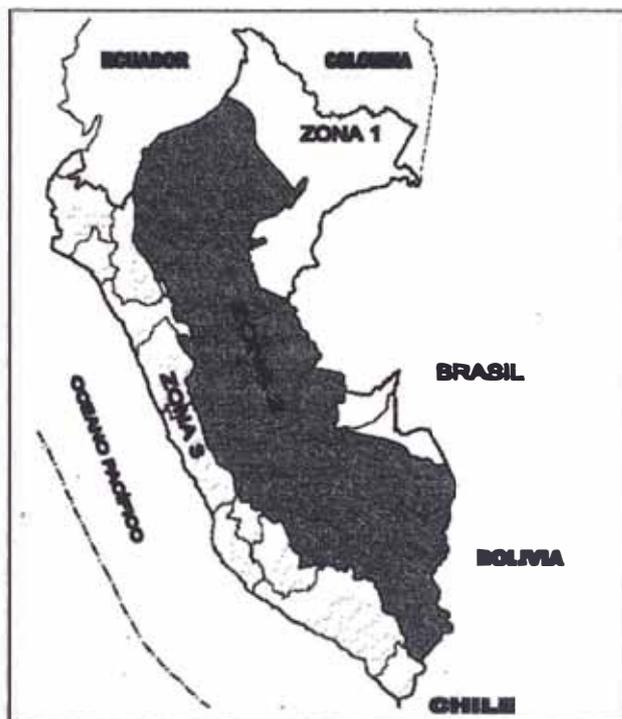


Grafico 3.3 – 1 Mapa de zonificación sísmica del Perú 1997

Esta zonificación está basada en la distribución espacial de la sismicidad observada. A cada una de las zonas descritas anteriormente se le asigna un factor Z, el cual se interpreta como la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años, el cual se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 3.3-2 Factor de zona N-97.

ZONA	FACTOR DE ZONA – Z (g)
3	0.4
2	0.3
1	0.15

De las **condiciones locales**, podemos describir que la microzonificación sísmica, son estudios multidisciplinarios, que investigan los efectos de los sismos y fenómenos asociados como licuación de suelos, deslizamientos, tsunamis, etc. Estos estudios suministran información sobre la posible modificación de las condiciones sísmicas por causa de las condiciones locales y otros fenómenos naturales, dichos estudios son utilizados en los siguientes casos: áreas de expansión de ciudades, complejos industriales y similares, reconstrucción de áreas urbanas destruidas por sismos y fenómenos asociados.

Los **estudios de sitio**, son estudios similares a los de microzonificación, limitados al lugar del proyecto y suministran información sobre la posible modificación de las acciones sísmicas y otros fenómenos naturales por las condiciones locales; siendo su objetivo principal la determinación de los parámetros de diseño. Son necesarios para las edificaciones del grupo A, sin considerar parámetros de diseño inferiores a los estipulados en la norma.

Para las **condiciones geotécnicas**, se indica que los perfiles de suelo se clasifican tomando en cuenta las propiedades mecánicas del suelo, el espesor del estrato, el período fundamental de vibración y la velocidad de propagación de las ondas de corte; clasificando los perfiles de la siguiente manera:

Perfil tipo S₁: Roca o suelos muy rígidos

Cuando la cimentación se realiza sobre roca sana o parcialmente alterada, con una resistencia a la compresión no confinada mayor o igual que 500 kPa (5 kg/cm²), grava arenosa densa, estrato de no más de 20m de material cohesivo muy rígido, con una resistencia al corte similar al de una roca, estrato de no más de 20m de arena muy densa con $N > 30$, sobre roca u otro material con velocidad de onda de corte similar al de una roca.

Perfil tipo S₂: Suelos intermedios

Se clasifican como de este tipo los sitios con características intermedias entre las indicadas para los perfiles S₁ y S₃.

Perfil tipo S₃: Suelos flexibles o con estratos de gran espesor

Corresponden a este tipo los suelos flexibles o estratos de gran espesor en los que su período fundamental para vibraciones de baja amplitud, es mayor que 0.6 s, incluyendo los casos en los que el espesor del estrato de suelo excede los siguientes valores:

Tabla 3.3-3 Suelos considerados como S₃.

Suelos cohesivos	Resistencia al corte típica en condición no drenada	Espesor del estrato (m) (*)
Blandos	< 25	20
Medianamente compactos	25 – 50	25
Compactos	50 – 100	40
Muy compactos	100 – 200	60
Suelos granulares	Valores N típicos en ensayos de penetración estándar (SPT)	Espesor del estrato (m) (*)
Sueltos	4 – 10	40
Medianamente densos	10 – 30	45
Densos	Mayor que 30	100

(*) Suelo con velocidad de onda de corte menor que el de una roca

Perfil tipo S₄: Condiciones excepcionales

A este tipo corresponden los suelos excepcionalmente flexibles, así como aquellos donde las condiciones geológicas y / o topográficas sean particularmente desfavorables.

Se debe considerar el tipo de perfil que describa mejor las condiciones locales, usando los correspondientes valores de T_p y del factor de amplificación del suelo S, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3.3-4 Periodo y factor de amplificación del suelo, según N-97.

TIPO	DESCRIPCIÓN	T _p (S)	S
S1	Roca o suelos muy rígidos	0.4	1.0
S2	Suelos intermedios	0.6	1.2
S3	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	0.9	1.4
S4	Condiciones excepcionales	(*)	(*)

(*) Los valores de T_p y S para este caso serán establecidos por el especialista, pero en ningún caso serán menores que los especificados para el perfil tipo S₃.

El factor de **amplificación sísmica** varía en su forma de cálculo, y se establece de acuerdo a las características de sitio. Se define el factor de amplificación sísmica (C) por la siguiente expresión:

$$C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p}{T} \right)^{1.25} \quad C \leq 2.5$$

Dicho factor de amplificación se interpreta como la respuesta estructural respecto a la aceleración en el suelo.

REQUISITOS GENERALES

Dentro de los **aspectos generales**, se indica que toda edificación y cada una de sus partes, serán diseñadas y construídas para resistir las sollicitaciones sísmicas, debiendo considerar el posible efecto de los elementos no estructurales en el comportamiento sísmico de la estructura, el análisis detallado del refuerzo, así como también el anclaje deberá hacerse acorde con esta consideración. Para las sollicitaciones horizontales, se considera dos direcciones principales o las direcciones que resulten más desfavorables, la fuerza sísmica vertical se considera que actúa en los elementos simultáneamente con la fuerza sísmica horizontal en el sentido más desfavorable. No se presenta la necesidad del cálculo de efectos simultáneos de sismo y viento.

Un punto importante de la norma contempla que, cuando un solo elemento de la estructura, muro o pórtico resiste una fuerza de 30% o más del total de la fuerza horizontal en cualquier nivel, dicho elemento deberá diseñarse para el 125% de dicha fuerza.

Concepción estructural sismorresistente, esta refleja las consideraciones que se deberán de tomar para que el comportamiento sísmico mejore, entre ellas están: la simetría, tanto en la distribución de masas como en las rigideces, el peso mínimo, especialmente en los pisos altos, la selección y uso adecuado de los materiales de construcción, resistencia adecuada, continuidad en la estructura, tanto en planta como en elevación, la ductilidad como requisito indispensable para un comportamiento satisfactorio, deformación limitada, ya que en caso contrario los daños en elementos no estructurales podrían ser desproporcionados, la inclusión de líneas sucesivas de resistencia, consideración de las condiciones locales de suelo en el proyecto, buena práctica constructiva e inspección estructural rigurosa.

Cada estructura es clasificada de acuerdo a **categorías de las edificaciones**, mediante las cuales se le asigna un coeficiente de uso e importancia (U). Se define la clasificación en la siguiente tabla.

Tabla 3.3-5 Factor de uso de las edificaciones según la N-97.

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR (U)
A Edificaciones esenciales	Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después que ocurra un sismo, como hospitales, centrales de comunicaciones, cuarteles de bomberos y policía, sub-estaciones eléctricas, reservorios de agua. Centros educativos y edificaciones que pueden servir de refugio después de un desastre. También se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, como grandes hornos, depósitos de materiales inflamables o tóxicos.	1.5
B Edificaciones importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas como teatros, estadios, centros comerciales, establecimientos penitenciarios o que guardan patrimonios valiosos como museos, bibliotecas y archivos especiales. También se consideran depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1.3
C Edificaciones comunes	Edificaciones comunes, cuya falla ocasionaría pérdidas de cuantía intermedia como viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios, fugas de contaminantes, etc.	1.0
D Edificaciones menores	Edificaciones cuya falla causan pérdidas de menor cuantía y normalmente la probabilidad de causar víctimas es baja, como cercos de menos de 1.50 m de altura, depósitos temporales, pequeñas viviendas temporales y construcciones similares.	(*)

- (*) En estas edificaciones, a criterio del proyectista, se podrá omitir el análisis por fuerzas sísmicas, pero deberá proveerse de la resistencia y rigidez adecuadas para acciones laterales.

Para el desarrollo de la norma se prestó especial atención a las regularidades, consideradas dentro de la **configuración estructural**, clasificándose como regulares o irregulares, con el fin de determinar el procedimiento adecuado de análisis y los valores apropiados del factor de reducción de la fuerza sísmica. Se describen como **estructuras regulares**, aquellas que no tienen discontinuidades significativas horizontales o verticales en su configuración resistente a las cargas laterales, y como **estructuras irregulares**, las que presentan una o más de las características indicadas en las siguientes tablas.

Tabla 3.3-6 Irregularidades en la altura según N-97.

IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA
<p>Irregularidades de rigidez – piso blando En cada dirección la suma de las áreas de las secciones transversales de los elementos verticales resistentes al corte en un entrepiso, columnas y muros, es menor que 85% de la correspondiente suma para el entrepiso superior, o es menor que 90% del promedio para los tres pisos superiores. No siendo aplicable a sótanos.</p>
<p>Irregularidad de masa Se considera que existe irregularidad de masa cuando la masa de un piso es mayor que el 150% de la masa de un piso adyacente. No es aplicable en azoteas.</p>
<p>Irregularidad geométrica vertical La dimensión en planta de la estructura resistente a cargas laterales es mayor que 130% de la correspondiente dimensión en un piso adyacente. No es aplicable en azoteas ni en sótanos.</p>
<p>Discontinuidad en los sistemas resistentes Desalineamiento de elementos verticales, tanto por un cambio de orientación, como por un desplazamiento de magnitud mayor que la dimensión del elemento.</p>

Tabla 3.3-7 Irregularidades estructurales en planta según N-97.

IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA
<p>Irregularidad torsional Se considera solo en edificios con diafragmas rígidos. En cada una de las direcciones de análisis, el desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos, es mayor que 1.3 veces el desplazamiento relativo de los centros de masas.</p>
<p>Esquinas entrantes La configuración en planta y el sistema resistente de la estructura, tienen esquinas entrantes, cuyas dimensiones en ambas direcciones son mayores que el 20% que la correspondiente dimensión total en planta.</p>
<p>Discontinuidad del diafragma Diafragmas con discontinuidades abruptas o variaciones en rigidez, incluyendo áreas abiertas mayores a 50% del área bruta del diafragma.</p>

Más aun, la norma hace mención a los **sistemas estructurales**, clasificándolos según los materiales usados y el sistema de estructuración sismorresistente predominante en cada dirección. Según la clasificación que se realice de una edificación se usará un

coeficiente de reducción de fuerza sísmica (R) y se tendrá un límite de altura, según se indica a continuación:

Tabla 3.3-8 Coeficiente de reducción para estructuras regulares N-97.

SISTEMA ESTRUCTURAL	COEFICIENTE DE REDUCCIÓN R PARA ESTRUCTURAS REGULARES (*)(**)	LIMITE DE ALTURA
<p>Pórticos de acero Con nudos rígidos y / o sistemas de arriostramiento.</p> <p>Pórticos de concreto armado. Sistema en que las cargas verticales y horizontales son resistidas únicamente por pórticos de concreto armado.</p> <p>Sistema dual Sistema en el cual las fuerzas horizontales son resistidas por una combinación de pórticos y muros de concreto armado en adición a la caja de ascensores o escaleras. Los pórticos deberán ser diseñados para tomar por lo menos el 25% de la fuerza cortante en la base.</p>	10	—
<p>Muros de concreto armado Sistema en que la resistencia sísmica está dada fundamentalmente por muros de concreto armado.</p>	7.5	—
<p>Albañilería armada o confinada Sistema en el cual los muros de albañilería resisten cargas verticales y horizontales. El sistema puede incluir algunos elementos de concreto armado para resistir estas cargas.</p>	6	15 m
<p>Construcciones de madera</p>	7	8 m

(*) Estos coeficientes se aplicaran únicamente a estructuras en las que los elementos verticales y horizontales permitan la disipación de energía manteniendo la estabilidad de la estructura.

(**) Para estructuras irregulares, los valores de R deberán ser tomados como los 3/4 de los anotados en la tabla.

Para las edificaciones de tierra, se hace referencia a la norma técnica de edificaciones E.080, no recomendando este tipo de edificaciones en suelos S₃, ni permitiéndolo en suelos S₄.

En la norma se establece que, de acuerdo a la categoría de la edificación y la zona donde se ubique, se debe proyectar y observar las características de regularidad empleando el sistema estructural indicado según la tabla:

Tabla 3.3-9 Regularidad asignada según la categoría, zona y sistema estructural de la edificación.

CATEGORÍA DE LA EDIFICACIÓN	REGULARIDAD ESTRUCTURAL	ZONA	SISTEMA ESTRUCTURAL
A (*)(**)	Regular	3	Acero, Muros de concreto armado, albañilería armada o confinada, sistema dual.
		2 Y 1	Acero, muros de concreto armado, albañilería armada o confinada sistema dual, madera.
B	Regular o irregular	3 y 2	Acero, muros de concreto armado, albañilería armada o confinada, sistema dual, madera.
		1	Cualquier sistema
C	Regular o irregular	3, 2 y 1	Cualquier sistema

(*) Para lograr los objetivos indicados en la norma, la edificación será especialmente estructurada para resistir sismos severos.

(**) Para pequeñas construcciones rurales, como escuelas y postas médicas, se podrá usar materiales tradicionales siguiendo las recomendaciones de las normas correspondientes a dichos materiales.

Para el **procedimiento de análisis**, se considera que cualquier estructura puede ser diseñada usando los resultados de los análisis dinámicos, sólo las estructuras clasificadas como regulares y de no más de 45 m de altura podrán analizarse mediante el procedimiento de fuerzas estáticas equivalentes.

En esta norma se establecen los **desplazamientos laterales permisibles** (a diferencia de su homóloga del año 1977), considerando el máximo desplazamiento relativo de entrepiso calculado por los métodos descritos en la norma, no debiendo exceder la fracción de la altura de entrepiso que se indica en la siguiente tabla:

Tabla 3.3-10 Límites de desplazamiento lateral de entrepiso N-97.

LÍMITES PARA DESPLAZAMIENTO LATERAL DE ENTREPISO	
MATERIAL PREDOMINANTE	$\left(\frac{\Delta_i}{h_{e_i}} \right)$
Concreto armado	0.007
Acero (*)	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010

(*) Estos límites no son aplicables a naves industriales.

Sobre las **juntas de separación**, todas las estructuras deben estar separadas de sus estructuras vecinas una distancia mínima (S), para evitar el contacto durante un movimiento sísmico, donde S no debe ser menor que $2/3$ de la suma de los desplazamientos máximos de los bloques adyacentes, ni menor que:

$$S = 3 + 0.004 \cdot (h - 500) \quad (\text{h y S en centímetros})$$

$$S > 3\text{cm}$$

Donde se tiene que h es la altura medida desde el nivel del terreno natural hasta el nivel considerado para evaluar S .

Condicionando que el edificio se retirará de los límites de propiedad adyacentes a otros lotes edificables, o con edificaciones, distancias no menores que $2/3$ del desplazamiento máximo calculado, ni menores que $S/2$.

Para el **control de giros en planta**, en cada una de las direcciones de análisis, el desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos, no debe ser mayor que 1.75 veces el desplazamiento relativo de los centros de masas.

Mientras que, para la **estabilidad del edificio**, deberá considerarse el efecto de la excentricidad de la carga vertical producida por los desplazamientos laterales de la edificación (efecto $P - \delta$). Para la estabilidad al volteo del conjunto, se verificará según se indica en el acápite de cimentaciones.

ANÁLISIS DE EDIFICIOS

La norma presenta las siguientes generalidades para el análisis de los edificios:

Sobre las **solicitaciones sísmicas y su análisis**, indica en forma clara que en concordancia con la filosofía de diseño sismorresistente, se acepta que las edificaciones asuman incursiones inelásticas, frente a las solicitaciones sísmicas severas. Por tanto, las solicitaciones sísmicas de diseño se consideran como una fracción de la sollicitación sísmica máxima elástica. El análisis se desarrolla utilizando las solicitaciones sísmicas reducidas con un modelo de comportamiento elástico para la estructura. Pudiendo realizar el análisis independiente en cada dirección, y para el total de la fuerza sísmica en cada caso.

El **peso de la edificación (P)**, es calculado adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga, el cual se determinará de la siguiente manera:

- a. En edificaciones de las categorías A y B, se tomará el 50% de la carga viva.
- b. En edificaciones de la categoría C, se tomara el 25% de la carga viva.
- c. En depósitos, el 80% del peso total que es posible almacenar.
- d. En azoteas y techos en general se tomará el 25% de la carga viva.
- e. En estructuras de tanques, silos y estructuras similares se considerará el 100% de la carga que puede contener.

De los modelos para el análisis de los edificios, este deberá considerar una distribución espacial de masas y rigideces, que sea adecuada para calcular los aspectos más significativos del comportamiento dinámico de la estructura. En los edificios que se pueda suponer razonablemente que los sistemas de piso funcionan como diafragmas rígidos, se podrá usar un modelo con masas concentradas y tres grados de libertad por diafragma, asociados a dos componentes ortogonales de traslación horizontal y uno de rotación. En tal caso, las deformaciones de los elementos, deberán compatibilizarse en función a las rigideces de los elementos resistentes; además debe verificarse que los diafragmas tengan la rigidez y resistencia suficiente para asegurar la distribución mencionada, en caso contrario, deberá tomarse en cuenta su flexibilidad para la distribución de las fuerzas sísmicas.

En el caso de los pisos altos que no constituyan diafragmas rígidos, los elementos resistentes serán diseñados para las fuerzas horizontales que directamente les corresponde.

Los desplazamientos laterales se calculan multiplicando por R los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico, con las solicitaciones sísmicas reducidas.

Los efectos de segundo orden (P – Delta), deberán ser considerados cuando produzcan un incremento de más del 10% en las fuerzas internas. Los efectos de segundo orden se estiman usando el siguiente cociente como índice de estabilidad por cada nivel.

$$Q = \frac{N_i \cdot \Delta_i}{V}$$

Estos efectos deberán ser tomados en cuenta cuando $Q > 0.1$

Mientras que, para las solicitaciones sísmicas verticales, estas se solicitarán en el diseño de elementos verticales, en elementos post o pre-tensados y en los voladizos o salientes de un edificio.

Método del **Análisis estático**, representa las sollicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas horizontales, actuando en cada nivel de la edificación. Este tipo de análisis, sólo se debe de emplear en edificios sin irregularidades y de baja altura según se establece en la norma.

- a) Se tiene el período fundamental de la estructura que se estima para cada dirección según la siguiente expresión.

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

Donde:

$C_T = 35$ Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente pórticos.

$C_T = 45$ Para edificios de concreto armado cuyos elementos sismorresistentes sean pórticos y las cajas de ascensores y escaleras.

$C_T = 60$ Para estructuras de mampostería y para todos los edificios de concreto armado cuyos elementos sismorresistentes sean fundamentalmente muros de corte.

- b) También podrá usarse un procedimiento de análisis dinámico que considere las características de rigidez y distribución de masas en la estructura. Como una forma sencilla de este procedimiento puede aplicarse la siguiente expresión:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_i \cdot D_i^2 \right)}{\left(g \cdot \sum_{i=1}^n F_i \cdot D_i \right)}$$

Cuando el procedimiento dinámico no considere el efecto de los elementos no estructurales, el período fundamental debe tomarse como el 0.85 del valor obtenido por este método.

De la **fuerza cortante en la base** de la estructura, en la dirección considerada, se determinará por la siguiente expresión:

$$V = Z \cdot U \cdot S \cdot C \cdot P$$

Considerándose para C/R el siguiente valor mínimo:

$$C/R \geq 0.1$$

La **distribución de la fuerza sísmica en la altura**, si se tiene el período fundamental, T, es mayor que 0.7 segundos, una parte de la fuerza cortante V, denominada Fa, deberá aplicarse como una fuerza concentrada en la parte superior de la estructura. Esta fuerza Fa se determina según la expresión:

$$Fa = 0.07 \cdot T \cdot V \leq 0.15 \cdot V$$

Donde el período T en la expresión será el mismo que el usado para la determinación de la fuerza cortante en la base.

El resto de la fuerza cortante, es decir V – Fa se distribuirá entre los distintos niveles, incluyendo el último, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$F_i = \frac{P_i \cdot h_i}{\sum_{j=1}^n P_j \cdot h_j} (V - Fa)$$

Para los **efectos de torsión**, la fuerza en cada nivel respectivo (F_i) se supondrá actuando en el centro de masas del nivel respectivo, debiendo considerarse además el efecto de excentricidades accidentales como se indica a continuación.

Para cada dirección de análisis, la excentricidad accidental en cada nivel (e) se considerará como 0.10 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la aplicación de las fuerzas. En cada nivel, además de la fuerza actuante, se aplicará el momento accidental denominado *Mt_i*, que se calcula a partir de:

$$Mt_i = \pm F_i \cdot e$$

Se puede suponer que las condiciones más desfavorables se obtienen considerando las excentricidades accidentales con el mismo signo en todos los niveles. Se

considerarán únicamente los incrementos de las fuerzas horizontales, más no así las disminuciones.

Para las **fuerzas sísmicas verticales**, estas se consideran como una fracción del peso. Para las zonas 2 y 3, esta fracción será de 0.30 y para la zona 1 no será necesario considerar este efecto.

El **análisis dinámico** de las edificaciones, podrá realizarse mediante procedimientos de superposición espectral o por medio de análisis tiempo – historia.

Para las edificaciones convencionales podrá usarse el procedimiento de superposición espectral; y para edificaciones especiales deberá usarse un análisis tiempo – historia.

Del **análisis por superposición espectral**, los períodos naturales o modos de vibración podrán determinarse por un procedimiento de análisis que considere apropiadamente las características de rigidez y la distribución de las masas de la estructura.

Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo – aceleraciones definido por.

$$S_a = \frac{Z \cdot U \cdot S \cdot C}{R} \cdot g$$

Para el análisis en la dirección vertical, podrá usarse un espectro con valores iguales a los 2/3 del espectro empleado para la dirección horizontal.

En esta norma se explica que mediante los **cráterios de superposición** que se indican, se podrá obtener la respuesta máxima esperada (r), tanto para las fuerzas internas en los elementos componentes de la estructura, como para los parámetros globales del edificio, la fuerza cortante en la base, las fuerzas cortantes de entrepiso, los momentos de volteo, y los desplazamientos totales y relativos de entrepiso.

La respuesta máxima elástica esperada (r) correspondiente al efecto conjunto de los diferentes modos de vibración empleados (r_i), podrá determinarse usando la siguiente expresión.

$$r = 0.25 \sum_{i=1}^m |r_i| + 0.75 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m r_i^2}$$

Alternativamente, la respuesta máxima se estimará mediante la combinación cuadrática completa de los valores calculados para cada modo.

En cada dirección se consideran modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90% de la masa de la estructura, pero deberá tomarse en cuenta por lo menos los tres primeros modos predominantes en la dirección de análisis.

Para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, la **fuerza cortante mínima en la base** del edificio, no podrá ser menor que el 80% del valor calculado para estructuras regulares, ni menor que el 90% para estructuras irregulares.

Si fuera necesario incrementar la fuerza cortante para cumplir los mínimos señalados, se deberá escalar proporcionalmente todos los otros resultados obtenidos, excepto los desplazamientos.

Para los **efectos de torsión**, la incertidumbre en la localización de los centros de masa en cada nivel, se considerará mediante una excentricidad accidental perpendicular a la dirección del sismo igual a 0.10 veces la dimensión del edificio, en la dirección perpendicular a la dirección de análisis. En cada caso deberá considerarse el signo más desfavorable.

Del **análisis tiempo – historia**, se podrá realizar suponiendo un comportamiento lineal y elástico, utilizando no menos de cinco registros de aceleraciones horizontales, correspondientes a sismos reales o artificiales. Estos registros deben normalizarse de manera que, la aceleración máxima corresponda al valor máximo esperado en el sitio. En el caso de edificaciones especialmente importantes, el análisis dinámico tiempo – historia se efectuará considerando el comportamiento inelástico de los elementos de la estructura.

CIMENTACIONES

Se consideran como **generalidades** las suposiciones que se hagan para los apoyos de la estructura debiendo ser concordantes con las características propias del suelo de cimentaciones. El diseño de las cimentaciones debe hacerse de manera compatible con la distribución de fuerzas obtenidas del análisis de la estructura.

Sobre la **capacidad portante**, en todo estudio de mecánica de suelos deben considerarse los efectos de los sismos, para la determinación de la capacidad portante del suelo de cimentación. En los sitios que pueda producirse licuefacción del suelo, se efectuará una investigación geotécnica que evalúe dicha posibilidad y determine la solución más adecuada, considerando que, para el cálculo de las presiones admisibles sobre el suelo de cimentación bajo acción sísmica deben emplearse los factores

mínimos, indicados en la norma técnica de edificaciones E-050 "Suelos y Cimentaciones".

Sobre el **momento de volteo**, toda estructura y su cimentación deberán ser diseñadas para resistir el momento de volteo que produce un sismo. El factor de seguridad será mayor o igual que 1.5.

Para **zapatas aisladas** con o sin pilotes en suelos tipo S_3 y S_4 y para las zonas 3 y 2, se preverá elementos de conexión, los que deben soportar en tracción o compresión, una fuerza horizontal mínima equivalente al 10% de la carga vertical que soporta la zapata.

Para el caso de **pilotes y cajones**, deberán preverse de vigas de conexión o tenerse en cuenta los giros y deformaciones por efecto de la fuerza horizontal, diseñando pilotes y zapatas para estas solicitaciones. Se considera que los pilotes tendrán una armadura en tracción equivalente o por lo menos del 15% de la carga vertical que soportan.

ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES Y EQUIPO

La norma establece como elementos no-estructurales, a aquellos que estando o no conectados al sistema resistente o fuerzas horizontales, presenten un aporte despreciable a la rigidez del sistema. Para el caso en que los elementos no estructurales estén aislados del sistema estructural principal, se deberán diseñar para resistir una fuerza sísmica (V) asociada a su peso (P) tal como se indica a continuación:

$$V = Z \cdot U \cdot C_1 \cdot P$$

Donde los valores de U corresponde a los indicados anteriormente, y los valores de C_1 se tomarán de la siguiente tabla.

Tabla 3.3-11 Valores de C_1 según los elementos no estructurales a diseñar N-97.

DESCRIPCIÓN	C_1
- Elementos que al fallar puedan precipitarse fuera de la edificación en la cual la dirección de la fuerza es perpendicular a su plano. - Elementos cuya falla entrañe peligro para personas u otras estructuras.	2.0
- Muros dentro de una edificación (dirección de la fuerza perpendicular a su plano).	0.75
- Cercos	0.50
- Tanques, torres, letreros y chimeneas conectadas a una parte del edificio considerando la fuerza en cualquier dirección.	0.75
- Pisos y techos que actúan como diafragmas con la dirección de la fuerza en su plano.	0.50

Para los elementos no estructurales que estén unidos al sistema estructural principal y deban acompañar la deformación de la misma, debe asegurarse que, en caso de falla, no causen daños personales. La conexión de equipos e instalaciones dentro de una edificación debe ser responsabilidad del especialista correspondiente. Cada especialista deberá garantizar que estos equipos e instalaciones no constituyan un riesgo durante un sismo, si se tratara de instalaciones esenciales se debe garantizar además la continuidad de su operatividad.

EVALUACIÓN Y REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DAÑADAS POR SISMOS

En esta norma se contempla los siguientes puntos:

Las estructuras dañadas por efectos del sismo deben ser evaluadas y reparadas, de tal manera que se corrijan los posibles defectos estructurales que provocaron la falla y puedan recuperar la capacidad de resistir un nuevo evento sísmico, acorde con los objetivos del diseño sismorresistente.

Ocurrido el evento sísmico la estructura deberá ser evaluada por un Ingeniero Civil, quien se encargará de determinar si el estado de la edificación hace necesario el reforzamiento, reparación o demolición de la misma. El estudio debe necesariamente considerar las características geotécnicas del sitio.

La reparación debe ser capaz de dotar a la estructura de una combinación adecuada de rigidez, resistencia y ductilidad, que garanticen su buen comportamiento en eventos futuros.

El proyecto de reparación y reforzamiento incluirá los detalles, procedimientos y sistemas constructivos a seguirse.

INSTRUMENTACIÓN

Los registradores acelerográficos deberán ser provistos por el propietario, con especificaciones técnicas aprobadas por el Instituto Geofísico del Perú.

En todas las zonas sísmicas, cada edificio de más de 20 pisos de altura, construcciones con un agregado de área acumulada de pisos igual o mayor de 10,000 m², y construcciones de tipo A, con área agregada de pisos mayor de 10,000 m², deberán instrumentarse con no menos de dos registradores acelerográficos.

En las zonas sísmicas 2 y 3, todo edificio de 25 o más pisos de altura y construcciones con un agregado de área de pisos igual o mayor de 15,000 m², tendrán que instrumentarse con no menos de tres registradores acelerográficos.

En las zonas 2 y 3, los edificios de 15 a 24 pisos inclusive, independientemente del área acumulada de pisos, y toda construcción del tipo A y B localizadas en colinas, áreas cercanas a acantilados, fallas geológicas activas o áreas de comprobada amplificación sísmica, se instrumentarán con no menos de dos registradores acelerográficos.

Los instrumentos serán colocados en los puntos señalados por el Ingeniero Civil, responsable del proyecto estructural, reservándose un instrumento para ser ubicado en un campo libre de la influencia del edificio. La ubicación de los instrumentos en el edificio debe identificarse claramente en los planos de arquitectura, teniendo en cuenta un acceso fácil para su mantenimiento y una apropiada iluminación, ventilación, suministro de energía eléctrica, y seguridad física.

El **mantenimiento** operativo, partes y componentes, material fungible y servicio de los instrumentos deben ser provistos por los propietarios del edificio bajo control del Instituto Geofísico del Perú. La responsabilidad se mantendrá por 10 años.

La **disponibilidad de los datos**, los acelerogramas registrados por los instrumentos, serán procesados por el Instituto Geofísico del Perú e integrados al Banco Nacional de Datos Geofísicos.

Esta información es de dominio público y estará disponible a los usuarios a pedido.

Para obtener la **conformidad de obra**, y bajo responsabilidad del funcionario competente, el propietario debe presentar un certificado de instalación, expedido por el Instituto Geofísico del Perú y además un contrato de servicio de mantenimiento operativo de los instrumentos.

Para fines de la norma sismorresistente se aplicará la siguiente clasificación de los sismos:

- | | |
|--------------------------|---|
| 1. Sismos leves. | Sismos con intensidades de grado igual o menores a VI MSK o MM. |
| 2. Sismos moderados. | Sismos con intensidades de grados VII y VIII MSK o MM. |
| 3. Sismos severos. | Sismos con intensidad de grado IX MSK o MM. |
| 4. Sismos catastróficos. | Sismos con intensidades de grado X o más MSK o MM. |

3.4 Comparación de los parámetros técnicos en cada norma

Se describe en forma general los cambios sobre los parámetros que son utilizados en cada norma.

Como se observará en el análisis, con la N-97 se obtienen fuerzas de diseño similares a las de la N-77, sin embargo los desplazamientos laterales resultan mayores a los obtenidos con la N-77 en más de tres veces.

3.4.1 *Análisis de la situación actual*

En la actualidad se ha promulgado la nueva norma de diseño sismorresistente (2004), la cual técnicamente es menos rigurosa que la N-97, debido a una reducción del 25% en la obtención de los desplazamientos inelásticos. A continuación se describirá en forma breve el por qué de algunos cambios de la N-97 con respecto a la N-77.

Los centros educativos, diseñados y construidos bajo la N-77, poseen una configuración y forma definida, mas no presentan limitaciones a su respuesta sísmica.

Después del sismo ocurrido en Nazca (Perú) el 12 de noviembre de 1996 ($M_w = 7.7$), que afectó severamente a los centros educativos, se hizo necesaria la revisión de la N-77, que años atrás ya estaba siendo modificada; es así que en el año 1997 se promulga la nueva norma de diseño sismorresistente: Norma Técnica de Edificación E.030, en la cual se presenta cambios significativos, los cuales son motivos de esta investigación.

Nuestro elemento de juicio son los centros educativos.

3.4.2 *Alcances y objetivos*

La norma de diseño sismorresistente tiene como objetivo básico el reducir el riesgo sísmico:

$$\text{Riesgo Sísmico} = \text{Peligro Sísmico} \times \text{Vulnerabilidad} \times \text{Costo}$$

La norma establece un análisis del peligro sísmico y la vulnerabilidad de las estructuras, estudiando el comportamiento sísmico, el cual tiene como dato de partida las características de los sismos que ocurren en nuestro país. Este proceso se muestra gráficamente a continuación:

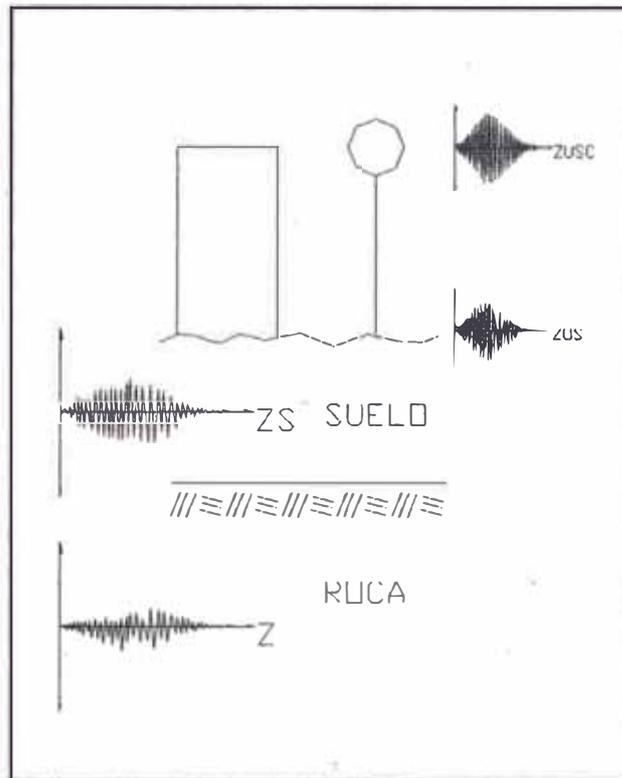


Gráfico 3.4.2 – 1 Proceso de cálculo del sismo de diseño, efectuado por las Normas Técnicas de Edificación E.030.

Donde se tiene un sismo de entrada (Z) en la base rocosa, el cual es afectado por los factores: tipo de suelo (S), el comportamiento esperado de la edificación de acuerdo a la función que cumplirá, con un coeficiente de uso (U), y la amplificación sísmica que es la respuesta estructural de la edificación a la aceleración del suelo (C).

Entre los cambios se tiene, que la N-97 describe en sus alcances los requisitos del comportamiento sísmico, mientras que en la N-77 plantea que la edificación sea sismorresistente.

En la N-97 se definen los objetivos sismorresistentes, los cuales se relacionan con la clasificación de los sismos, la forma y la información mínima que debe presentar un proyecto estructural, lo que no refiere la N-77.

3.4.3 Parámetros de sitio: Zonificación sísmica, factor de Zona (Z)

Podemos describir el cambio en la zonificación sísmica, en la N-97 se tiene tres zonas, similar a la N-77, numeradas 1,2 y 3 pero en forma inversa, y mientras que la zona 1 de la N-97 posee la menor probabilidad de ocurrencia de un sismo severo, la N-77 posee un mayor peligro sísmico. El área geográfica que abarca cada zona se modificó en la

N-97, estas modificaciones se pueden observar en los gráficos: (Gráfico 3.4.3 -1, Gráfico 3.4.3-2)



Gráfico 3.4.3 – 1 Zonas sísmicas según N-97

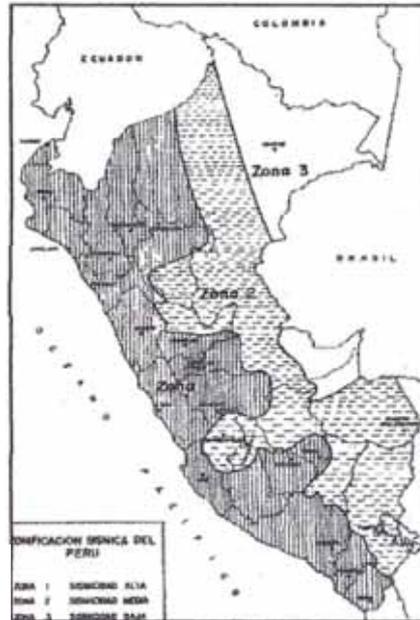


Gráfico 3.4.3 – 2 Zonas sísmicas según N-77.

Para las edificaciones, en forma común se considera un tiempo de vida útil de 50 años, este sería el tiempo en el cual la estructura se encuentra expuesta a la ocurrencia de un sismo con 10% de probabilidad de excedencia, esto correspondería a la aceleración máxima de un sismo con un período de retorno de 475 años aproximadamente.

Para la N-77 el factor de zona varía desde 1 para la zona de mayor sismicidad, fundamentalmente en la costa, 0.7 y 0.3 para las demás zonas. Mientras que en la N-97 el factor de zona (Z) es el valor de la aceleración que se asigna en la base rocosa, correspondiendo al tiempo de exposición y peligro sísmico para edificios comunes. De la misma forma que en la N-77 se otorgan valores de la aceleración 0.4g para la zona 3, 0.3g y 0.15g para las demás zonas, representando el factor Z la aceleración de diseño en la base rocosa.

Se establece que la aceleración de diseño es diferente en las estructuras que no son edificaciones, debido a que el riesgo y el tiempo de exposición son diferentes.

En la siguiente tabla (Tabla 3.4.3-1) presentamos las variaciones de este factor:

Tabla 3.4.3-1 variación de la zonificación sísmica y el factor de zona.

ZONA		FACTOR Z	
N-77	N-97	N-77	N-97
1	3	1.0	0.40
2	2	0.7	0.30
3	1	0.3	0.15

3.4.4 De la categoría de las edificaciones: Coeficiente (U)

Este coeficiente representa la importancia de la edificación. En ambas normas se tienen valores similares. Para la N-77 el coeficiente de uso para la categoría A es calculado, detallando el proyectista el estudio justificatorio y en ningún es menor que el asignado a la categoría B ($U = 1.3$). Para la N-97 la categoría A posee un valor predeterminado del factor de uso 1.5 las demás categorías en las normas tienen el mismo valor.

Se presenta la siguiente tabla (Tabla 3.4.4-1) de la clasificación de las edificaciones según cada norma.

Tabla 3.4.4-1 Clasificación de las edificaciones según cada norma.

CAT.	N-77	USO (U)	N-97	USO (U)
A	Edificaciones especiales , cuya falla además del peligro propio del colapso, representa un peligro adicional importante. Se incluye en esta categoría las estructuras para reactores atómicos, grandes hornos, depósitos inflamables y otros similares.	≥ 1.3	Edificaciones esenciales , cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después que ocurra un sismo, como hospitales, centrales de comunicaciones, cuarteles de bomberos y policía, subestaciones eléctricas, reservorios de agua. Centros educativos y edificaciones que pueden servir de refugio después de un desastre. También se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, como grandes hornos, depósitos de materiales inflamables o tóxicos.	1.5
B	Edificaciones especialmente importantes , cuando ocurre un sismo por prestar servicios vitales que no deben de ser interrumpidos o que al fallar causarían pérdidas directas o indirectas excepcionalmente altas comparativamente con el costo requerido para aumentar su seguridad. Dentro de esta categoría están los hospitales, centrales telefónicas, estaciones de radio, estaciones de bomberos, sub-estaciones eléctricas, silos tanques de agua, colegios, estadios, auditorios, templos, salas de espectáculos, archivos y registros públicos, museos y en general locales que alojan gran cantidad de personas o equipos especialmente costosos.	1.3	Edificaciones importantes . Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas como teatros, estadios, centros comerciales, establecimientos penitenciarios o que guardan patrimonios valiosos como museos, bibliotecas y archivos especiales. También se consideran depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1.3
C	Edificaciones comunes , cuya falla ocasionaría pérdidas de magnitud intermedia, tales como: departamentos u oficinas, hoteles, casa – habitación, edificios comerciales, restaurantes, almacenes, depósitos y edificios industriales.	1.0	Edificaciones comunes , cuya falla ocasionaría pérdidas de cuantía intermedia como viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios, fugas de contaminantes, etc.	1.0
D	Edificios cuyas fallas por sismos implican un costo reducido y normalmente no causan daño por consecuencia de su falla. Se incluye en esta categoría los cercos con alturas no mayores de 1.50 m, casetas, almacenes provisionales y otros similares.	(*)	Edificaciones cuya falla causan pérdidas de menor cuantía y normalmente la probabilidad de causar víctimas es baja, como cercos de menos de 1.50 m de altura, depósitos temporales, pequeñas viviendas temporales y construcciones similares.	(*)

(*) En estas edificaciones, a criterio del proyectista, se podrá omitir el análisis por fuerzas sísmicas, pero deberá proveerse de la resistencia y rigidez adecuadas para acciones laterales.

Se tiene un cambio importante en las categorías A y B en la descripción de las estructuras que estarían clasificadas como tales.

Se puede observar las siguientes diferencias:

Categoría A

La N-77 las denomina como edificaciones especiales. La N-97 las considera edificaciones esenciales, el uso de la terminología adecuada es de gran importancia e implicancia. En la N-97: los hospitales, centros educativos y otras edificaciones son clasificadas como categoría A, dándole una mayor importancia a las estructuras que puedan servir como refugio después de un sismo.

Categoría B

La N-77 las denomina como edificaciones especialmente importantes, la N-97 las considera como edificaciones importantes, nuevamente se repite el cambio de la terminología.

En las categorías siguientes no se tiene una diferencia significativa.

3.4.5 De las condiciones geotécnicas: factor (S), factor de amplificación sísmica(C)

La aceleración esperada en la base rocosa del emplazamiento de una obra, se modifica al pasar por los estratos del suelo hasta llegar a la cimentación. Estos cambios dependen de las características del perfil del suelo de cimentación (13), este comportamiento está asociado a un factor del suelo S y a un factor de amplificación sísmica C , el cual depende del período que define la plataforma del espectro para cada tipo de suelo T_p y del período fundamental de la estructura T . El factor S permite estimar la amplificación sísmica provocada desde la base rocosa hasta llegar a la cimentación, los cuales poseen los mismos valores en cada una de las normas.

Mientras que, el T_p corresponde al extremo derecho de la plataforma horizontal del espectro de aceleraciones. En todos los casos, T_p es mayor al período fundamental del perfil del suelo, estos valores son similares en ambas normas.

Se muestra en la siguiente tabla (Tabla 3.4.5-1) los parámetros establecidos para cada norma.

Tabla 3.4.5-1 Condiciones geotécnicas para cada norma.

NBD-77			NTE-E.030-97		
SUELO	S	Ts (s)	TIPO	S	Tp (s)
I	1	0.3	S1	1	0.4
II	1.2	0.6	S2	1.2	0.6
III	1.4	0.9	S3	1.4	0.9
			S4	(*)	

(*) Los valores de T_p y S para este caso serán establecidos por el especialista, pero en ningún caso serán menores que los especificados para el perfil tipo S_3 .

El factor de amplificación sísmica (C) posee cambios en el método de cálculo, estos representan o permiten estimar una amplificación de aceleraciones de la respuesta estructural, con respecto a la aceleración del suelo. En la N-77 el C representa el coeficiente sísmico, en la N-97 representa la amplificación de las aceleraciones.

En la siguiente tabla se tienen las consideraciones para el coeficiente sísmico de la N-77 y del coeficiente de amplificación sísmica N-97.

Tabla 3.4.5-2 Coeficiente sísmico N-77, coeficiente de amplificación sísmica N-97.

NBD-77	NTE-E.030-97
C: coeficiente sísmico	C: coeficiente de amplificación sísmica
$C = \frac{0.8}{\frac{T}{T_s} + 1.0}$	$C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p}{T} \right)^{1.25}$
$0.16 \leq C \leq 0.4$ $0.3 \leq T_s \leq 0.9$	$C \leq 2.5$
T_s : Período predominante del suelo en segundos. T : Período fundamental de la estructura.	T_p : Período que define la plataforma del espectro para cada tipo de suelo. T : Período fundamental de la estructura.

3.4.6 Del sistema estructural

La N-77 clasifica las estructuras por tipo, por sus características según el material usado y el sistema de estructuración para resistir las fuerzas sísmicas. Para cada tipo se le asigna un R_d el cual se define como un factor de ductilidad. La N-97 las clasifica como sistemas estructurales, según los materiales usados, asignando un R el cual se define como el coeficiente de reducción. Se muestra en la siguiente Tabla (Tabla 3.4.6-1) la clasificación de los sistemas estructurales considerados por cada norma.

Tabla 3.4.6-1 Clasificación de estructuras N-77, Clasificación de sistemas estructurales N-97.

NBD-77				NTE-E.030-97		
Tipo	Características de la edificación	Rd	ALT	Sistema estructural	R para estructuras regulares (**)(***)	ALT
E1	Edificios de concreto armado cuyos pórticos dúctiles especiales son capaces de resistir el 100% de la fuerza horizontal, considerándose que actúan independientemente de cualquier otro elemento rígido. Edificios de pórtico de acero.	6	–	Pórticos de acero Con nudos rígidos y / o sistemas de arriostramiento.	10	–
E2	Edificios de concreto armado con pórticos dúctiles especiales y muros de corte especiales diseñados según los siguientes criterios: a) Los pórticos y muros de corte resistirán la fuerza horizontal total de acuerdo a sus rigideces relativas considerando la interacción entre pórticos y muros. b) Los pórticos tendrán capacidad para resistir no menos del 25% de la fuerza horizontal, actuando independientemente.	5	–	Pórticos de concreto armado. Sistema en que las cargas verticales y horizontales son resistidas únicamente por pórticos de concreto armado.	10	–
E3	Edificios similares a los del caso anterior excepto que sus pórticos y / o muros no satisfacen íntegramente los especiales de ductilidad. Edificios de madera y de acero no incluidos en otros casos.	4	–	Sistema dual Sistema en el cual las fuerzas horizontales son resistidas por una combinación de pórticos y muros de concreto armado en adición a la caja de ascensores o escaleras. Los pórticos deberán ser diseñados para tomar por lo menos el 25% de la fuerza cortante en la base.	10	–
E4	Edificios en los que las fuerzas horizontales son resistidas básicamente por muros de corte o estructuras similares. Tanques elevados, silos y estructuras tipo péndulo invertido (50% de la masa en el extremo superior) en general y no soportadas por un edificio (*)	3	–	Muros de concreto armado Sistema en que la resistencia sísmica está dada fundamentalmente por muros de concreto armado.	7.5	–
E5	Edificios con muro de albañilería confinada o armada.	2.5	16	Albañilería armada o confinada Sistema en el cual los muros de albañilería resisten cargas verticales y horizontales. El sistema puede incluir algunos elementos de concreto armado para resistir estas cargas.	6	15
E6	Edificios con muros de albañilería sin confinar, construcciones de adobe y otras no contempladas en esta clasificación.	1.5	7	Construcciones de madera	7	8

(*) La fuerza horizontal mínima de diseño H, será de 0.12 P, para las zonas 1, 2 y de 0.08 P para la zona 3. Para tanques deberá de tomarse en cuenta los efectos por oscilación del líquido almacenado.

(**) Estos coeficientes se aplicaran únicamente a estructuras en las que los elementos verticales y horizontales permitan la disipación de energía manteniendo la estabilidad de la estructura.

(***) Para estructuras irregulares, los valores de R deberán ser tomados como los 3/4 de los anotados en la tabla.

3.4.7 El coeficiente sísmico

La N-77, N-97 establecen como la fuerza cortante en la base de la estructura, a las calculadas de la siguiente expresión:

$$H = \left(\frac{Z \cdot U \cdot S \cdot C}{R_d} \right) \cdot P, \text{ N-77} \qquad V = \left(\frac{Z \cdot U \cdot S \cdot C}{R} \right) \cdot P, \text{ N-97}$$

En donde R_d es el factor de ductilidad para la N-77, R el coeficiente de reducción de la fuerza sísmica para la N-97. Los cuales permiten diseñar las estructuras con fuerzas menores a las que soportarían de comportarse elásticamente durante el sismo de diseño.

Para la N-97 usando en la expresión $R = 1$ se puede decir que el producto $ZUSC$ representa el coeficiente sísmico, mientras que con el termino R sería el coeficiente sísmico elástico o reducido, si en la N-77 empleamos el valor de 1 para el factor de ductilidad obtendríamos la misma expresión (13).

La diferencia que existe entre los factores de ductilidad y de reducción establecidos, por cada una de las normas, se aproxima a 2.5 veces en la N-97 con respecto a la N-77, compensándose con el incremento del coeficiente sísmico elástico en la N-97 (aproximadamente), dando como resultado fuerzas de diseño similares en ambas normas.

Se ha realizado una comparación del coeficiente sísmico inelástico para cinco sistemas estructurales.

Para la realización de las comparaciones que presentamos a continuación se han tenido en consideración los siguientes parámetros (ver Tabla 3.4.7-1, Tabla 3.4.7-2):

Tabla 3.4.7-1 Parámetros considerados para edificaciones categoría B

Parámetros considerados para edificaciones categoría B			
	Características	N-77	E.030-97
ZONA	Costa Peruana	1	3
Factor de Zona (Z)		1	0.4
Factor de Uso (U)	Categoría B	1.3	1.3
Parámetro de suelo (S)	Roca o suelos muy rígidos	1	1
Parámetro de suelo (T_p)	Roca o suelos muy rígidos	0.3	0.4

Para el caso de los centros educativos, diseñados con la N-97 considerados categoría A en la cual el factor de uso sería 1.5

Tabla 3.4.7-2 Parámetros considerados para centros educativos

Parámetros considerados para Centros Educativos			
	Características	N-77	E.030-97
ZONA	Costa Peruana	1	3
Factor de Zona (Z)		1	0.4
Factor de Uso (U)	Centros educativos	1.3	1.5
Parámetro de suelo (S)	Roca o suelos muy rígidos	1	1
Parámetro de suelo (T _p)	Roca o suelos muy rígidos	0.3	0.4

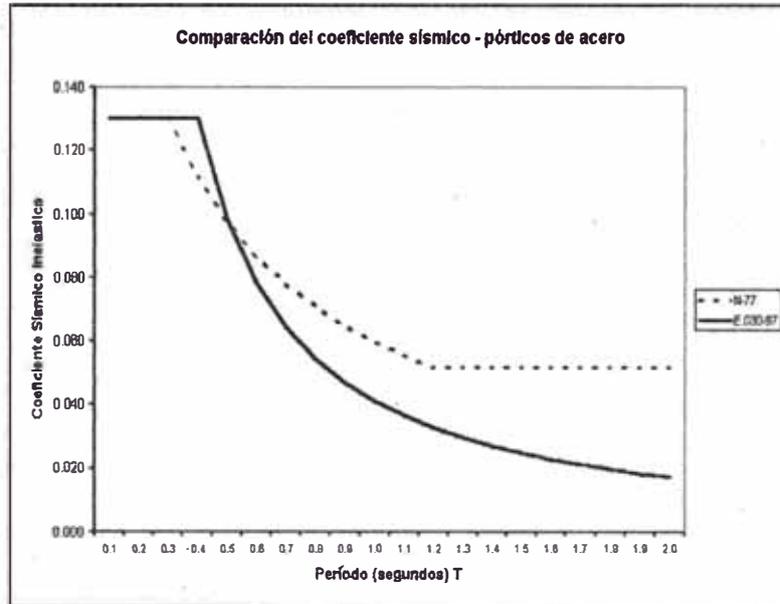


Gráfico 3.4.7- 1 Coeficiente sísmico inelástico (N-97, N-77) para pórticos de acero. Estructuras categoría B.

Del gráfico 3.4.7-1 el coeficiente sísmico inelástico para estructuras categoría B sistema pórticos de acero, presenta el mismo valor para períodos menores a 0.3 segundos; a partir de este período se tiene un aumento del coeficiente en la N-97 con un valor máximo de 17% en el período de 0.4 segundos, debido al cambio del T_p (de 0.3 a 0.4 segundos) disminuyendo progresivamente conforme aumenta el período, en función al coeficiente C (coeficiente de amplificación sísmica). A partir del período 0.55 segundos el coeficiente sísmico inelástico calculado para la N-97 es menor que el calculado para la N-77.

Este gráfico es usado para el cálculo de los desplazamientos en la estructura.

Para el diseño estructural se usa la misma metodología en la determinación de la fuerza, truncando el coeficiente sísmico inelástico para el valor de $C/R = 0.1$,

$ZUCS/R = 0.052$ (Coeficiente sísmico inelástico = 0.052), periodo $T = 0.90$ segundos, el mismo valor para la N-77, a partir del periodo $T = 1.2$ segundos.

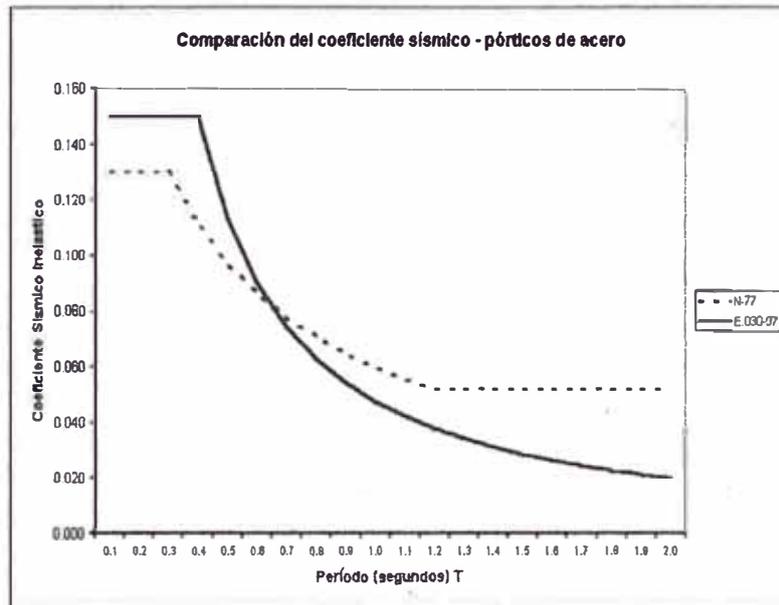


Gráfico 3.4.7 - 2 Coeficiente sísmico inelástico (N-97, N-77) para pórticos de acero. Centros educativos.

Del gráfico 3.4.7-2 el coeficiente sísmico inelástico para edificaciones escolares sistema pórticos de acero, presenta un incremento del 15% para la N-97, debido al cambio de categoría de los centros educativos donde se asigna un factor de uso o importancia de 1.5, a diferencia de la N-77 donde se asigna el valor de 1.3. Disminuyendo progresivamente a partir del periodo $T = 0.4$ segundos, en función del valor de C (Coeficiente de amplificación sísmica). A partir del periodo 0.65 segundos el coeficiente sísmico inelástico calculado para la N-97 es menor que el calculado para la N-77.

Este gráfico es usado para el cálculo de los desplazamientos en la estructura.

Para el diseño estructural se usa la misma metodología en la determinación de la fuerza, truncando el coeficiente sísmico inelástico para el valor de $C/R = 0.1$,

$ZUCS/R = 0.060$ (Coeficiente sísmico inelástico = 0.060), periodo $T = 0.90$ segundos, 15% superior al de la N-77 (Coeficiente sísmico inelástico = 0.052) que se trunca a partir del periodo $T = 1.2$ segundos.

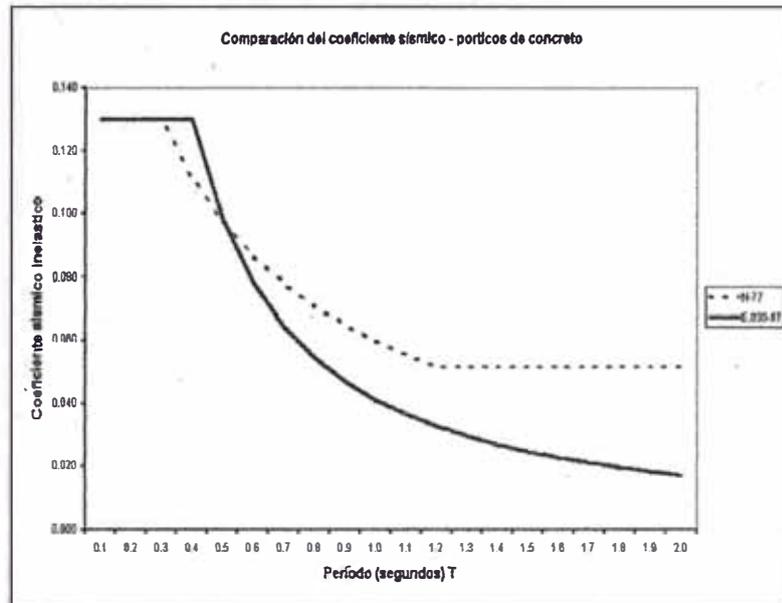


Gráfico 3.4.7 – 3 Coeficiente sísmico inelástico (N-97, N-77) para pórticos de concreto armado. Estructuras categoría B

Del gráfico 3.4.7-3 el coeficiente sísmico inelástico para estructuras categoría B sistema pórticos de concreto armado, presenta el mismo valor para períodos menores a 0.3 segundos, a partir de este período se tiene un aumento del coeficiente en la N-97 con un valor máximo de 17% en el período de 0.4 segundos, debido al cambio del T_p (de 0.3 a 0.4 segundos) disminuyendo progresivamente conforme aumenta el período, en función al coeficiente C (coeficiente de amplificación sísmica). A partir del período 0.55 segundos el coeficiente sísmico inelástico calculado para la N-97 es menor que el calculado para la N-77.

Este gráfico es usado para el cálculo de los desplazamientos en la estructura.

Para el diseño estructural se usa la misma metodología en la determinación de la fuerza, truncando el coeficiente sísmico inelástico para el valor de $C/R = 0.1$, $ZUCS/R = 0.052$ (Coeficiente sísmico inelástico = 0.052), período $T = 0.90$ segundos, el mismo valor para la N-77, a partir del período $T = 1.2$ segundos.

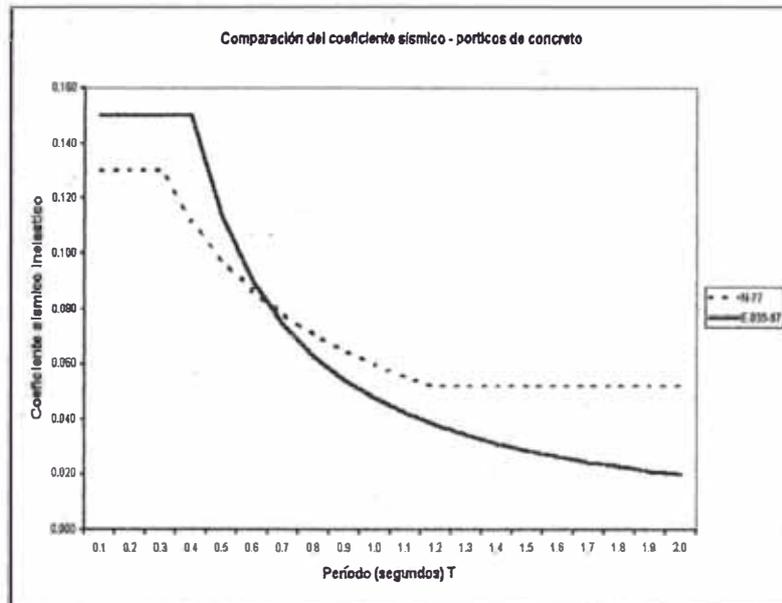


Gráfico 3.4.7 – 4 Coeficiente sísmico inelástico (N-97,N-77) para pórticos de concreto. Centros educativos.

Del gráfico 3.4.7-4 el coeficiente sísmico inelástico para edificaciones escolares sistema pórticos de concreto armado, presenta un incremento del 15% en la N-97, debido al cambio de categoría de los centros educativos donde se asigna un factor de uso o importancia de 1.5, a diferencia de la N-77 donde se asigna el valor de 1.3. Disminuyendo progresivamente a partir del período $T = 0.4$ segundos en función del valor de C (Coeficiente de amplificación sísmica). A partir del período 0.65 segundos el coeficiente sísmico inelástico calculado para la N-97 es menor que el calculado para la N-77.

Este gráfico es usado para el cálculo de los desplazamientos en la estructura.

Para el diseño estructural se usa la misma metodología en la determinación de la fuerza, truncando el coeficiente sísmico inelástico para el valor de $C/R = 0.1$,

$ZUCS/R = 0.060$ (Coeficiente sísmico inelástico = 0.060), período $T = 0.90$ segundos,

15% superior al de la N-77 (Coeficiente sísmico inelástico = 0.052) que se trunca a partir del período $T = 1.2$ segundos.

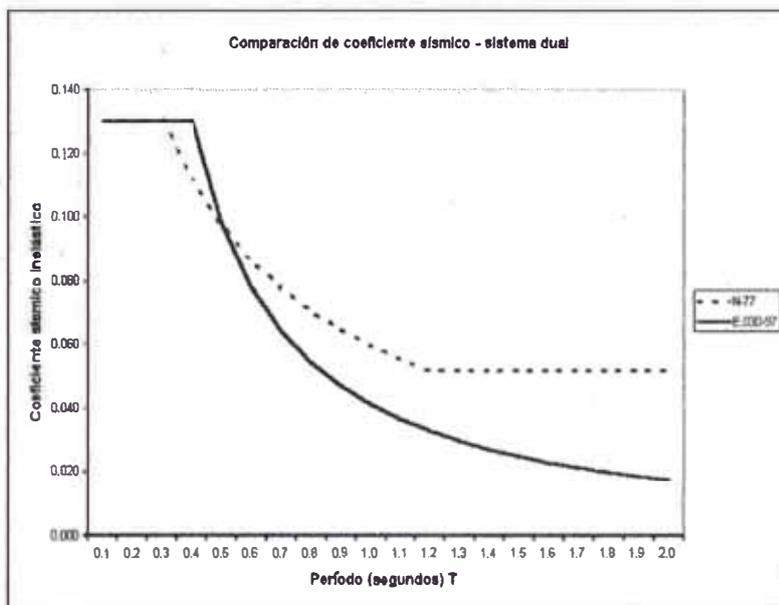


Gráfico 3.4.7 – 5 Coeficiente sísmico inelástico (N-97, N-77) para el sistema dual. Estructuras categoría B.

Del gráfico 3.4.7-5 el coeficiente sísmico inelástico para estructuras categoría B sistema dual, presenta el mismo valor para períodos menores a 0.3 segundos, a partir de este período se tiene un aumento del coeficiente en la N-97 con un valor máximo de 17% en el período de 0.4 segundos, debido al cambio del T_p (de 0.3 a 0.4 segundos) disminuyendo progresivamente conforme aumenta el período, en función al coeficiente C (coeficiente de amplificación sísmica). A partir del período 0.55 segundos el coeficiente sísmico inelástico calculado para la N-97 es menor que el calculado para la N-77.

Este gráfico es usado para el cálculo de los desplazamientos en la estructura.

Para el diseño estructural se usa la misma metodología en la determinación de la fuerza, truncando el coeficiente sísmico inelástico para el valor de $C/R = 0.1$, $ZUCS/R = 0.052$ (Coeficiente sísmico inelástico = 0.052), período $T = 0.90$ segundos, el mismo valor para la N-77, a partir del período $T = 1.2$ segundos.

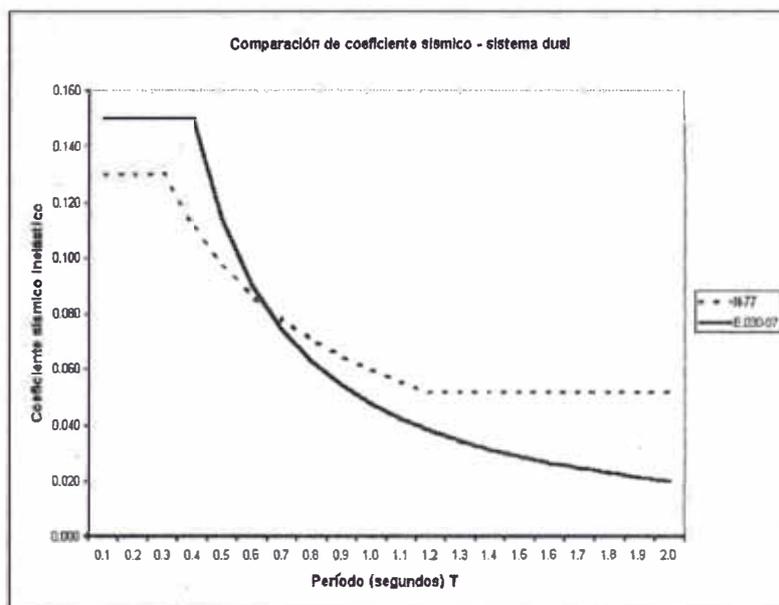


Gráfico 3.4.7 – 6 Coeficiente sísmico inelástico (N-97,N-77) sistema dual,. Centros educativos.

Del gráfico 3.4.7-6 el coeficiente sísmico inelástico para edificaciones escolares sistema dual, presenta un incremento del 15% en la N-97, debido al cambio de categoría de los centros educativos donde se asigna un factor de uso o importancia de 1.5, a diferencia de la N-77 donde se asigna el valor de 1.3. Disminuyendo progresivamente a partir del período $T = 0.4$ segundos, en función del valor de C (Coeficiente de amplificación sísmica). A partir del período 0.65 segundos, el coeficiente sísmico inelástico calculado para la N-97 es menor que el calculado para la N-77.

Este gráfico es usado para el cálculo de los desplazamientos en la estructura.

Para el diseño estructural se usa la misma metodología en la determinación de la fuerza, truncando el coeficiente sísmico inelástico para el valor de $C/R = 0.1$,

$ZUCS/R = 0.060$ (Coeficiente sísmico inelástico = 0.060), período $T = 0.90$ segundos,

15% superior al de la N-77 (Coeficiente sísmico inelástico = 0.052) que se trunca a partir del período $T = 1.2$ segundos.

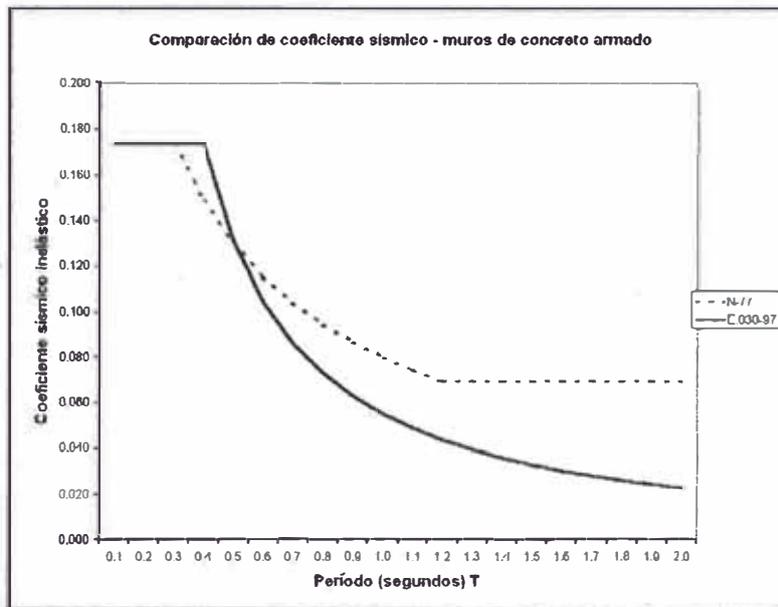


Gráfico 3.4.7 – 7 Coeficiente sísmico inelástico (N-97, N-77) Para muros de concreto armado. Estructuras categoría B.

Del gráfico 3.4.7-7 el coeficiente sísmico inelástico para estructuras categoría B sistema muros de concreto armado, presenta el mismo valor para períodos menores a 0.3 segundos, a partir de este periodo se tiene un aumento del coeficiente en la N-97 con un valor máximo de 17% en el período de 0.4 segundos, debido al cambio del T_p (de 0.3 a 0.4 segundos) disminuyendo progresivamente conforme aumenta el período, en función al coeficiente C (coeficiente de amplificación sísmica). A partir del período 0.55 segundos, el coeficiente sísmico inelástico calculado para la N-97 es menor que el calculado para la N-77.

Este gráfico es usado para el cálculo de los desplazamientos en la estructura.

Para el diseño estructural se usa la misma metodología en la determinación de la fuerza, truncando el coeficiente sísmico inelástico para el valor de $C/R = 0.1$, $ZUCS/R = 0.052$ (Coeficiente sísmico inelástico = 0.052), período $T = 0.90$ segundos, el mismo valor para la N-77, a partir del período $T = 1.2$ segundos.

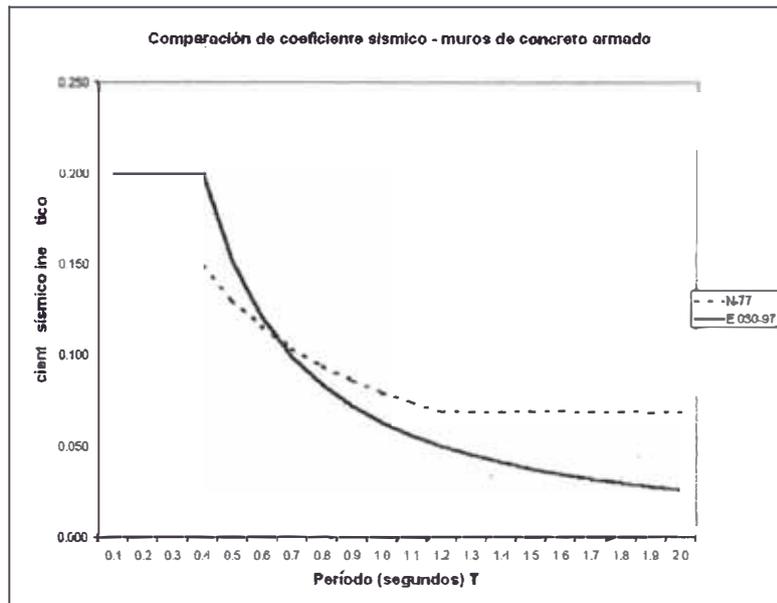


Gráfico 3.4.7 – 8 Coeficiente sísmico inelástico (N-97,N-77) sistema muros de concreto armado. Centros educativos.

Del gráfico 3.4.7-8 el coeficiente sísmico inelástico para edificaciones escolares sistema muros de concreto armado, presenta un incremento del 15% la N-97, debido al cambio de categoría de los centros educativos donde se asigna un factor de uso o importancia de 1.5, a diferencia de la N-77 donde se asigna el valor de 1.3. Disminuyendo progresivamente a partir del periodo $T = 0.4$ segundos, en función del valor de C (Coeficiente de amplificación sísmica). A partir del período 0.65 segundos el coeficiente sísmico inelástico calculado para la N-97 es menor que el calculado para la N-77.

Este gráfico es usado para el cálculo de los desplazamientos en la estructura.

Para el diseño estructural se usa la misma metodología en la determinación de la fuerza, truncando el coeficiente sísmico inelástico para el valor de $\frac{C}{R} = 0.75$,

$\frac{ZUCS}{R} = 0.060$ (Coeficiente sísmico inelástico = 0.060), período $T = 1.1$ segundos, 13% inferior al de la N-77 (Coeficiente sísmico inelástico = 0.069) que se trunca a partir del período $T = 1.2$ segundos, esta variación es debido al cambio del coeficiente de amplificación sísmica.

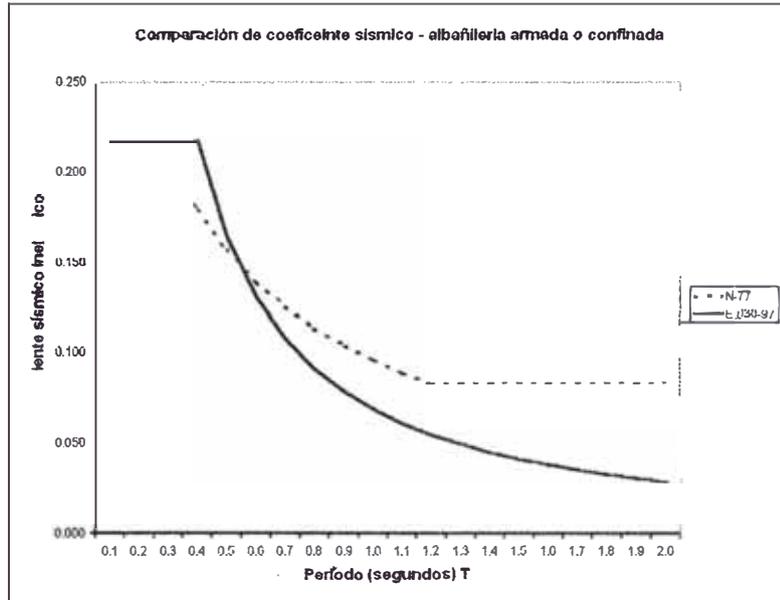


Gráfico 3.4.7 – 9 Coeficiente sísmico inelástico (N-97, N-77) para albañilería armada o confinada. Estructuras categoría B.

Del gráfico 3.4.7-9 el coeficiente sísmico inelástico para estructuras categoría B sistema albañilería armada o confinada, presenta un incremento del 4% para períodos menores a 0.3 segundos, a partir de este período se tiene un aumento del coeficiente en la N-97 con un valor máximo de 22% en el período de 0.4 segundos, debido al cambio del T_p (de 0.3 a 0.4 segundos) disminuyendo progresivamente conforme aumenta el período, en función al coeficiente C (coeficiente de amplificación sísmica). A partir del período 0.55 segundos, el coeficiente sísmico inelástico calculado para la N-97 es menor que el calculado para la N-77.

Este gráfico es usado para el cálculo de los desplazamientos en la estructura.

Para el diseño estructural se usa la misma metodología en la determinación de la fuerza, truncando el coeficiente sísmico inelástico para el valor de $C/R = 0.60$, $ZUCS/R = 0.052$ (Coeficiente sísmico inelástico = 0.052), período $T = 1.3$ segundos, 38% inferior al de la N-77 (Coeficiente sísmico inelástico = 0.083) que se trunca a partir del período $T = 1.2$ segundos, esta variación es debido al cambio del coeficiente de amplificación sísmica.

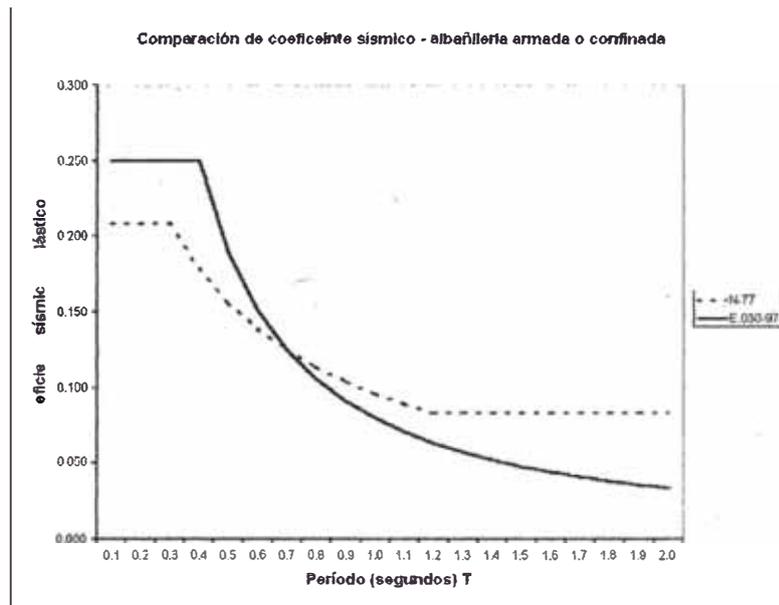


Gráfico 3.4.7 – 10 Coeficiente sísmico inelástico (N-97,N-77) sistema albañilería armada o confinada. Centros educativos.

Del gráfico 3.4.7-10 el coeficiente sísmico inelástico para estructuras categoría B sistema albañilería armada o confinada, presenta un incremento del 20% en la N-97, debido al cambio de categoría de los centros educativos donde se asigna un factor de uso o importancia de 1.5, a diferencia de la N-77 donde se asigna el valor de 1.3. Disminuyendo progresivamente a partir del período $T = 0.4$ segundos, en función del valor de C (Coeficiente de amplificación sísmica). A partir del período 0.65 segundos el coeficiente sísmico inelástico calculado para la N-97 es menor que el calculado para la N-77.

Este gráfico es usado para el cálculo de los desplazamientos en la estructura.

Para el diseño estructural se usa la misma metodología en la determinación de la fuerza, truncando el coeficiente sísmico inelástico para el valor de $C/R = 0.60$,

$ZUCS/R = 0.060$ (Coeficiente sísmico inelástico = 0.060), período $T = 1.3$ segundos, 28% inferior al de la N-77 (Coeficiente sísmico inelástico = 0.083) que se trunca a partir del período $T = 1.2$ segundos, esta variación es debido al cambio del coeficiente de amplificación sísmica.

3.4.8 Control de desplazamientos laterales

La medida más representativa de la respuesta de un sistema estructural, de una edificación diseñada para soportar sismos (cargas laterales), es el desplazamiento

relativo de entrepiso, este es usado por la mayoría de las normas sismorresistentes en el mundo, con el cálculo de un índice adimensional de esta medida, dividiendo el desplazamiento relativo del entrepiso entre la altura del entrepiso, denominado distorsión de entrepiso, el cual se usa para estimar el daño que pueda presentarse, tanto en la estructura, como en los elementos.

La N-97 presenta límites para la distorsión de entrepiso según el tipo de estructura, la limitación del giro en planta es de la siguiente forma, el desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos, no debe ser mayor que 1.75 veces el desplazamiento relativo de los centros de masas.

La N-77 limita los desplazamientos relativos de entrepiso en 0.01 de la altura del piso considerado, esta se usará sólo para el caso en que existan elementos susceptibles de dañarse por la deformación relativa, para otros casos establece que será 0.015, no se establece un control de giros para ningún caso.

En la siguiente tabla (Tabla 3.4.8-1) se muestra la comparación de los límites establecidos para los desplazamientos relativos de entrepiso para cada norma.

Tabla 3.4.8-1 Comparación de límites de distorsión de entrepiso.

NORMA	E.030-97	N-77	Comparación flexibilidad
MATERIAL PREDOMINANTE	$\left(\frac{\Delta_I}{he_i}\right)$	$\left(\frac{\Delta_I}{he_i}\right)$	$\left(\frac{\Delta_{77}}{\Delta_{97}} - 1\right) \cdot 100$
Concreto armado	0.007	0.010	43%
Acero (*)	0.010	0.015	50%
Albañilería	0.005	0.010	100%
Madera	0.010	0.015	50%

La tabla 3.4.8-1 muestra el alto grado de flexibilidad de la N-77 frente a la N-97. La N-97 es más rigurosa con las limitaciones de los desplazamientos al reducir los rangos establecidos en la N-77.

En las construcciones de albañilería la N-97 reduce el desplazamiento permitido en 100%, esto es debido al material de construcción y el tipo de falla que se presenta en ellas (las estructuras construidas con este material son unas de las más comunes en nuestro medio).

La reducción de las distorsiones permitidas da como resultado el aumento considerable de la rigidez en las estructuras, para el mejor control de los desplazamientos.

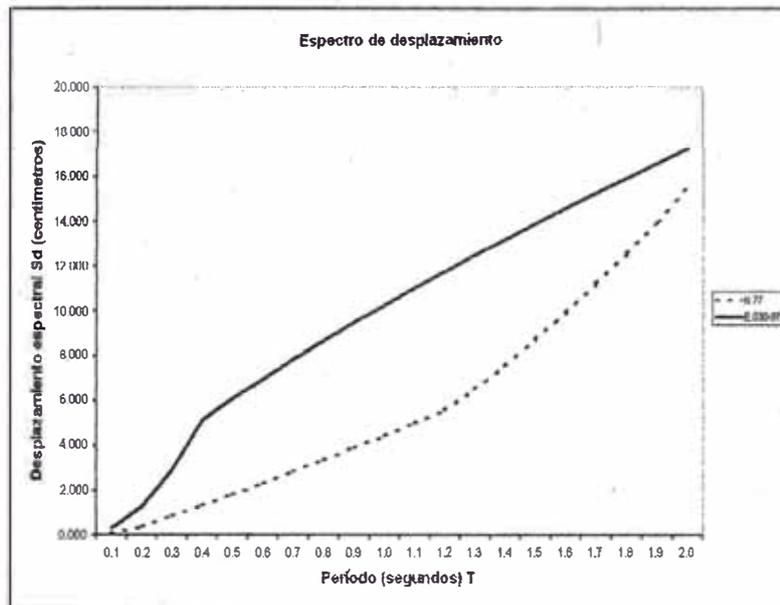


Gráfico 3.4.7 - 11 Comparación del espectro de desplazamiento (N-97, N-77). Edificaciones categoría B.

El gráfico 3.4.7-11 Comparación del espectro de desplazamiento para edificaciones categoría B, muestra los desplazamientos espectrales que se obtienen de los coeficientes sísmicos inelásticos para cada sistema estructural mostrados anteriormente, donde se observa que todos los desplazamientos espectrales obtenidos por los parámetros de la N-97 son mayores a los obtenidos por los parámetros de la N-77, en todos los casos. Los espectros muestran la diferencia de los desplazamientos obtenidos para cada norma. El incremento del desplazamiento espectral, sumado a la reducción de las distorsiones permitidas por la N-97, da como resultado, la rigidización de las estructuras para controlar los desplazamientos relativos.

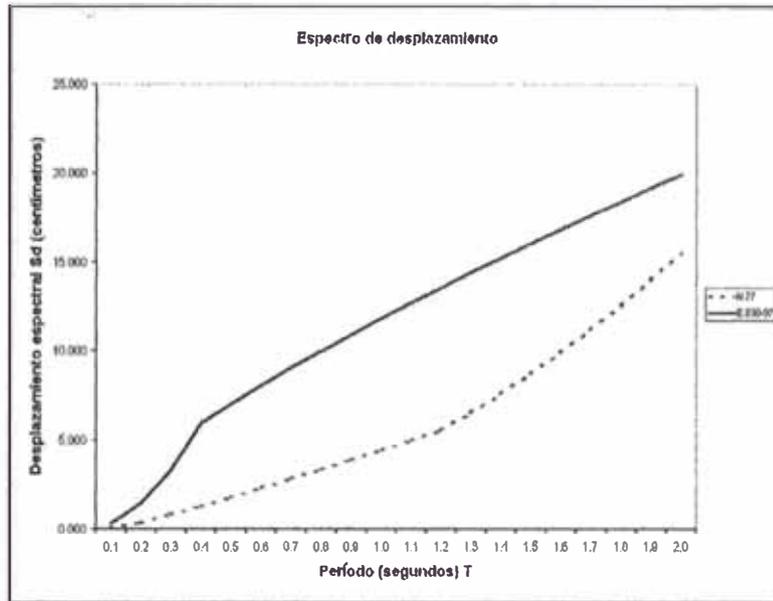


Gráfico 3.4.7 – 12 Comparación del espectro de desplazamiento (N-77, N-97). Centros educativos

El gráfico 3.4.7-12 Comparación del espectro de desplazamiento para centros educativos, muestra los desplazamientos espectrales que se obtienen de los coeficientes sísmicos inelásticos para cada sistema estructural, donde se observa que todos los desplazamientos espectrales obtenidos por los parámetros de la N-97 son mayores a los obtenidos por los parámetros de la N-77, en todos los casos. Estos espectros muestran la diferencia de los desplazamientos espectrales para cada norma. El incremento del desplazamiento espectral, sumado a la reducción de las distorsiones permitidas por la N-97, da como resultado, la rigidización de las estructuras para controlar los desplazamientos relativos.

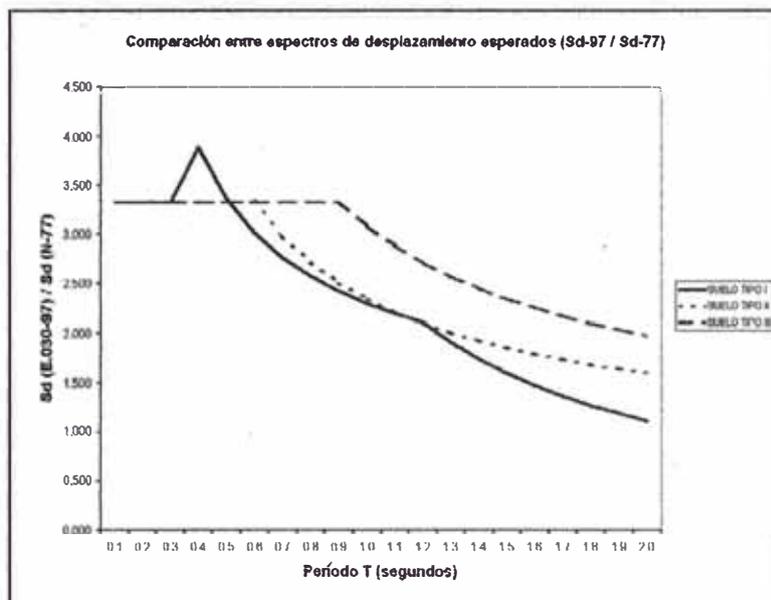


Gráfico 3.4.7-13 Comparación entre espectros de desplazamiento esperados según la N-97 y la N-77. Edificaciones categoría B

Del gráfico 3.4.7-13 Comparación entre espectros de desplazamiento esperados según la N-97 y la N-77, el suelo tipo I muestra la gran diferencia que existe entre la N-97 y la N-77 para períodos cortos 3.33 menores que 0.3 segundos, para el período de 0.4 segundos la diferencia se incrementa hasta 3.88, donde decae progresivamente manteniendo un incremento sobre el espectro de la N-77.

Para suelos Tipo II se mantiene el incremento de 3.33 del espectro de la N-97 hasta el período 0.6 segundos, donde desciende progresivamente con un valor superior al de la N-77.

Para suelos Tipo III se mantiene el incremento de 3.33 del espectro de la N-97 hasta el período 0.9 segundos, donde desciende progresivamente con un valor superior al de la N-77.

En todos los tipos de suelos siempre tenemos como resultado un espectro de desplazamiento de la N-97 con mayores valores en comparación de la N-77.

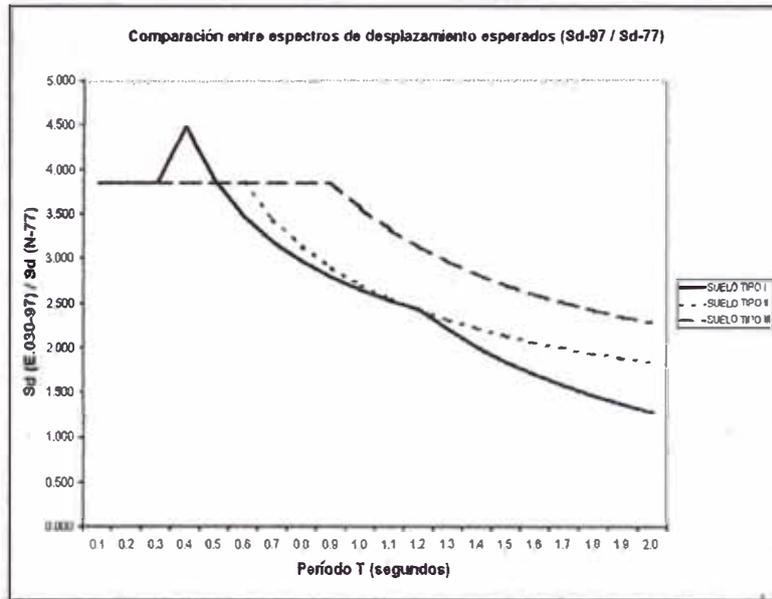


Gráfico 3.4.7 – 14 Comparación entre espectros de desplazamiento esperados según la N-97 y la N-77. Centros Educativos.

Del gráfico 3.4.7-14 comparación entre espectros de desplazamiento esperados según la N97 y la N-77, el suelo tipo I muestra la gran diferencia que existe entre la N-97 y la N-77 para periodos cortos 3.83 menores que 0.3 segundos, para el período de 0.4 segundos la diferencia se incrementa hasta 4.49, donde decae progresivamente manteniendo un incremento sobre el espectro de la N-77.

Para suelos Tipo II se mantiene el incremento de 3.85 del espectro de la N-97 hasta el período 0.6 segundos, donde desciende progresivamente con un valor superior al de la N-77.

Para suelos Tipo III se mantiene el incremento de 3.85 del espectro de la N-97 hasta el período 0.9 segundos, donde desciende progresivamente con un valor superior al de la N-77.

En todos los tipos de suelos siempre tenemos como resultado un espectro de desplazamiento de la N-97 con mayores valores en comparación de N-77.

El incremento de la diferencia de los espectros en comparación al gráfico anterior tiene como origen al cambio del coeficiente de uso, donde para centros educativos en la N-97 tiene un valor de 1.5 mientras que, para la N-77 posee un valor de 1.3, esta diferencia se debe al cambio de categoría de este tipo de estructuras.

3.4.9 **Análisis de edificaciones**

La N-97 establece un procedimiento de análisis dinámico para cualquier edificación. El análisis por el método estático se emplea solo para edificios regulares, que no superen los 45 metros de altura. La N-77 establece el análisis modal para edificios con más de 25 pisos ó 75 metros de altura, colocando el término que para casos que el método general de la norma (análisis estático) no sea suficientemente exacto, se hará un análisis dinámico más riguroso.

Dentro de ambas normas, los métodos estáticos establecen un mínimo en la fuerza cortante, con el fin de garantizar una resistencia horizontal mínima en las edificaciones, para los criterios de resistencia.

La N-97 establece que, para el cálculo de los desplazamientos laterales no se considerarán los valores mínimos del análisis estático y la fuerza mínima cortante del análisis dinámico. La N-77 no establece ninguna consideración especial para el cálculo de los desplazamientos laterales.

El método de análisis dinámico se encuentra mucho mejor definido en la N-97, en la cual se establece puntos como los criterios de superposición, la fuerza mínima en la base, los análisis tiempo – historia frente a las consideraciones de la N-77, que define el espectro de diseño para el análisis modal, el análisis paso a paso, similar al de tiempo – historia.

La N-97 brinda dos criterios de superposición modal: el primero es el que se encuentra descrito en la N-97 el cual emplea los valores absolutos y la media cuadrática, y el segundo en forma alternativa es la combinación cuadrática completa de valores.

3.4.10 **Observaciones**

La N-97 tiene dos niveles de control, dos niveles en los cuales, es más estricta que la N-77: primero los desplazamientos permitidos y segundo los desplazamientos esperados.

Los desplazamientos esperados según la N-97, son castigados llegando a ser 3 veces mayores que los de la N-77, y el siguiente nivel de control sería de desplazamiento, el cual restringe los desplazamientos generando la rigidización de las estructura; este control es superior al establecido por la N-77 flexible para nuestro medio, lo que se manifiesta en los eventos sísmicos.

3.5 Sismo ocurrido en la región sur de Arequipa el 23 de Junio del 2001

El terremoto ocurrido en Arequipa el día 23 de Junio del 2001 a las 15 horas con 33 minutos hora local, causó daños importantes de consideración a los departamentos de Arequipa, Moquegua, Tacna y a las ciudades de Arica e Iquique en Chile. El Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) indica que el terremoto produjo la muerte de 74 personas, además de 64 desaparecidos, 2,689 heridos y 217,495 damnificados en toda la región afectada por el terremoto.

Las personas desaparecidas fueron debido a los efectos causados por el tsunami que acompañó al terremoto y que provocó la destrucción de aproximadamente 2000 viviendas en las playas de la localidad de Camaná.

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) realizó la localización del epicentro del terremoto del 23 de Junio del 2001, en las coordenadas 16.20° S, 73.75° W; esto es a 82 Km al NW de la localidad de Ocoña, tal como se muestra en la figura 3.5-1.

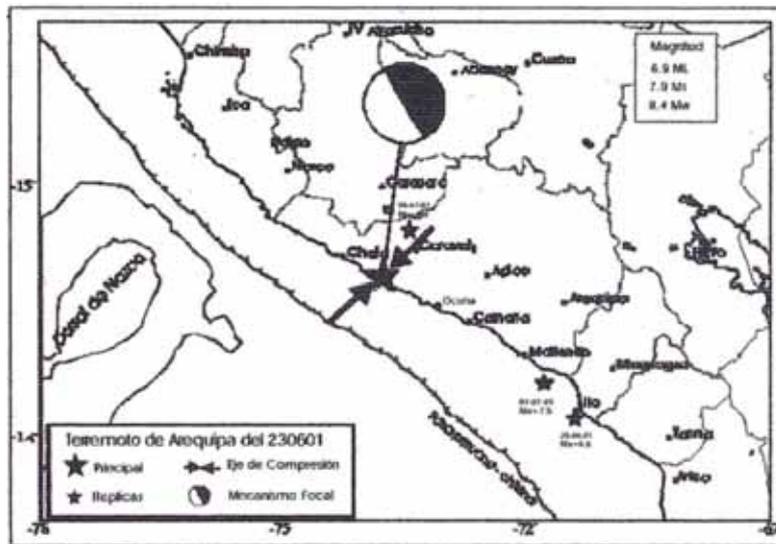


Figura 3.5 –1 Mecanismo focal y orientación del esfuerzo principal que dio origen al terremoto del 23 de junio del 2001.

La red sísmica nacional registro un total de 134 réplicas en las primeras 24 horas, muchas de estas réplicas tuvieron intensidades entre III y V en MM en la ciudad de Arequipa.

3.6 Intensidades y sismicidad en la región

El Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres CISMID cuya institución participó en esta investigación, cuenta con una red de acelerógrafos, habiendo registrado el evento principal en la estación Moquegua, en la cual se obtuvo un registro de valores máximos de aceleración de 295.3 gals en la dirección E-W, de 220 gals en la dirección N-S y 160.6 gals en la componente vertical; mostramos a continuación los gráficos obtenidos en dicha estación.

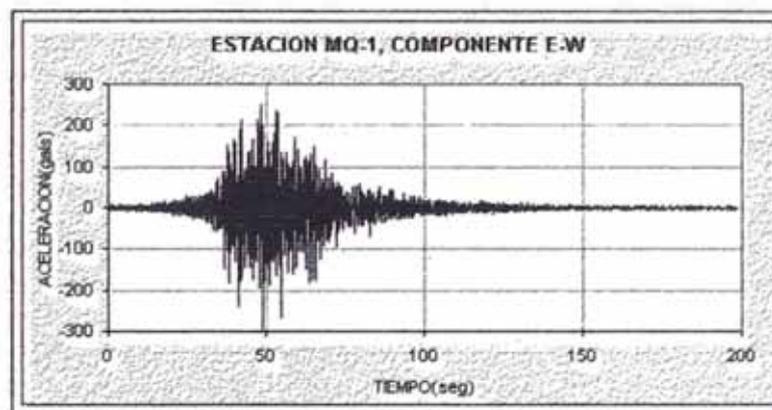


Figura 3.6 -1 Registro tiempo-historia de aceleraciones en componente E-W del sismo de Arequipa del 23/06/01 (Mw= 8.4). Aceleración Máxima: 295.3 gals.

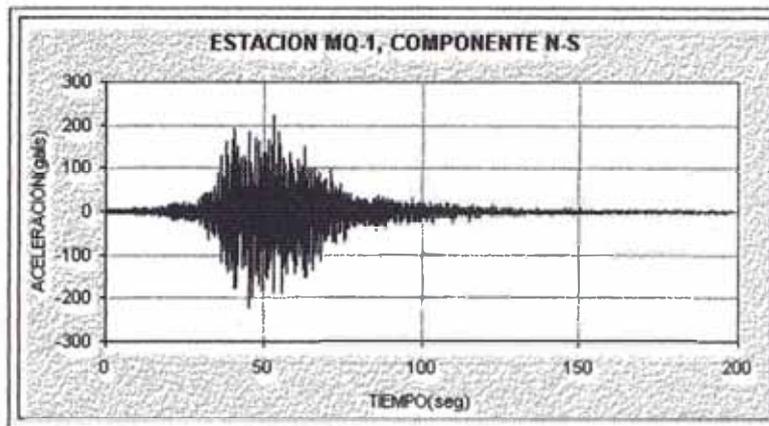


Figura 3.6-2 Registro tiempo-historia de aceleraciones en componente N-S del sismo de Arequipa del 23/06/01 ($M_w = 8.4$). Aceleración Máxima: 220.0 gals.

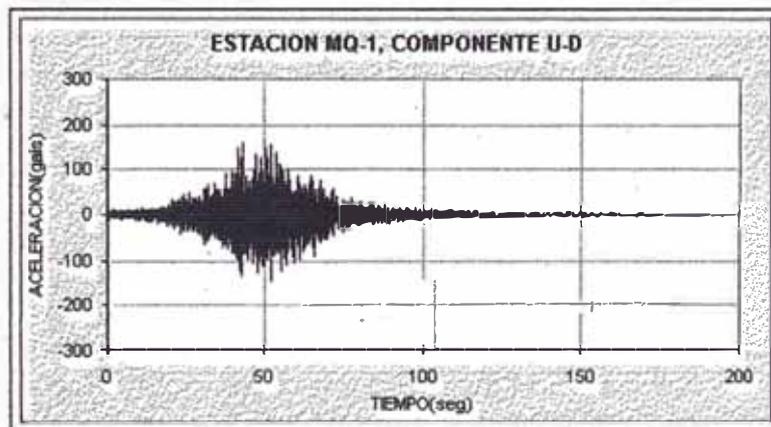


Figura 3.6-3 Registro tiempo-historia de aceleraciones en componente U-D del sismo de Arequipa del 23/06/01 ($M_w = 8.4$). Aceleración Máxima: 160.6 gals.

Los daños que ocasionó el evento sísmico demuestran una vez más que las estructuras construidas sin normativa técnica, sin asesoramiento técnico de obra, y con mala calidad de los materiales de construcción tendrán un alto nivel de vulnerabilidad sísmica (6).

Capítulo 4 **ESTRUCTURAS EN ESTUDIO**

4.1 **Centros educativos**

Para la investigación que se realizó se consideraron diferentes centros educativos, los cuales debieron cumplir con los siguientes requisitos mínimos:

- Diseñados usando las especificaciones la N-77.
- Diseñados usando las especificaciones la N-97.
- Haber soportado durante su vida útil un sismo moderado o de intensidades de grados VII y VIII MSK o MM.
- Contar con un estudio de reparación y refuerzo, para los centros que hayan sido gravemente afectados por un sismo de las características mencionadas.
- Construidos bajo supervisión técnica (Ing. Residente, Ing. Supervisor)
- Representativos.

Existen muchos centros educativos que cumplen con las características mencionadas, pero en consideración que el Instituto Nacional de Infraestructura Educativa y de Salud (INFES) declaró 5 centros educativos como gravemente dañados, los que se construyeron y diseñaron bajo normas técnicas.

Los centros educativos, declarados como gravemente dañados por INFES se diseñaron haciendo uso de las especificaciones de la N-77, estos centros educativos son:

- Centro educativo “José M. Morante” (Ocoña)
- Centro educativo “Chucarapi” (Islay)
- Centro educativo “Manuel C. De la Torre”(Mariscal Nieto – Moquegua)
- Centro educativo “Upis Paisajista” (Hunter – Arequipa)
- Centro educativo “San Antonio” (Mariscal Nieto – Moquegua)

Considerando tres centros educativos, los dos primeros son sistémicos 780 y el tercero es del sistema denominado Torre con Aulas y Octógono incorporado en tres pisos, como caso especial debido a que ya se le había reforzado con tres placas de concreto armado, los tres centros educativos se describen en la tabla 4.1-1.

Tabla 4.1-1 Centros educativos investigados.

Centro educativo	Localidad	Exp. Original	Año de C.	P. Reparac.
Chucarapi	Islay	Si	1993	Si
José M. Morante	Ocoña	Si	1994	Si
Upis Paisajista	Jacobo Hunter	Si	1994	Si

De los centros educativos diseñados y construidos con la N-97, se seleccionaron dos, que cuentan con el requisito indispensable del sistema modulado empleado en su diseño, el sistema 780:

- Centro educativo N° 40199 – Localidad de urbanización popular “Ciudad mi Trabajo”, Distrito de Socabaya, Provincia de Arequipa, Departamento de Arequipa.
- Centro educativo N° 40052 – Buenos Aires de Cayma, Distrito de Cayma, Provincia y departamento de Arequipa.

Estos centros educativos se encuentran ubicados en La región Arequipa (ver Figura 4.1 – 1)

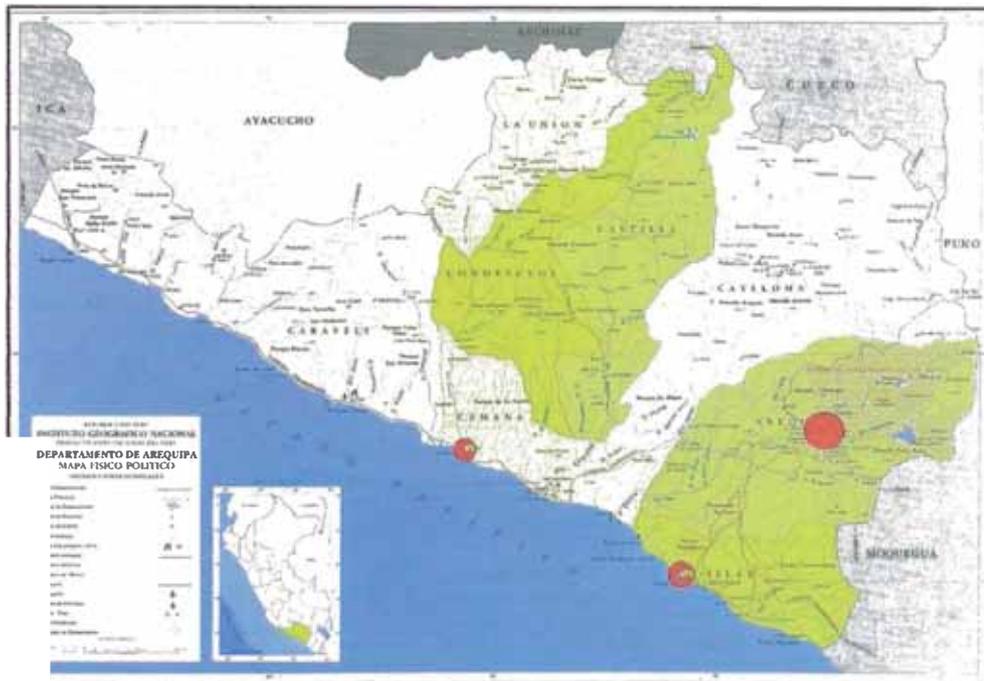


Figura 4.1 - 1 Ubicación de localidades donde se encuentran los Centros Educativos dentro del estudio.

4.1.1 Centro educativo Chucarapi (Islay – Arequipa)

Este centro educativo se encuentra ubicado en la calle Jr. Perú s/n, en la localidad de Chucarapi, distrito de Cocachacra, provincia de Islay, en el departamento de arequipa.

Se construyó en el año 1993, y se diseñó con las especificaciones de la N-77, con el financiamiento del tesoro público, utilizando el sistema 780, con las siguientes metas realizadas (Módulos) en el proyecto del año 1993: 12 aulas, 1 administración, 1 biblioteca, 1 Laboratorio + depósito, 1 aula de uso múltiple, 1 taller industrial, 3 escaleras con circulación, 1 SS.HH (12 Bat.), 1 aula de cómputo.

Ocurrido el sismo del 23 de junio del 2001, el centro educativo es gravemente dañado, debido a esto INFES solicita la elaboración de su proyecto de reparación y reforzamiento, el cual estuvo a cargo del Ing. Antonio Blanco Blasco, realizado en el año 2001 cumpliendo con las especificaciones de la N-97.

4.1.2 Centro educativo José María Morante (Ocoña – Arequipa)

Este centro educativo se encuentra ubicado en la calle Unión 101, en la localidad de Ocoña, distrito de Ocoña, provincia de Camaná, departamento de Arequipa.

Se construyó en el año 1994 y se diseñó con las especificaciones de la N-77, con el financiamiento del Ministerio de Pesquería, utilizando el sistema 780, con las siguientes metas realizadas (Módulos) en el proyecto del año 1994: 8 aulas, 1 Laboratorio + sala de lectura, 1 escalera sin circulación, SS.HH. (12 Bat.)

Ocurrido el sismo del 23 de junio del 2001, el centro educativo es gravemente dañado, debido a esto INFES solicita la elaboración de su proyecto de reparación y reforzamiento, el cual estuvo a cargo del Ing. Antonio Blanco Blasco, realizado en el año 2001 cumpliendo con las especificaciones de la N-97.

4.1.3 Centro educativo Upis Paisajista (Hunter – Arequipa)

Este centro educativo se encuentra ubicado en pasaje Upis Paisajista, en la localidad de Upis Paisajista, distrito de Hunter, provincia de Arequipa, departamento de Arequipa.

Se construyó en el año 1994 y se diseñó con las especificaciones de la N-77, con el financiamiento del Tesoro Público, utilizando el sistema Torre, con las siguientes metas realizadas (Módulos) en el proyecto del año 1994: 12 aulas, 1 administración, 1

biblioteca, 1 sala de profesores, 1 aula de cómputo, 1 escalera de cuatro tramos, 1 área de circulación, 1 SS.HH. (12 Bat.)

Ocurrido el sismo del 23 de junio del 2001, el centro educativo es gravemente dañado, debido a esto INFES solicita la elaboración de su proyecto de reparación y reforzamiento, el cual se estuvo a cargo del Ing. Antonio Blanco Blasco, realizado en el año 2001 cumpliendo con las especificaciones de la N-97.

4.1.4 Centro educativo N° 40199 (Socabaya – Arequipa)

Este centro educativo se encuentra ubicado en la localidad de Urb. Popular Ciudad Mi Trabajo, distrito de Socabaya, provincia de Arequipa, departamento de Arequipa.

Parte del Centro Educativo, la que se encuentra dentro de la investigación, se construyó en el año 1999, diseñada usando las especificaciones de la N-97, sistema 780 modificado para que pueda cumplir la N-97, con las siguientes metas realizadas (Módulos) en el proyecto del año 1999: 5 aulas, 1 aula de articulación, 1 escalera de dos tramos.

Este centro educativo no tuvo daños tras la ocurrencia del sismo del 23 de junio del 2001.

4.1.5 Centro educativo N° 40052 (Cayma – Arequipa)

Este centro educativo se encuentra ubicado en la localidad de Buenos Aires, distrito de Cayma, provincia de Arequipa, departamento de Arequipa.

Parte del Centro Educativo, la que se encuentra dentro de la investigación, se construyó en el año 1999, diseñada usando las especificaciones de la N-97, sistema 780 modificado para que cumplir la N-97, con las siguientes metas realizadas (Módulos) en el proyecto del año 1999: 7 aulas, 1 aula de articulación, 1 escalera de dos tramos, SS.HH. (09 bat.).

Este centro educativo no tuvo daños tras la ocurrencia del sismo del 23 de junio del 2001.

4.2 Configuración de los centros educativos

Como se menciona dentro del fundamento teórico de la presente investigación, la configuración representa o está relacionada con las partes que componen el cuerpo de las edificaciones (centros educativos), dándole así su peculiar figura, esta es una combinación de geometría e importancia sísmica, establecida según la funcionalidad

que cumplirá la edificación una vez en servicio. Al realizar este análisis para centros educativos, es necesario indicar que en la práctica esta configuración se repite constantemente combinando las características descritas.

De las diferentes combinaciones que se pueden tener al analizar las configuraciones de los centros educativos, estos se clasifican según el concepto de sencillez y complejidad en: **Planta sencilla / elevación sencilla** para el sistema 780, que es el caso para los centros educativos: Chucarapi, José M. Morante (sistema 780 N-77), CEE N° 40199, CEE N° 40052 (sistema 780 N-97), estos cuatro centros educativos son clasificados según las normas sismorresistentes en estructuras regulares, tanto en planta como en elevación. En el caso de los centros educativos tipo octágono, estos se clasifican en: **Planta Compleja / Elevación Sencilla** para el centro educativo Upis Paisajista.

4.3 Estructuración de los centros educativos INFES

Los centros educativos INFES que se encuentran dentro del estudio, tienen diferentes estructuraciones, aun así poseen configuraciones similares, esto debido a la aplicación de las diferentes normas de diseño sísmico en la determinación de sus estructuras sismorresistentes, este es el caso del sistema 780 que en un principio se estructuró cumpliendo con la N-77, posteriormente se le estructuró cumpliendo la N-97.

Después de la ocurrencia del sismo en la región Arequipa en el año 2001, la estructuración de los centros educativos dañados que se presentan en esta investigación varió y fueron reforzados; los centros educativos dañados se diseñaron cumpliendo la N-77, reforzándose cumpliendo las exigencias de la N-97.

4.3.1 Centro educativo Chucarapi (Islay – Arequipa), Centro Educativo José María Morante (Ocoña – Arequipa)

Configuración y estructuración del módulo 780 (post Norma 1977) 3 AULAS / 3 AULAS para los centros educativos: Chucarapi Cocachacra y José M. Morante (ver Figura 4.3.1 – 1, Figura 4.3.1 – 2, Figura 4.3.1 – 3).

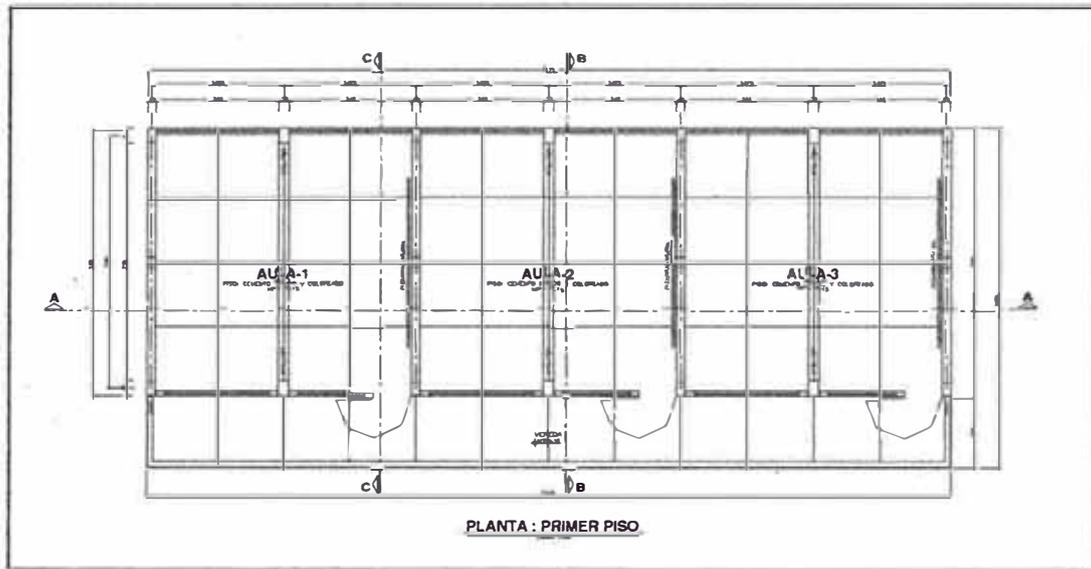


Figura 4.3.1 – 1 Configuración y estructuración sistema 780 3Aulas / 3Aulas N-77 vista de la planta que se utilizó en la construcción de los pabellones típicos de los CEE Chucarapi – Cocachacra – Islay – Arequipa – Perú – 1993, CEE José M. Morante – Ocoña – Camana – Arequipa.

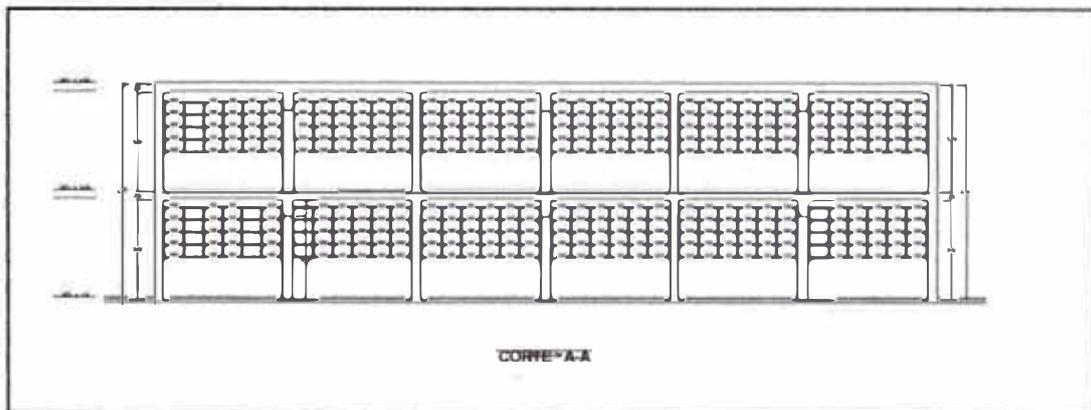


Figura 4.3.1 – 2 Configuración y estructuración sistema 780 3Aulas / 3Aulas N-77 vista posterior que se utilizó en la construcción de los pabellones típicos de los CEE Chucarapi – Cocachacra – Islay – Arequipa – Perú – 1993, CEE José M. Morante – Ocoña – Camana – Arequipa.

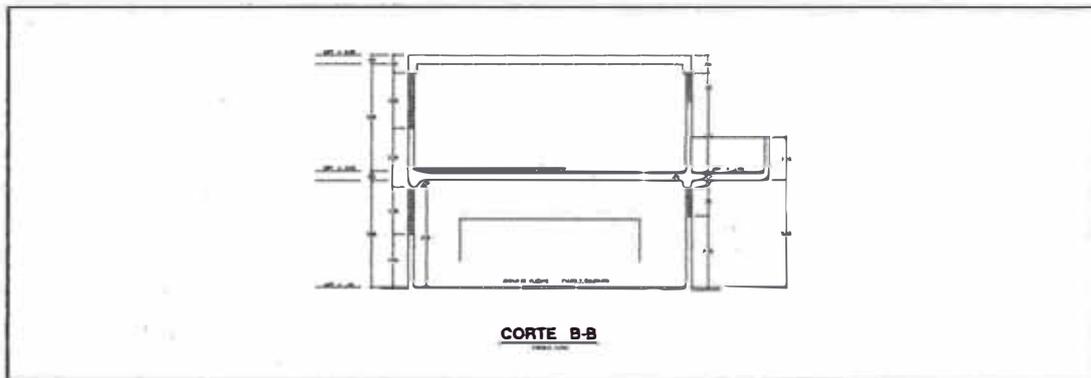


Figura 4.3.1 – 3 Configuración y estructuración sistema 780 3Aulas / 3Aulas N-77 corte que se utilizó en la construcción de los pabellones típicos de los CEE Chucarapi – Cocachacra – Islay – Arequipa – Perú – 1993, CEE José M. Morante – Ocoña – Camana – Arequipa.

La configuración de los módulos utilizados en los centros educativos estudiados, se clasifica como sencilla. En elevación posee el detalle del volado utilizado como área de circulación, que le da algún grado de irregularidad a la estructura.

De los centros educativos descritos, se puede indicar que del módulo sistema 780 configurado y estructurado con las especificaciones de la N-77 cuenta con muros de albañilería confinada como principal elemento resistente en el sentido transversal (perpendicular al sentido de circulación), mientras que en el sentido longitudinal, los principales elementos resistentes son pórticos, columnas y vigas de concreto armado.

La configuración y estructuración del proyecto de reparación y reforzamiento del módulo 780 3 AULAS / 3 AULAS para los centros educativos: Chucarapi y José M. Morante se muestra en las siguientes figuras (ver figuras 4.3.1-4, 4.3.1-5, 4.3.1-6, 4.3.1-7,4.3.1-8,4.3.1-9).

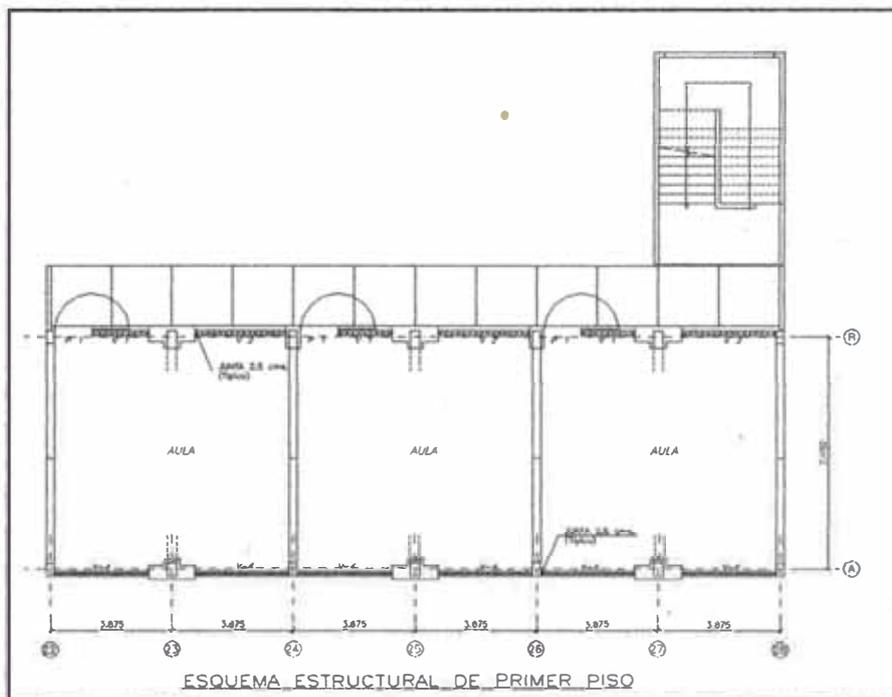


Figura 4.3.1 – 4 Configuración, estructuración del reforzamiento del centro educativo Chucarapi – Islay – Arequipa – Perú - 2001. Se observa la sencillez en la planta.

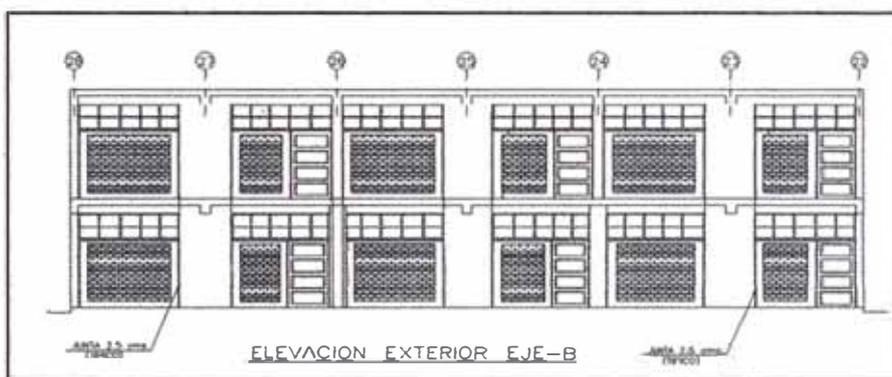


Figura 4.3.1 -5 Configuración, estructuración del reforzamiento del centro educativo Chucarapi – Islay – Arequipa – Perú - 2001. Observamos la sencillez de la elevación.

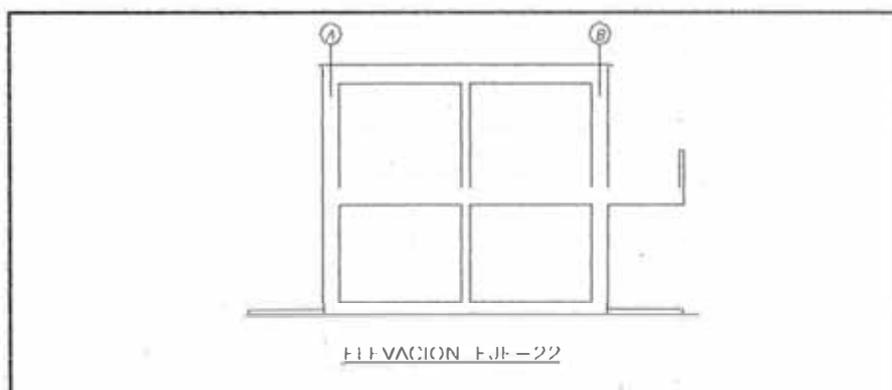


Figura 4.3.1 – 6 Configuración, estructuración del reforzamiento del centro educativo Chucarapi – Islay – Arequipa – Perú - 2001. Elevación Eje – 22.

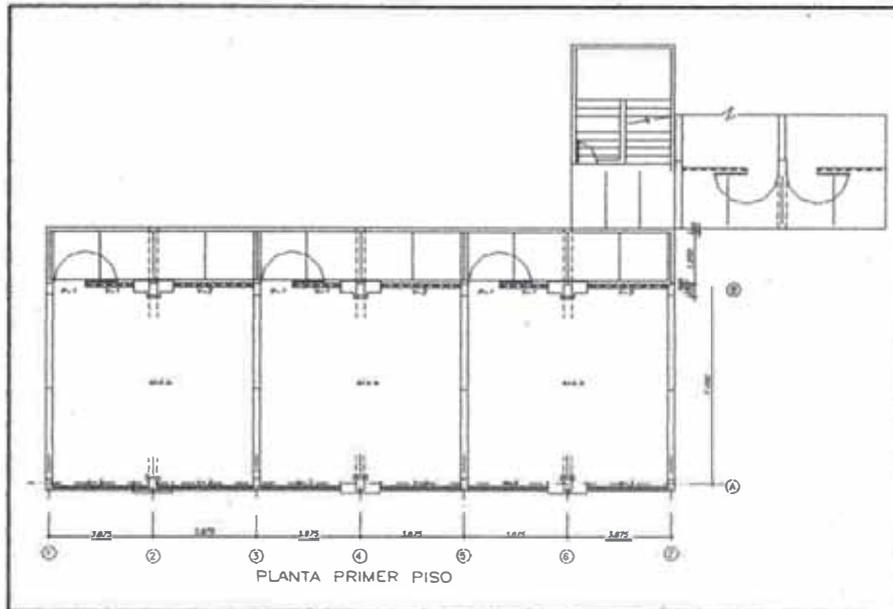


Figura 4.3 .1-7 Configuración y reforzamiento del centro educativo José M. Morante – Ocoña – Camaná – Arequipa – Perú. Se observa la sencillez en la planta

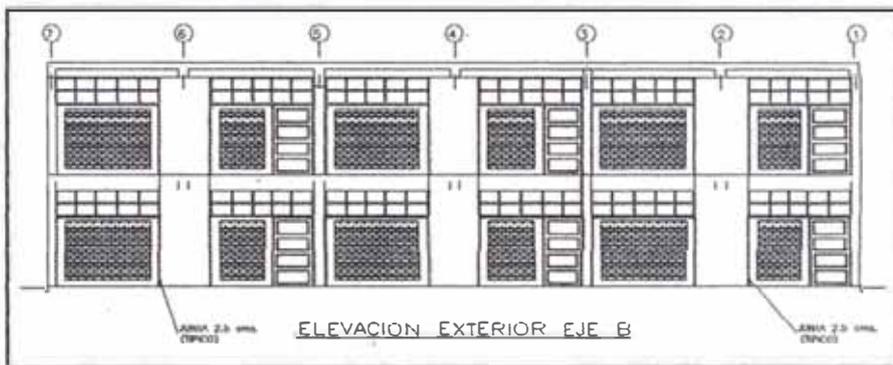


Figura 4.3 .1-8 Configuración y reforzamiento del centro educativo José M. Morante – Ocoña – Camaná – Arequipa – Perú. Se observa la sencillez en la elevación.

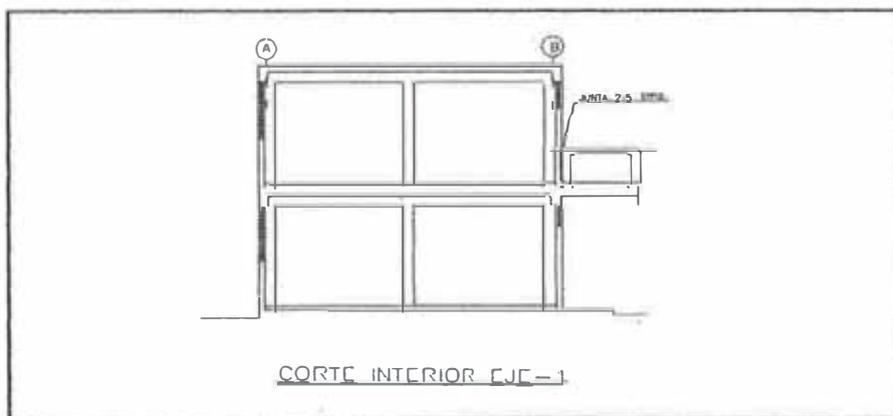


Figura 4.3 .1-9 Configuración y reforzamiento del centro educativo José M. Morante – Ocoña – Camaná – Arequipa – Perú. Corte Interior Eje – 1.

De las figuras anteriores se puede observar la reestructuración de los módulos 780, donde sus elementos resistentes poseen nuevas dimensiones, aumentando su rigidez hasta llegar a cumplir la N-97. Se puede observar la mayor dimensión de las columnas en las figuras mostradas.

El refuerzo de los centros educativos INFES afectados por el sismo del 23 de junio del 2001 ocurrido en la región sur de Arequipa, presentados en esta investigación, consiste en el ensanchamiento de parte de sus columnas formando placas de 45x148 cm. de concreto; incluyendo una sobresaliente central de 50x20 cm. hacia el interior de las aulas, tipo mocheta o columna, con un ensanchamiento o funda de 10 cm. en todo el perímetro de columnas del primer piso, como se muestra en la figura 4.3.1-10 (mostrando el procedimiento constructivo en el anexo 1).



Figura 4.3.1-10 Fundas de concreto armado en columnas.

4.3.2 Centro educativo Upis Paisajista (Hunter – Arequipa)

Este centro educativo es considerado dentro del estudio como un caso especial, por su particularidad al haber sido reforzado anteriormente (ver Figura 4.3.2 – 1, Figura 4.3.2 – 2)

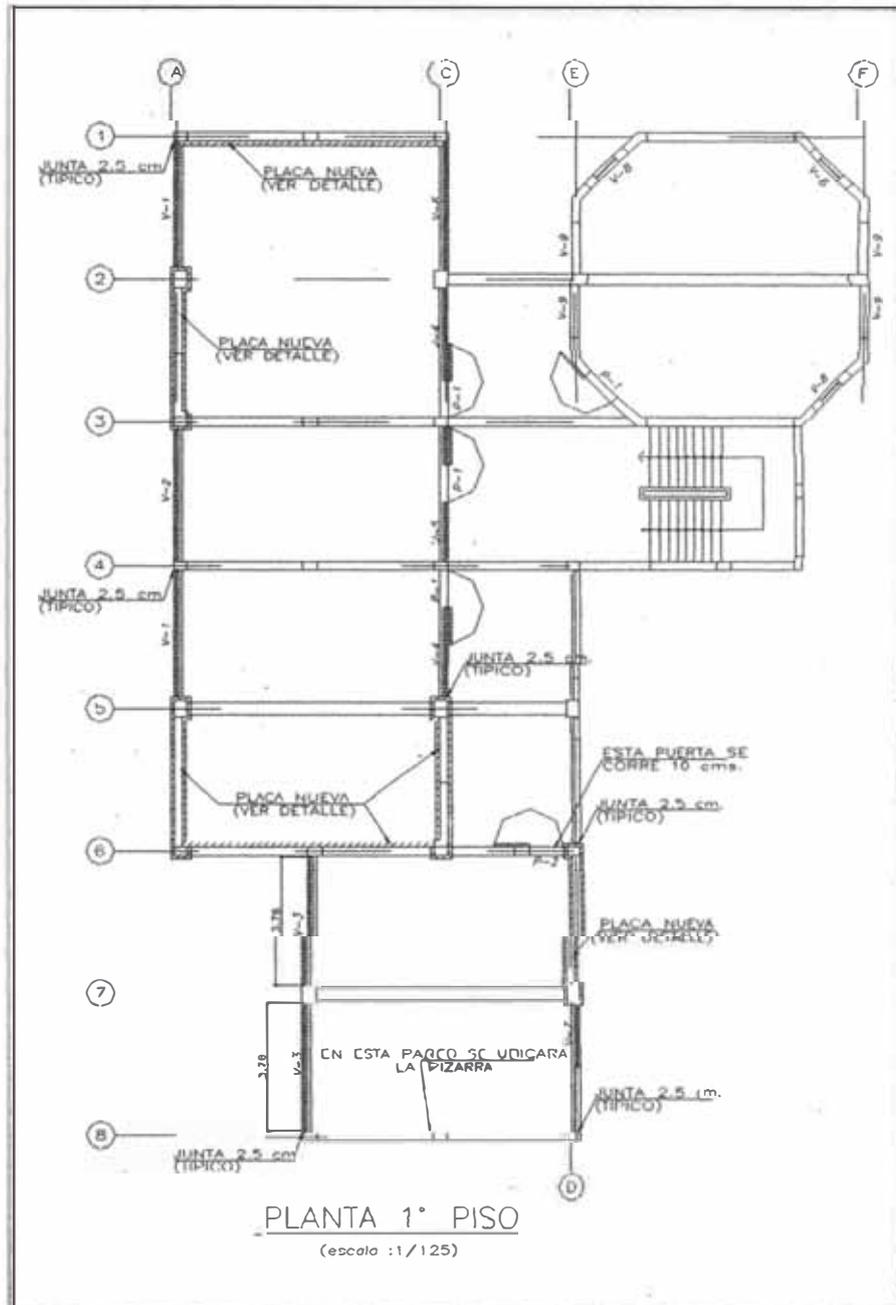


Figura 4.3.2 – 1 Configuración y reforzamiento del centro educativo N° 40033 – San Agustín de Hunter Upis Paisajista – Jacobo Hunter – Arequipa – Arequipa – Perú. Se observa la complejidad en la planta.

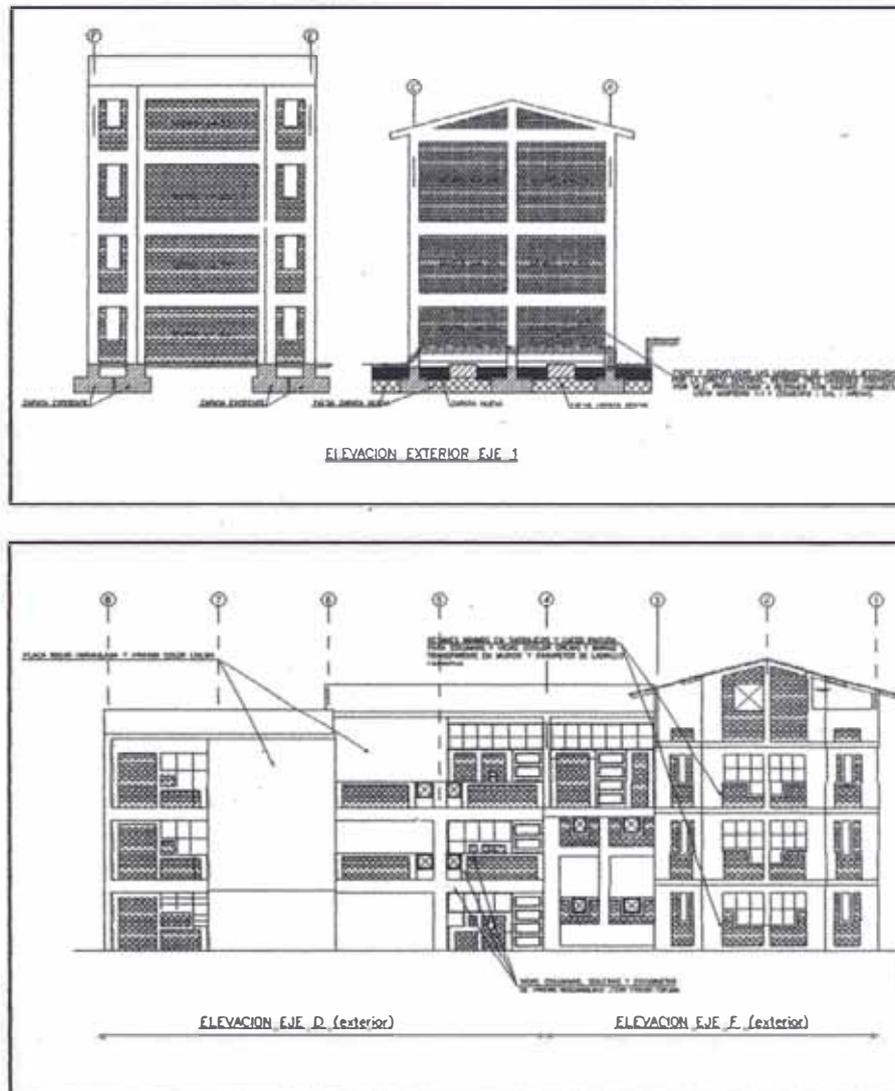


Figura 4.3.2 – 2 Configuración y reforzamiento del centro educativo N° 40033 – San Agustín de Hunter – Upis Paisajista – Jacobo Hunter – Arequipa – Arequipa – Perú. Se observa la sencillez en la elevación exterior.

4.3.3 Centro educativo N° 40199 (Socabaya – Arequipa), centro educativo N° 40052 (Cayma – Arequipa)

La configuración y estructuración del módulo 780 modificado (ver Figura 4.3.3 – 1, Figura 4.3.3 – 2, Figura 4.3.3 – 3) para el cumplimiento de la N-97, 3 AULAS / 3 AULAS de los centros educativos: centro educativo N° 40199 – Localidad de urbanización popular “Ciudad mi Trabajo”, Distrito de Socabaya, provincia de Arequipa, departamento de Arequipa, centro educativo N° 40052 – Buenos Aires de Cayma, distrito de Cayma, provincia y departamento de Arequipa.

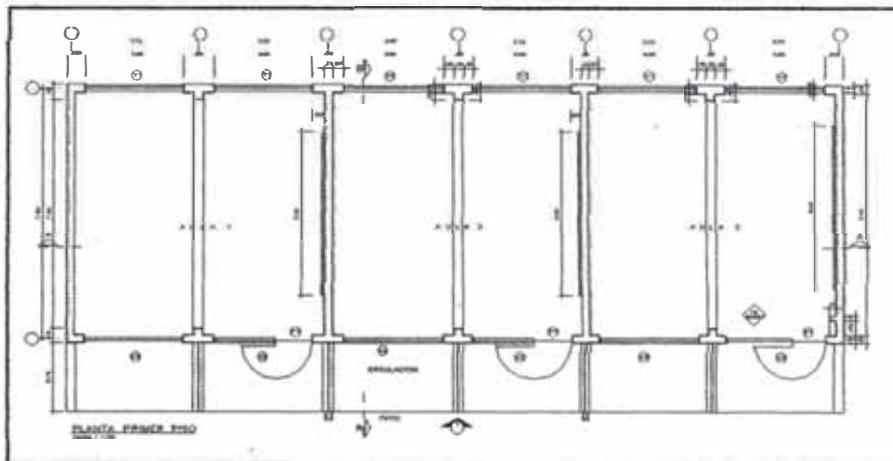


Figura 4.3.3 – 1 Configuración y estructuración del módulo 780 centros educativos: CE N° 40199 Socabaya – Arequipa – Arequipa, CE N° 40052 – Cayma – Arequipa – Arequipa. Vista en planta.

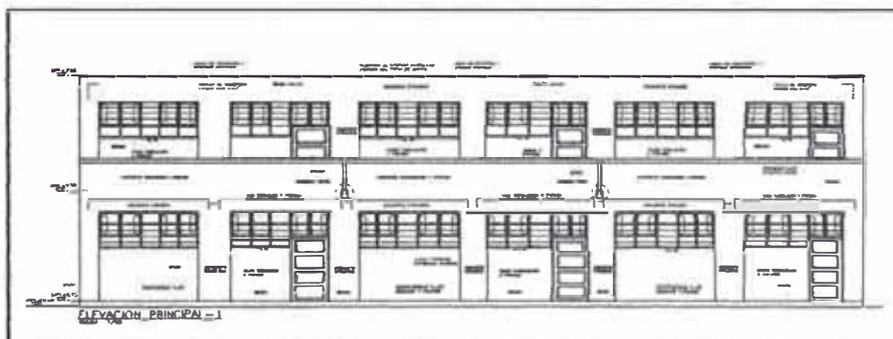


Figura 4.3.3 – 2 Configuración y estructuración del módulo 780 centros educativos: CE N° 40199 Socabaya – Arequipa – Arequipa, CE N° 40052 – Cayma – Arequipa – Arequipa. Elevación principal.

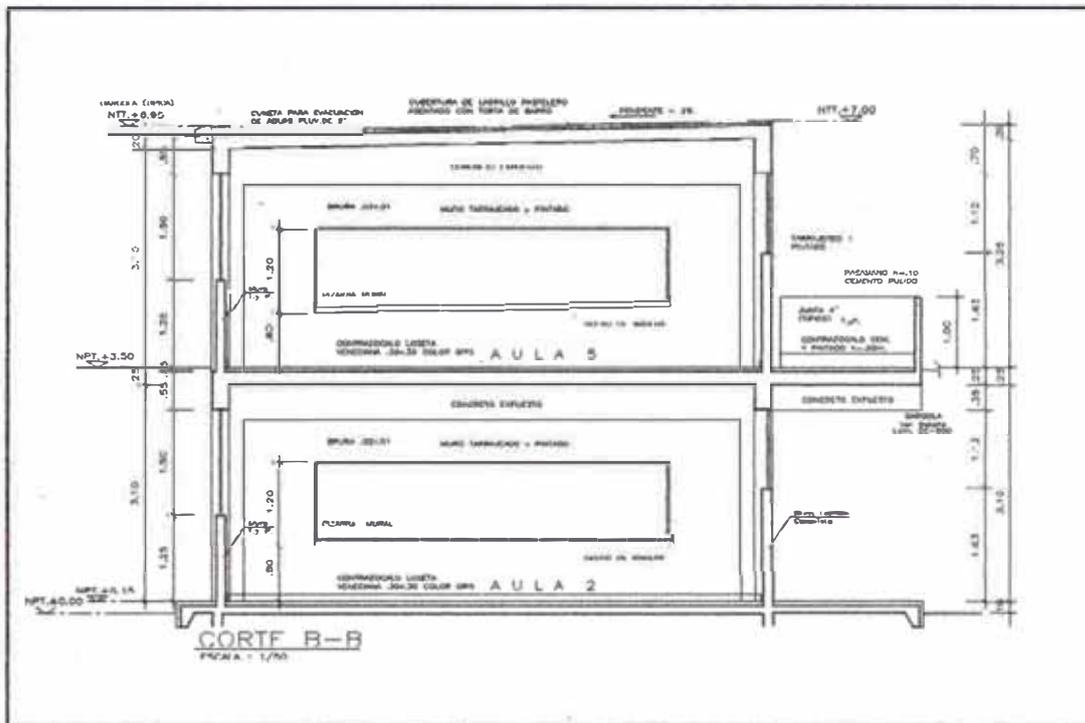


Figura 4.3.3 – 3 Configuración y estructuración del modulo 780 centros educativos: CE N° 40199 Socabaya – Arequipa – Arequipa, CE N° 40052 – Cayma – Arequipa – Arequipa. Corte Interior B-B.

Los centros educativos configurados y estructurados con la N-97, están constituidos por diferentes sistemas estructurales en cada dirección. En la dirección transversal (perpendicular a la circulación), muros de albañilería confinada por pórticos de concreto armado y en la dirección longitudinal (paralela a la circulación), consta de muros de concreto armado.

Capítulo 5 RESPUESTA SÍSMICA DE LAS ESTRUCTURAS EN ESTUDIO

5.1 Respuesta de los centros educativos, durante el sismo ocurrido en la región Sur de Arequipa el 23 de junio del 2001

La respuesta de las edificaciones escolares, reflejan el comportamiento de sus estructuras, frente al sismo ocurrido en la región Arequipa el 23 de Junio del 2001.

5.1.1 Centro educativo Chucarapi (Islay – Arequipa)

Las instalaciones del centro educativo Chucarapi sufrieron daños considerables en toda su infraestructura. (Ver Imagen 5.1.1 – 1)



Imagen 5.1.1 – 1 Infraestructura dañada Módulo 780 3Aula/3Aula. 1977. CE. Chucarapi (Islay – Arequipa)

Los daños en toda la infraestructura educativa se observan en las fotografías del anexo 01. Centramos la investigación a los daños ocurridos en el módulo 780, donde tenemos:

- Daños en el concreto.
- Grietas en los nudos de viga – columna.
- Grietas debajo de las soleras.
- Grietas dentro de la zona inferior de la solera.
- Daños en juntas sísmicas.

- Daños por corte en algunos muros de albañilería ubicados en la parte frontal del módulo.
- Daños de desprendimiento del tarrajeo.

En el plano DCH-01 (anexo 02) se señalan los elementos dañados, así como su ubicación.

En forma general se tuvieron daños por efecto de columna corta, juntas sísmicas, y desprendimiento del recubrimiento.

La extensión y forma de los daños en el centro educativo es función directa de la dirección en que actuó el sismo en la estructura.

5.1.2 Centro educativo José María Morante (Ocoña – Arequipa)

Las instalaciones del centro educativo José María Morante sufrieron daños considerables en toda su infraestructura. (Ver Imagen 5.1.2 – 1)

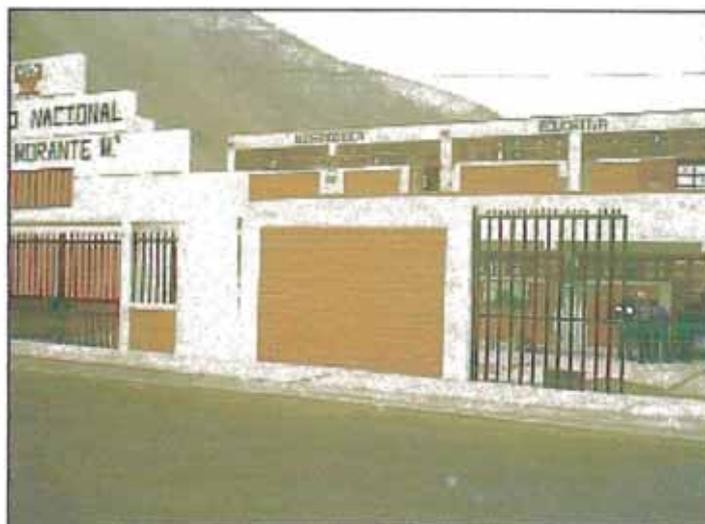


Imagen 5.1.2 – 1 Infraestructura dañada Módulo 780 3Aula/3Aula.
1977. CE. José María Morante (Ocoña – Arequipa)

Los daños en toda la infraestructura educativa se observan en las fotografías del anexo 01. Centramos la investigación en los daños ocurridos en el módulo 780, donde tenemos:

- Daños en el concreto.
- Grietas en los nudos de viga – columna.
- Grietas debajo de las soleras.
- Fisuras dentro de la zona inferior de la solera.
- Daños en juntas sísmicas.
- Daños por corte en algunos muros de albañilería ubicados en la parte frontal del módulo.
- Daños de desprendimiento del tarrajeo.

En el plano DMM-01 (anexo 02) se señalan los elementos dañados, así como su ubicación.

En forma general se tuvieron daños por efecto de columna corta, juntas sísmicas, desprendimiento del recubrimiento.

La extensión y forma de los daños en el centro educativo es función directa de la dirección en que actuó el sismo en la estructura.

5.1.3 Centro educativo Upis Paisajista (Hunter – Arequipa)

Las instalaciones del centro educativo Upis Paisajista sufrieron daños considerables en toda su infraestructura. (Ver Imagen 5.1.3 – 1)



Imagen 5.1.3 – 1 Infraestructura dañada Módulo 780 3Aula/3Aula.
1977. CE. Upis Paisajista (Hunter – Arequipa)

Los daños en toda la infraestructura educativa se observan en las fotografías del anexo 01. Este centro educativo es considerado por la investigación como un caso especial, describiendo a continuación el tipo de daños ocurridos en su estructura:

- Daños en el concreto.
- Grietas en los nudos de viga – columna.
- Grietas debajo de las soleras.
- Grietas dentro de la zona inferior de la solera.
- Daños en juntas sísmicas.
- Daños por corte en gran parte de muros de albañilería.
- Daños de desprendimiento del tarrajeo.

En los planos DUP-02, DUP-03, DUP-04, (anexo 02) se señalan los elementos que se dañaron, así como su ubicación.

De manera general, se presentaron daños por corte en los elementos de albañilería que aparentemente desarrollaron esfuerzos de corte, sin observar el efecto de columna corta (debido a que el diseño consideró la existencia de juntas sísmicas), desprendimiento del recubrimiento, etc.

La extensión y forma de los daños en el centro educativo es función directa de la dirección en la cual el sismo actuó en la estructura.

5.1.4 Centro educativo N° 40199 (Socabaya – Arequipa)

Las instalaciones del centro educativo N° 40199 no sufrieron daños en toda su infraestructura. (Ver Imagen 5.1.4 – 1)



Imagen 5.1.4 – 1 Infraestructura sin daños Módulo 780
3Aula/3Aula. 1997. CE. N° 40199 (Socabaya – Arequipa)

La infraestructura construída con los módulos 780 diseñados con las especificaciones de la N-97 de este centro educativo, no presentó daños en su estructura resistente, así como en sus elementos no estructurales, posiblemente debido a las restricciones de desplazamiento que fija la N-97. Esto se puede observar en las fotografías presentadas (anexo 01), donde las condiciones actuales del centro educativo lo muestran sin daños visibles y 100% operativo.

5.1.5 Centro educativo N° 40052 (Cayma – Arequipa)

Las instalaciones del centro educativo N° 40052 no sufrieron daños en toda su infraestructura. (Ver Imagen 5.1.5 – 1)

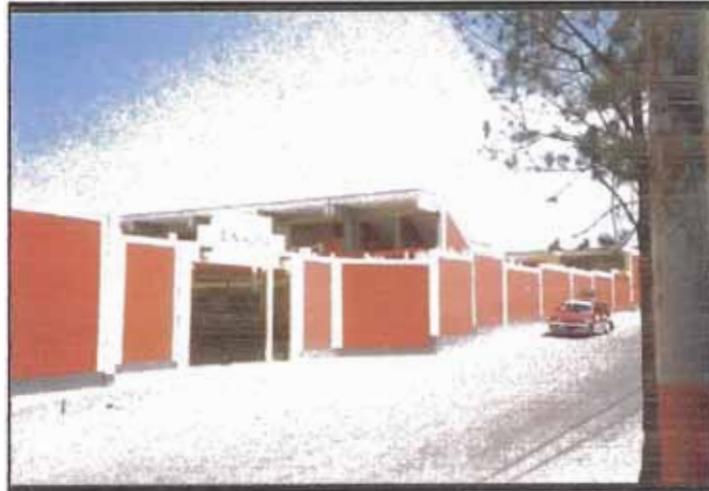


Imagen 5.1.5 – 1 Infraestructura sin daños Módulo 780
3Aula/3Aula. 1997. CE. N° 40052 (Socabaya – Arequipa)

La infraestructura construida con los módulos 780 diseñados con las especificaciones de la N-97 de este centro educativo, no presentó daños en su estructura resistente, así como en sus elementos no estructurales, posiblemente debido a las restricciones de desplazamiento que fija la N-97. Esto se puede observar en las fotografías presentadas (anexo 01), donde las condiciones actuales del centro educativo lo muestran sin daños visibles y 100% operativo.

Capítulo 6 **ANÁLISIS SÍSMICO**

6.1 Descripción de los modelos estructurales

El comportamiento dinámico de las estructuras se determina, mediante modelos matemáticos que consideren la contribución de los elementos estructurales, tales como vigas y columnas a través de su rigidez lateral en cada nivel de la estructura. Se ha comprobado en diversos estudios, que el comportamiento dinámico de las estructuras en el rango elástico se ve influenciado por la presencia de tabiquería, por lo que resulta necesario considerar la contribución de estos elementos en la rigidez lateral de las estructuras. Las estructuras fueron analizadas como pórticos tridimensionales, con losas supuestas infinitamente rígidas frente a acciones en su plano.

En los análisis se usó el programa ETABS (Extended 3d Analisis of Bulding Systems 20), donde se define la ubicación de los diversos elementos sobre la base de nudos y vanos en una planta genérica. Cada uno de los elementos y nudos se define por sus coordenadas XY, mientras que los vanos se definen por los nudos a los que se conectan. En cada nivel se puede asignar a cada nudo una sección de columna; si no se realiza esta asignación se entiende que el elemento no existe. De modo similar las vigas y paneles o placas se asignan a los vanos. Pueden utilizarse también elementos de piso, cuando se supone que las losas de piso actúan como diafragmas infinitamente rígidos en su plano, estos elementos de piso no intervienen en la rigidez, siendo utilizados sólo para facilitar los metrados de las cargas verticales.

Las cargas verticales se estimaron conforme a la norma de carga vigente (NTE E.020). Para las losas aligeradas armadas en una dirección se supuso un peso propio del orden de 300 kg/m^2 . Los pesos de vigas, columnas, placas y escaleras se estimaron a partir de sus dimensiones reales, considerando un peso específico de 2400 kg/m^3 y para la tabiquería un peso específico de 1800 kg/m^3 . Se incluyó igualmente el peso de acabados de piso y de techo, estimado en 100 kg/m^2 .

En el primer nivel la sobrecarga de diseño fue de 300 kgf/m^2 , a excepción del piso destinado al pasillo con una sobrecarga de 400 kg/m^2 , la azotea con una sobrecarga de 100 kg/m^2 .

El programa de cómputo empleado, permite la consideración de tres sistemas de cargas verticales independientes. En este caso las cargas permanentes se asignaron al sistema de carga I (D), mientras que los sistemas de cargas II y III (L1 y L2) correspondieron a los daderos de sobrecarga complementarios.

En la dirección Y los muros de albañilería fueron representados con elementos finitos bidimensionales. Los elementos finitos usados en ETABS, son elementos híbridos de esfuerzo, que consideran adecuadamente las acciones de membrana, pero no incluyen la rigidez flexionante para acciones normales al plano del elemento.

6.1.1 **Módulo 3Aulas/3Aulas del sistema 780/1977**

Este modelo está conformado por un sistema aporticado en la dirección X y un sistema de albañilería confinada, donde los muros de albañilería resisten gran parte de las cargas horizontales y verticales en la dirección Y. El modelo estructural que representa el comportamiento dinámico del módulo 3Aulas /3Aulas se encuentra representado en la Figura 6.1.1 – 1.

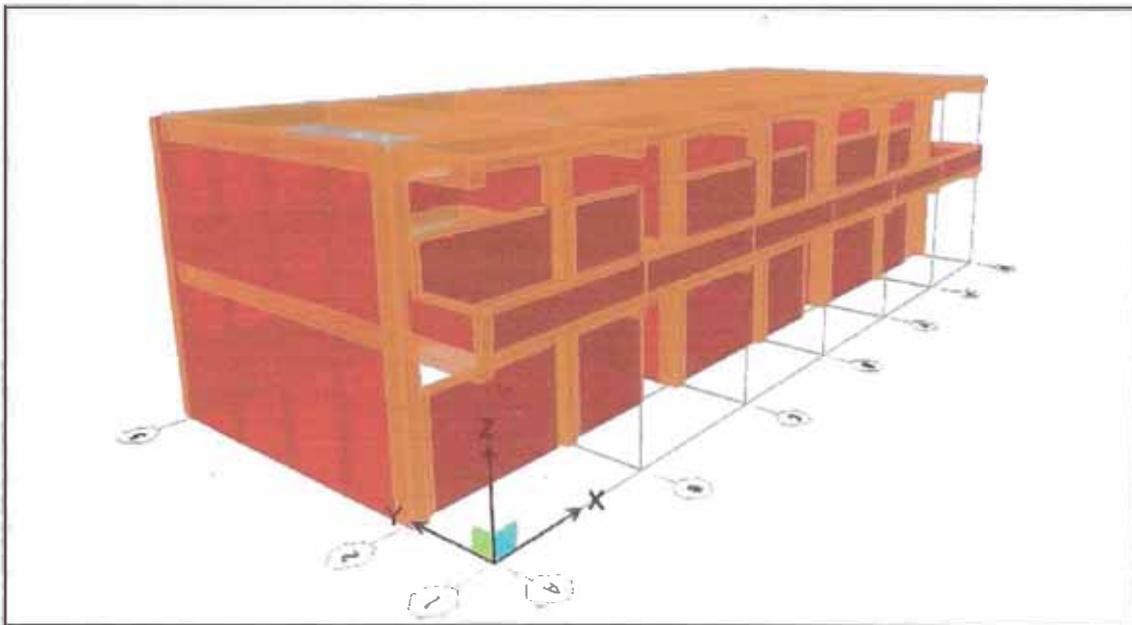


Figura 6.1.1 – 1 Modelo estructural del módulo 780 3aulas/3aulas N-77, empleado en el estudio.

En la figura 6.1.1 – 1 se pueden observar los elementos estructurales que conforman el módulo de 3Aulas/3Aulas.

Consideraciones del modelo estructural del módulo 780 3aulas/3aulas N-77:

MATERIALES

ALBAÑILERIA

TIPO DE MATERIAL

ISOTRÓPICO UNIDADES

PROPIEDADES

Masa por unidad de volumen	1900 kg/m ³
Módulo de elasticidad	1.25E+08 kg/m ²
Razón de Poisson	0.3
Coefficiente térmico de expansión	1.17E-05
Módulo de corte	48076923 kg/m ²

CONCRETO

TIPO DE MATERIAL

ISOTRÓPICO

PROPIEDADES

Masa por unidad de volumen	2400 kg/m ³
Módulo de elasticidad	1.95E+09 kg/m ²
Razón de Poisson	0.2
Coefficiente térmico de expansión	9.90E-06
Módulo de corte	8.31E+08 kg/m ²

ELEMENTOS TIPO ARMADURA(FRAME)

DESCRIPCIÓN	LARGO	ANCHO	ALTURA	MATERIAL
Columna	0.15	0.25		Concreto
Columna	0.30	0.50		Concreto
Viga		0.15	0.10	Concreto
Viga		0.30	0.20	Concreto
Viga		0.30	0.45	Concreto
Viga		0.30	0.50	Concreto
Viga		0.30	0.70	Concreto

SÓLIDO TIPO LOSA (SOLID SLAB)

DESCRIPCIÓN	ALTURA	MATERIAL
Losa maciza	0.167	Concreto

MURO DE ALBAÑILERIA (MEMBRANA)

DESCRIPCIÓN	ANCHO	MATERIAL
Muro	0.15	Albañilería
Muro	0.2	Albañilería

6.1.2 Módulo 3Aulas/3Aulas del sistema 780/1997

Este modelo está conformado por un sistema de muros de concreto armado en la dirección X, y un sistema de albañilería confinada donde los muros de albañilería resisten gran parte de las cargas horizontales y verticales en la dirección Y. El modelo estructural que representa el comportamiento dinámico del módulo 3A /3A se encuentra representado en la Figura 6.1.2 – 1.

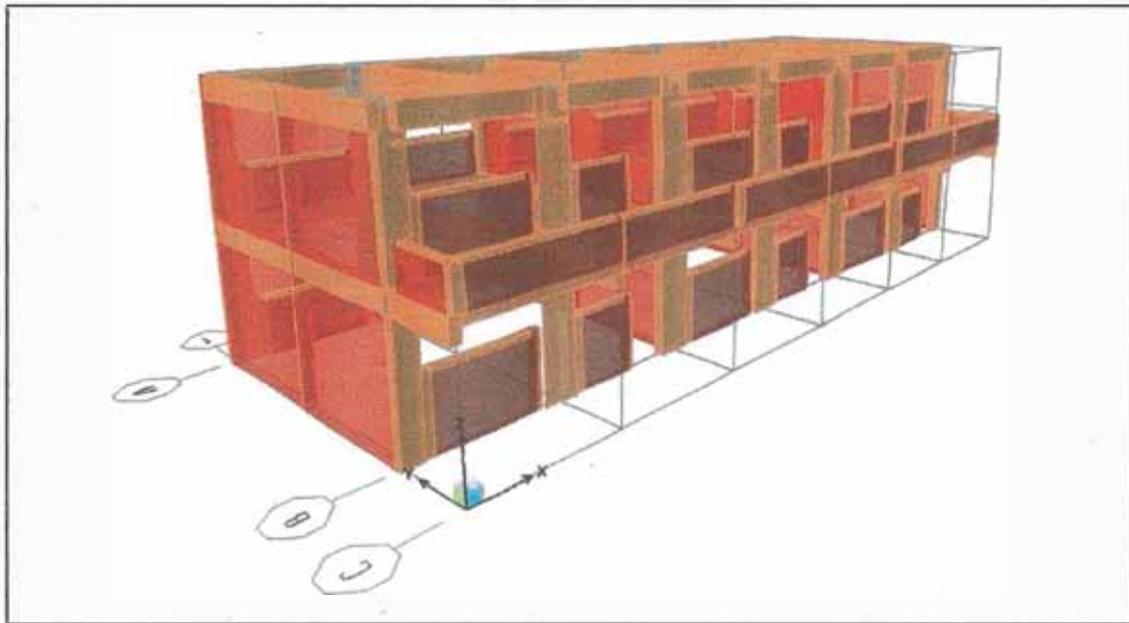


Figura 6.1.2 – 1 Modelo estructural del módulo 780 3aulas/3aulas N-97, empleado en el estudio.

En la figura 6.1.2 – 1 se puede observar los elementos estructurales que conforman el módulo de 3Aulas/3Aulas.

Consideraciones del modelo estructural del módulo 780 3aulas/3aulas N-97:

MATERIALES

ALBAÑILERÍA

TIPO DE MATERIAL

ISOTRÓPICO UNIDADES

PROPIEDADES

Masa por unidad de volumen	1900 kg/m ³
Módulo de elasticidad	1.25E+08 kg/m ²
Razón de Poisson	0.3
Coefficiente térmico de expansión	1.17E-05
Módulo de corte	48076923 kg/m ²

CONCRETO

TIPO DE MATERIAL

ISOTROPICO

PROPIEDADES

Masa por unidad de volumen	2400 kg/m ³
Módulo de elasticidad	1.95E+09 kg/m ²
Razón de Poisson	0.2
Coefficiente térmico de expansión	9.90E-06
Módulo de corte	8.13E+08 kg/m ²

ELEMENTOS TIPO ARMADURA(FRAME)

DESCRIPCIÓN	LARGO	ANCHO	ALTURA	MATERIAL
Columna	0.15	0.25		Concreto
Columna	0.25	0.25		Concreto
Columna	0.25	0.57		Concreto
Columna	0.25	0.90		Concreto
Columna T	0.45	0.90		Concreto
Viga		0.15	0.10	Concreto
Viga		0.25	0.20	Concreto
Viga		0.25	0.55	Concreto
Viga		0.30	0.55	Concreto
Viga		0.30	0.70	Concreto

SÓLIDO TIPO LOSA (SOLID SLAB)

<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>ALTURA</i>	<i>MATERIAL</i>
<i>Losa maciza</i>	<i>0.167</i>	<i>Concreto</i>

MURO DE ALBAÑILERIA (SHELL)

<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>ANCHO</i>	<i>MATERIAL</i>
<i>Muro</i>	<i>0.15</i>	<i>Albañilería</i>
<i>Muro</i>	<i>0.2</i>	<i>Albañilería</i>

En el anexo 03 se presentan las fichas técnicas de cada modelo incluyendo las dimensiones de todos los elementos estructurales.

6.2 Análisis de la situación actual

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), se tiene que desde el año 1990 se constituyeron 16,705 centros educativos para menores de edad hasta el año 1997 y se constituyeron desde este año, hasta el año 2001 30,817 centros educativos, incluyendo desde uno a varios módulos de educación secundaria para menores de edad.

Estas cifras indicarían la cantidad de centros educativos que estarían bajo la influencia de esta investigación.

En la actualidad, los centros educativos se diseñan y se construyen siguiendo las especificaciones de la Norma Técnica de Edificación E.030 2003.

6.3 Respuesta sísmica de centros educativos sistema 780

6.3.1 Parámetros sísmicos 1997

Parámetros sísmicos considerados módulo 780 N-77

Los parámetros sísmicos considerados para el módulo 780 N-77 eje Y (transversal a la circulación, sistema resistente albañilería confinada), se presentan en la tabla 6.3.1-1.

Tabla 6.3.1-1 Parámetros sísmicos del módulo 780 N-77 eje Y, sistema estructural albañilería confinada.

T(período)	Acel (g)	ZUCS/R	Z	U	S	Tp	C	R
0.000	2.943	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	6.000
0.100	2.943	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	6.000
0.150	2.943	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	6.000
0.200	2.943	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	6.000
0.250	2.943	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	6.000
0.300	2.943	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	6.000
0.350	2.943	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	6.000
0.400	2.943	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	6.000
0.450	2.943	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	6.000
0.500	2.943	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	6.000
0.550	2.943	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	6.000
0.600	2.943	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	6.000
0.650	2.663	0.271	0.400	1.500	1.200	0.600	2.262	6.000
0.700	2.427	0.247	0.400	1.500	1.200	0.600	2.062	6.000
0.750	2.227	0.227	0.400	1.500	1.200	0.600	1.891	6.000
0.800	2.054	0.209	0.400	1.500	1.200	0.600	1.745	6.000
0.850	1.904	0.194	0.400	1.500	1.200	0.600	1.618	6.000
0.900	1.773	0.181	0.400	1.500	1.200	0.600	1.506	6.000
0.950	1.657	0.169	0.400	1.500	1.200	0.600	1.408	6.000
1.000	1.554	0.158	0.400	1.500	1.200	0.600	1.320	6.000

El espectro de aceleraciones utilizado para la determinación de los desplazamientos del módulo 780 N-77 eje Y se presenta en el gráfico 6.3.1-1.

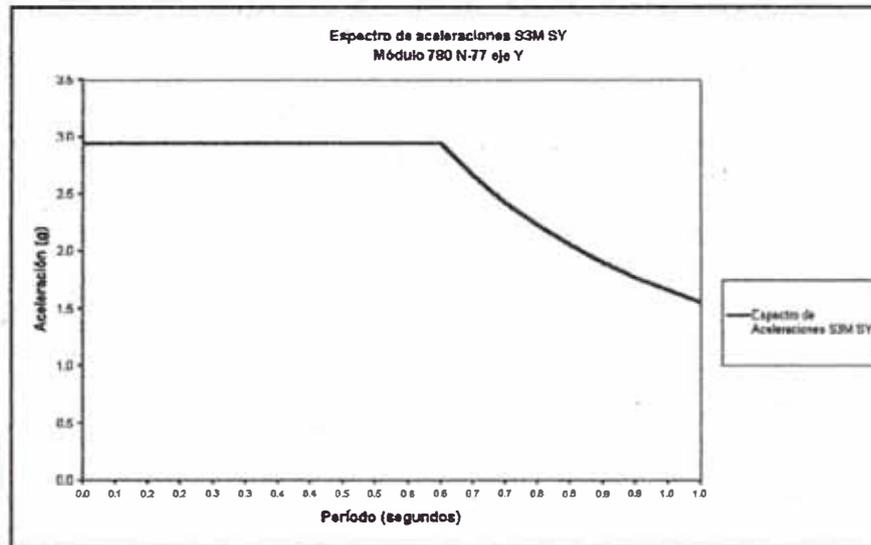


Gráfico 6.3.1-1 Espectro de aceleraciones para el módulo 780 N-77, eje Y, albañilería confinada.

Del gráfico 6.3.1-1 espectro de aceleraciones para el módulo 780 N-77, eje Y, muestra una aceleración máxima de 2.943 g para estructuras de periodo corto, iniciando su descenso a partir del periodo 0.6 segundos.

Los parámetros sísmicos considerados para el módulo 780 N-77 eje X (paralela a la circulación, sistema resistente pórticos de concreto armado), se presentan en la tabla 6.3.1-2.

Tabla 6.3.1-2 Parámetros sísmicos del módulo 780 N-77 eje X, sistema estructural pórticos de concreto armado.

T(periodo)	Acel (g)	ZUCS/R	Z	U	S	Tp	C	R
0.000	1.766	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	10.000
0.100	1.766	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	10.000
0.150	1.766	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	10.000
0.200	1.766	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	10.000
0.250	1.766	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	10.000
0.300	1.766	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	10.000
0.350	1.766	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	10.000
0.400	1.766	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	10.000
0.450	1.766	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	10.000
0.500	1.766	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	10.000
0.550	1.766	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	10.000
0.600	1.766	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	10.000
0.650	1.598	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.262	10.000
0.700	1.456	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.062	10.000
0.750	1.336	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	1.891	10.000
0.800	1.232	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	1.745	10.000
0.850	1.143	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	1.618	10.000
0.900	1.064	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	1.506	10.000
0.950	0.994	0.284	0.400	1.500	1.200	0.600	1.408	10.000
1.000	0.932	0.270	0.400	1.500	1.200	0.600	1.320	10.000

El espectro de aceleraciones, utilizado para la determinación de los desplazamientos del módulo 780 N-77 eje X se presenta en el gráfico 6.3.1-2.

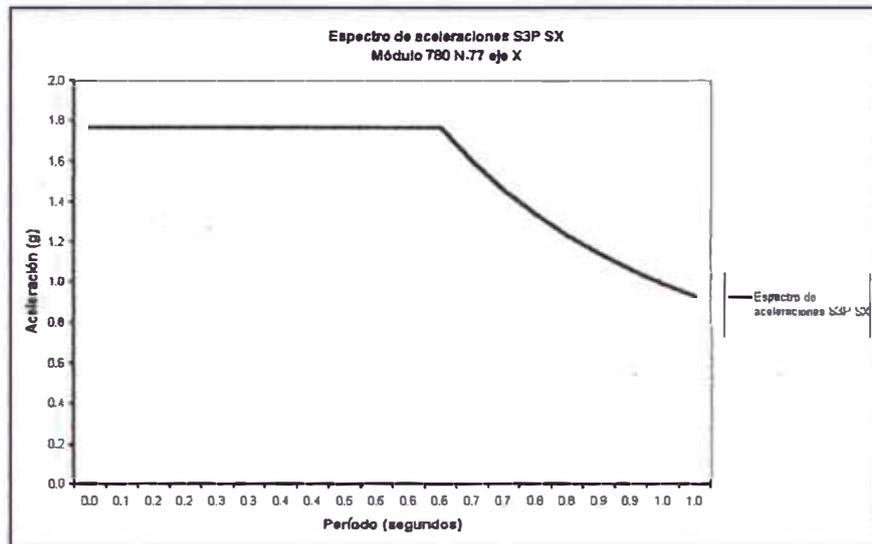


Gráfico 6.3.1-2 Espectro de aceleraciones para el módulo 780 N-77, eje X, pórticos de concreto armado.

Del gráfico 6.3.1-2 espectro de aceleraciones para el módulo 780 N-77, eje X, muestra una aceleración máxima de 1.766 g para estructuras de período corto, iniciando su descenso a partir del período 0.6 segundos.

Parámetros sísmicos considerados módulo 780 N-97

Los parámetros sísmicos, considerados para el módulo 780 N-77 eje Y (transversal a la circulación, sistema resistente albañilería confinada), se presentan en la tabla 6.3.1-3.

Tabla 6.3.1-3 Parámetros sísmicos del módulo 780 N-97 eje Y, sistema estructural albañilería confinada.

T(período)	Acel (g)	ZUCS/R	Z	U	S	T_p	C	R
0.000	2.943	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	6.000
0.100	2.943	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	6.000
0.150	2.943	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	6.000
0.200	2.943	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	6.000
0.250	2.943	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	6.000
0.300	2.943	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	6.000
0.350	2.943	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	6.000
0.400	2.943	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	6.000
0.450	2.943	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	6.000
0.500	2.943	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	6.000
0.550	2.943	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	6.000
0.600	2.943	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	6.000
0.650	2.663	0.271	0.400	1.500	1.200	0.600	2.262	6.000
0.700	2.427	0.247	0.400	1.500	1.200	0.600	2.062	6.000
0.750	2.227	0.227	0.400	1.500	1.200	0.600	1.891	6.000
0.800	2.054	0.209	0.400	1.500	1.200	0.600	1.745	6.000
0.850	1.904	0.194	0.400	1.500	1.200	0.600	1.618	6.000
0.900	1.773	0.181	0.400	1.500	1.200	0.600	1.506	6.000
0.950	1.657	0.169	0.400	1.500	1.200	0.600	1.408	6.000
1.000	1.554	0.158	0.400	1.500	1.200	0.600	1.320	6.000

El espectro de aceleraciones, utilizado para la determinación de los desplazamientos del módulo 780 N-97 eje Y se presenta en el gráfico 6.3.1-3.

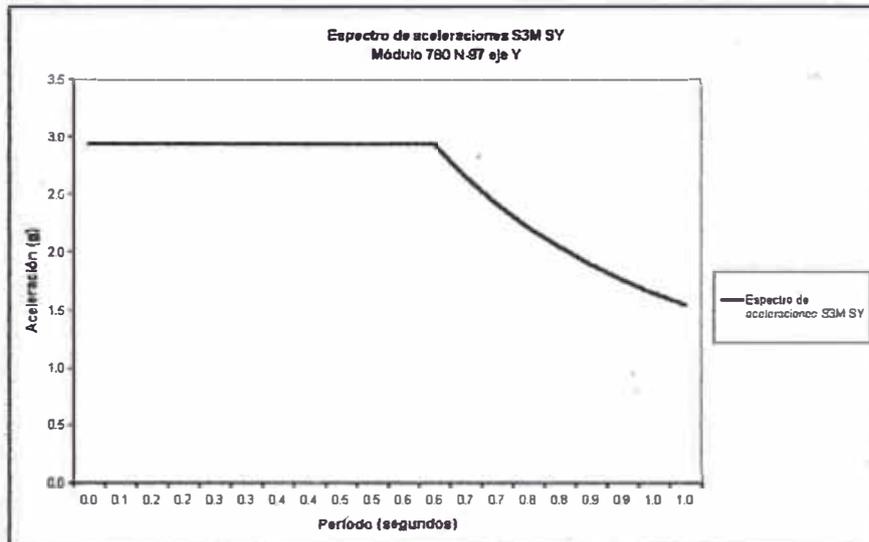


Gráfico 6.3.1-3 Espectro de aceleraciones para el módulo 780 N-97, eje Y, albañilería confinada.

Del gráfico 6.3.1-3 espectro de aceleraciones para el módulo 780 N-77, eje Y, muestra una aceleración máxima de 2.943 g para estructuras de período corto, iniciando su descenso a partir del período 0.6 segundos.

Los parámetros sísmicos considerados para el módulo 780 N-97 eje X (paralela a la circulación, sistema resistente muros de concreto armado), se presentan en la tabla 6.3.1-4.

Tabla 6.3.1-4 Parámetros sísmicos del módulo 780 N-97 eje X, sistema estructural muros de concreto armado.

<i>T(período)</i>	<i>Acel (g)</i>	<i>ZUCS/R</i>	<i>Z</i>	<i>U</i>	<i>S</i>	<i>T_p</i>	<i>C</i>	<i>R</i>
0.000	2.354	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	7.500
0.100	2.354	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	7.500
0.150	2.354	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	7.500
0.200	2.354	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	7.500
0.250	2.354	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	7.500
0.300	2.354	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	7.500
0.350	2.354	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	7.500
0.400	2.354	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	7.500
0.450	2.354	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	7.500
0.500	2.354	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	7.500
0.550	2.354	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	7.500
0.600	2.354	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.500	7.500
0.650	2.130	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.262	7.500
0.700	1.942	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	2.062	7.500
0.750	1.781	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	1.891	7.500
0.800	1.643	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	1.745	7.500
0.850	1.523	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	1.618	7.500
0.900	1.418	0.300	0.400	1.500	1.200	0.600	1.506	7.500
0.950	1.326	0.284	0.400	1.500	1.200	0.600	1.408	7.500
1.000	1.243	0.270	0.400	1.500	1.200	0.600	1.320	7.500

El espectro de aceleraciones, utilizado para la determinación de los desplazamientos del módulo 780 N-97 eje X se presenta en el gráfico 6.3.1-2.

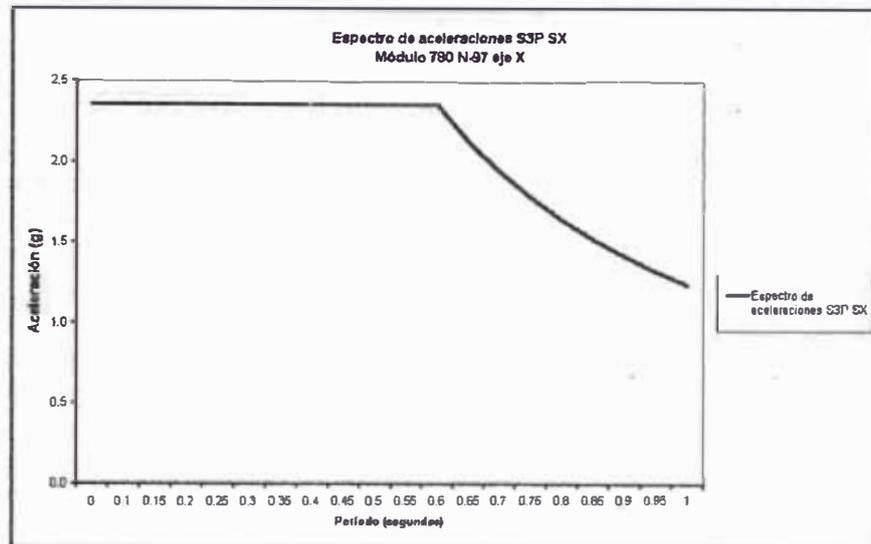


Gráfico 6.3.1-4 Espectro de aceleraciones para el módulo 780 N-97, eje X, muros de concreto armado.

Del gráfico 6.3.1-2 espectro de aceleraciones para el módulo 780 N-97, eje X, muestra una aceleración máxima de 2.354 g para estructuras de período corto, iniciando su descenso a partir del período 0.6 segundos.

6.3.2 Modelo Módulo 3Aulas/3Aulas Sistema 780 Norma 1977

Comportamiento sísmico de las estructuras

Las masas se evaluaron según las especificaciones de la N-97. Se incluyeron las masas de las losas, vigas, columnas, muros, tabiquería, los acabados de piso y techo más 25% (azotea) o 50% (1er y 2do techo) de la sobrecarga máxima.

El programa ETABS determina las rigideces, calcula las frecuencias naturales y los modos de vibración de las estructuras. En el análisis tridimensional se ha empleado la superposición modal de los primeros modos de vibración más representativos de la estructura (6 modos).

Conforme a la N-97, se ha considerado el espectro de diseño con un nivel de aceleración máxima, correspondiente a un sismo con 10% de probabilidad de ser

excedido en 50 años. Esto corresponde a una aceleración máxima espectral de 176.6 gal para la dirección XX, y de 294.3gal para la dirección YY, la que ha sido estimada en base a parámetros indicados en el anexo 03 (modelos).

Los resultados para el modelo, en términos de sus propiedades dinámicas se presentan en la tabla 6.3.2 – 1.

Tabla 6.3.2 –1 Periodos de vibración de los módulos (segundos)

MODO	PERÍODO T (s)
1	0.3578
2	0.1511
3	0.1375
4	0.1287
5	0.0512
6	0.0485

La N-97 señala que se deberán de considerar aquellos modos de vibración, cuya suma de masa efectiva sea por lo menos el 90% de la masa de la estructura. En el análisis de cada uno de los módulos se han considerado 6 modos que tienen el 100% de la masa participante, presentando en la tabla 6.3.2-2 los porcentajes de masa participante.

Tabla 6.3.2 – 2 Masa efectiva para cada forma de modo.

Modo	Periodo	UX	Sum UX	UY	Sum UY	UZ	Sum UZ
1	0.358	93.00	93.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.151	6.25	99.25	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.137	0.00	99.25	95.17	95.17	0.00	0.00
4	0.129	0.74	99.99	0.01	95.18	0.00	0.00
5	0.051	0.00	99.99	4.82	100.00	0.00	0.00
6	0.049	0.01	100.00	0.00	100.00	0.00	0.00

El espectro de aceleraciones es procesado por ETABS determinando los esfuerzos, desplazamientos absolutos y relativos producidos por la acción sísmica. Los resultados de fuerza cortante en la base se presentan en la tabla 6.3.2-3.

Tabla 6.3.2 – 3 Cortante en la base.

PISO	COR X(t)	COR Y(t)
Base	72.4514	123.37

Desplazamiento y distorsiones

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso, calculado según el análisis lineal elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas, multiplicado por el coeficiente R (será el desplazamiento en el rango inelástico), no deberá exceder la fracción de la altura de entrepiso según el tipo de material predominante. La N-97 establece que, para sistemas aporticados de concreto armado el límite es de 0.007h y para estructuras de albañilería es de 0.005h. Las distorsiones obtenidas del análisis del sísmico del modelo se presentan en la tabla 6.3.2-4.

Tabla 6.3.2 – 4 Distorsiones de entrepiso.

Piso	Diafragma	Carga	R	h	ΔX IN/h	ΔY IN/h	ΔZ IN/h	ΔRZ IN/h
NIV2	D2	SX	10	3.10	0.009	0.000	0.00005	-0.004
NIV2	D2	SY	6	3.10	0.000	0.001	0.00000	-0.000
NIV1	D1	SX	10	3.70	0.011	0.000	0.00009	0.011
NIV1	D1	SY	6	3.70	0.000	0.001	0.00000	0.000

Los resultados muestran distorsiones mayores a los límites permisibles para el módulo 780 N-77, en sus dos niveles, para la dirección X-X.

6.3.3 Modelo Módulo 3Aulas/3Aulas Sistema 780 Norma 1997

Comportamiento sísmico de las estructuras

Las masas se evaluaron según las especificaciones de la N-97. Se incluyeron las masas de las losas, vigas, columnas, muros, la tabiquería, los acabados de piso y techo más 25% (azotea) o 50% (1er y 2do techo) de la sobrecarga máxima.

El programa ETABS determina las rigideces, calcula las frecuencias naturales y los modos de vibración de las estructuras. En el análisis tridimensional se ha empleado la superposición de los primeros modos de vibración más representativos de la estructura (6 modos).

Conforme a la N-97, se ha considerado el espectro de diseño con un nivel de aceleración máxima, correspondiente a un sismo con 10% de probabilidad de ser excedido en 50 años. Esto corresponde a una aceleración máxima espectral de 235.4 gal para la dirección XX, y de 294.3 gal para la dirección YY, la que ha sido estimada en base a parámetros indicados en el anexo 03 (modelos). Los resultados para el modelo, en términos de sus propiedades dinámicas se presentan la 6.3.3-1.

Tabla 6.3.3 – 1 Períodos de vibración de los módulos (segundos)

MODO	PERÍODO T (s)
1	0.2220
2	0.1364
3	0.1268
4	0.0728
5	0.0537
6	0.0494

La N-97 señala que se deberán de considerar aquellos modos de vibración, cuya suma de masa efectiva sea por lo menos el 90% de la masa de la estructura. En el análisis de cada uno de los módulos se han considerado 6 modos que tienen el 100% de la masa participante, presentando en la tabla 6.3.3-2 los porcentajes de masa participante.

Tabla 6.3.3 – 2 Masa efectiva para cada forma de modo.

Modo	Periodo	UX	SumUX	UY	SumUY	UZ	SumUZ
1	0.222	90.84	90.84	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.136	0.00	90.84	95.35	95.35	0.00	0.00
3	0.127	0.01	90.84	0.00	95.35	0.00	0.00
4	0.073	9.12	99.96	0.00	95.35	0.00	0.00
5	0.054	0.00	99.96	4.65	100.00	0.00	0.00
6	0.049	0.04	100.00	0.00	100.00	0.00	0.00

El espectro de aceleraciones es procesado por ETABS determinando los esfuerzos, desplazamientos absolutos y relativos producidos por la acción sísmica. Los resultados de fuerza cortante en la base se presentan en la tabla 6.3.3-3.

Tabla 6.3.3 - 3 cortante en la base.

PISO	COR X(t)	COR Y(t)
1	95.3713	124.665

Desplazamientos y Distorsiones

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso, calculado según el análisis lineal elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas, multiplicado por el coeficiente R (será el desplazamiento en el rango inelástico), no deberá exceder la fracción de la altura de entrepiso según el tipo de material predominante. La N-97 establece que para sistemas de concreto armado el límite es de 0.007h y para estructuras de albañilería es de 0.005h. Las distorsiones obtenidas del análisis del sísmico del modelo se presentan en la tabla 6.3.3-4.

Tabla 6.3.3 – 4 Distorsiones de entrepiso

Piso	Diafragma	Carga	R	H	ΔX IN/H	ΔY IN/H	ΔZ IN/H	ΔRZ IN/H
NIV2	D2	SX	7.5	3.50	0.00379	0.00000	0.00000	-0.00060
NIV2	D2	SY	6	3.50	0.00000	0.00105	0.00000	0.00000
NIV1	D1	SX	7.5	3.75	0.00410	0.00000	0.00001	0.00410
NIV1	D1	SY	6	3.75	0.00000	0.00177	0.00000	0.00000

Los resultados muestran distorsiones menores a los límites permisibles para el módulo 780 N-97, en sus dos niveles, para la dirección X-X, Y-Y.

6.4 Análisis de rigideces y desplazamientos permitidos

I. Centros Educativos

Considerando que tenemos una estructura definida (centro educativo), esta estructura tendrá un desplazamiento máximo permitido establecido por cada una de las normas.

Considerando los siguientes parámetros, tenemos:

Norma 1977	Norma 1997
$H = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R_d} \cdot P$	$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$
$U = 1.3$	$U = 1.5$
$S = 1.4$	$S = 1.4$
$C = 0.4^*$	$C = 2.5^{**}$
$Z = 1$	$Z = 0.4$
$R_d = 4$	$R = 10$
$H = 18.2 \cdot \%P$	$V = 21\% \cdot P$

* El período del 1° modo, obtenido en un análisis dinámico es 0.36 segundos.

** En la Norma Técnica de Edificación E.030 el C máximo es 2.5

Del análisis anterior:

$$F_{77} = 14\%P \quad R_d = 4$$

$$F_{97} = 21\%P \quad R = 10$$

Si consideramos la altura del entre piso como $h_e = 350cm$; se obtendrá el máximo desplazamiento relativo de entrepiso establecido por cada de las normas, obteniendo los siguientes resultados:

$$\Delta_{r77} = 0.010 \cdot h_e \Rightarrow \Delta_{r77} = 3.5 \text{ cm}$$

$$\Delta_{r97} = 0.007 \cdot h_e \Rightarrow \Delta_{r97} = 2.45 \text{ cm}$$

Cumpléndose la siguiente relación:

$$\Delta_r = \Delta_c \cdot R \cdot \text{Coef} \Rightarrow \Delta_c = \frac{\Delta_r}{R \cdot \text{coef}}$$

Reemplazando los valores conocidos, tenemos.

$$\Delta_{c77} = \frac{3.5}{4 \cdot 0.75} \text{ cm} \Rightarrow \Delta_{c77} = 1.167 \text{ cm}$$

$$\Delta_{c97} = \frac{2.45}{10 \cdot 1.00} \text{ cm} \Rightarrow \Delta_{c97} = 0.245 \text{ cm}$$

Si se cumple la siguiente relación: $V = K \cdot \Delta_c \Rightarrow K = \frac{V}{\Delta_c}$

Reemplazando los valores conocidos, tenemos:

$$K_{77} = \frac{18.2\%P}{1.167 \text{ cm}} \Rightarrow K_{77} = 15.6\%P/\text{cm}$$

$$K_{97} = \frac{21\%P}{0.245 \text{ cm}} \Rightarrow K_{97} = 85.71\%P/\text{cm}$$

Esta variación en la rigidez calculada se observa en el gráfico 6.4.1 – 1.

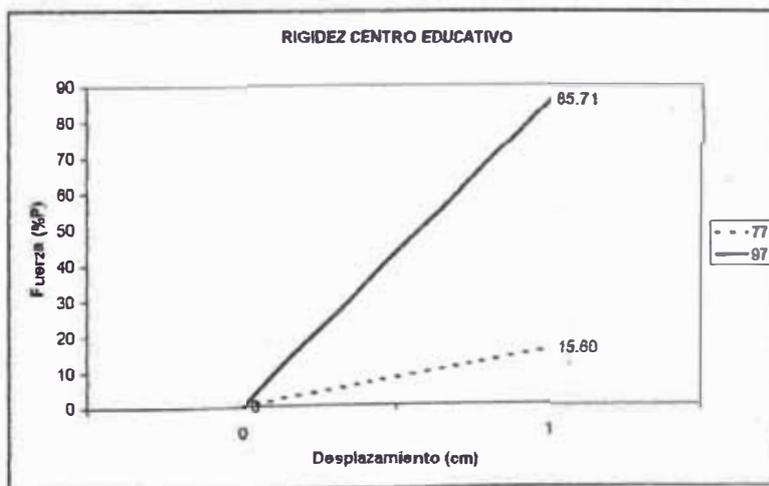


Gráfico 6.4.1 – 1 Representación de un desplazamiento unitario para la fuerza de diseño en función del peso de la estructura. Centros educativos.

Del análisis anterior relacionamos las pendientes obtenidas (estas serian rigideces mínimas esperadas), teniendo las siguientes relaciones:

$$\frac{K_{97}}{K_{77}} = 5.49$$

La respuesta sísmica de las estructuras educativas está directamente relacionada con su rigidez, del análisis tenemos, que la rigidez mínima deseada para las estructuras aplicando N-97, es 5.49 veces la rigidez deseada por la N-77; directamente se tendría que la respuesta sísmica seria superior en la misma proporción.

II. Estructura Categoría B

Considerando que tenemos una estructura definida (categoría B), esta estructura tendrá un desplazamiento máximo permitido establecido por cada una de las normas.

Considerando los siguientes parámetros, tenemos:

Norma 1977	Norma 1997
$H = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R_d} \cdot P$	$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$
$U = 1.3$	$U = 1.3$
$S = 1.4$	$S = 1.4$
$C = 0.4^*$	$C = 2.5^{**}$
$Z = 1$	$Z = 0.4$
$R_d = 4$	$R = 10$
$H = 18.2 \cdot \%P$	$V = 18.2\% \cdot P$

* El período del 1° modo, obtenido en un análisis dinámico es 0.36 segundos.

** En la Norma Técnica de Edificación E.030 el C máximo es 2.5.

Del análisis anterior:

$$F_{77} = 18.2\%P \quad R_d = 5$$

$$F_{97} = 18.2\%P \quad R = 10$$

Si consideramos la altura del entre piso como $h_e = 350cm$, se obtendrá el máximo desplazamiento relativo de entrepiso establecido por cada de las normas, obteniendo los siguientes resultados:

$$\Delta_{r77} = 0.010 \cdot h_e \Rightarrow \Delta_{r77} = 3.5cm$$

$$\Delta_{r97} = 0.007 \cdot h_e \Rightarrow \Delta_{r97} = 2.45cm$$

Cumpléndose la siguiente relación:

$$\Delta_r = \Delta_c \cdot R \cdot Coef \Rightarrow \Delta_c = \frac{\Delta_r}{R \cdot coef}$$

Reemplazando los valores conocidos, tenemos:

$$\Delta_{c77} = \frac{3.5}{4 \cdot 0.75} cm \Rightarrow \Delta_{c77} = 1.167cm$$

$$\Delta_{c97} = \frac{2.45}{10 \cdot 1.00} cm \Rightarrow \Delta_{c97} = 0.245cm$$

Si se cumple la siguiente relación: $V = K \cdot \Delta_c \Rightarrow K = \frac{V}{\Delta_c}$

Reemplazando los valores conocidos, tenemos.

$$K_{77} = \frac{18.2\%P}{1.167cm} \Rightarrow K_{77} = 15.60\%P/cm$$

$$K_{97} = \frac{18.2\%P}{0.245cm} \Rightarrow K_{97} = 74.29\%P/cm$$

Esta variación en la rigidez calculada se observa en el gráfico 6.4.II – 1.

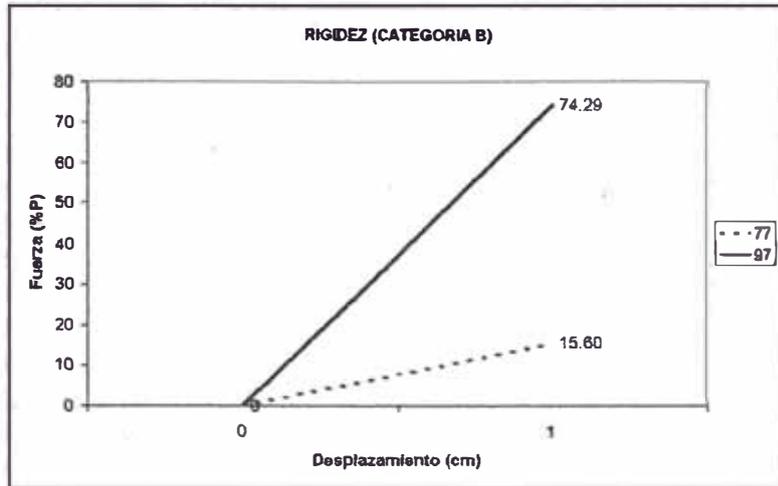


Gráfico 6.4.II - 1 Representación de un desplazamiento unitario para la fuerza de diseño, en función del peso de la estructura. Edificaciones de categoría B.

Del análisis anterior relacionamos las pendientes obtenidas (estas serían rigideces mínimas esperadas), teniendo las siguientes relaciones:

$$\frac{K_{97}}{K_{77}} = 4.76$$

La respuesta sísmica de las estructuras, esta directamente relacionada con su rigidez; del análisis tenemos que la rigidez mínima deseada para las estructuras de categoría B aplicando la N-97, es 4.76 veces la rigidez deseada por la N-77, directamente se tendría que la respuesta sísmica sería superior en la misma proporción.

Capítulo 7 EVALUACIÓN DE RESULTADOS

7.1 Análisis comparativo

7.1.1 Comportamiento Sísmico

Una medida representativa de la respuesta de un sistema estructural sujeto a cargas laterales o sismos es el desplazamiento relativo de entrepiso, es decir, el incremento en el desplazamiento lateral entre un piso y el siguiente, este desplazamiento entre la altura, denominado distorsión o deriva, es el parámetro más empleado para cuantificar la respuesta de las edificaciones, como también para estimar el grado de daño que puede presentarse, tanto en la estructura como en los elementos no estructurales.

Al realizar la comparación del comportamiento sísmico (Módulo 780 N-77 vs. Módulo 780 N-97), se realizó con los valores de los desplazamientos relativos inelásticos esperados para cada estructura obtenidos del análisis al aplicarles los espectros de diseño de la N-97.

7.1.1.1 Comparación de los periodos obtenidos para cada forma de modo

Presentando en Tabla 7.1.1.1 – 1, la variación de las formas de modo para cada modelo.

Tabla 7.1.1.1-1 Comparación de los periodos obtenidos para cada modelo.

MODO	$(P_{97}/P_{77-1}) \times 100$
1	-38
2	-10
3	-8
4	-43
5	5
6	2

Existe una variación significativa en los periodos de vibración, esto es debido a que las formas de modos son diferentes en cada modelo, como se observan en las figuras.

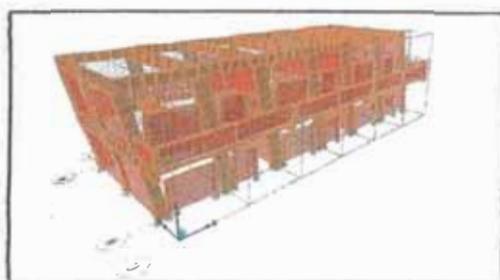
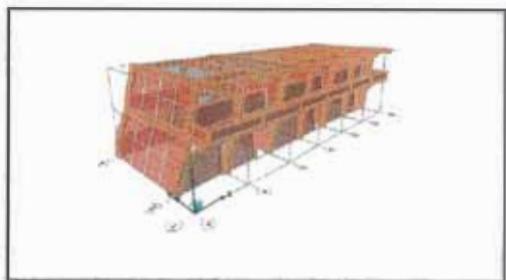


Figura 7.1.1.1-1 Formas de modo N° 01 para ambos modelos (izquierda modelo 1977, derecha modelo 1997)

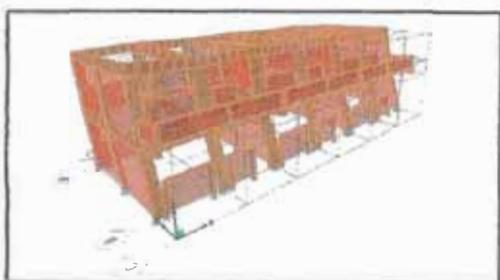
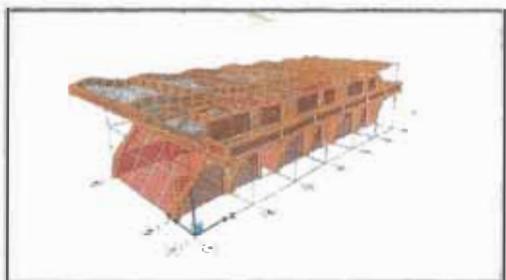


Figura 7.1.1.1-2 Formas de modo N° 02 para ambos modelos (izquierda modelo 1977, derecha modelo 1997)

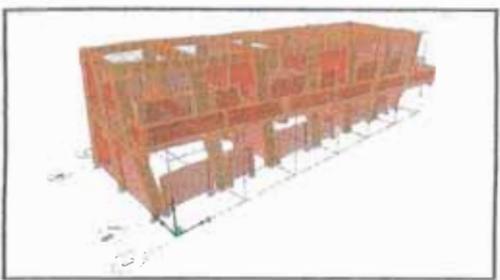
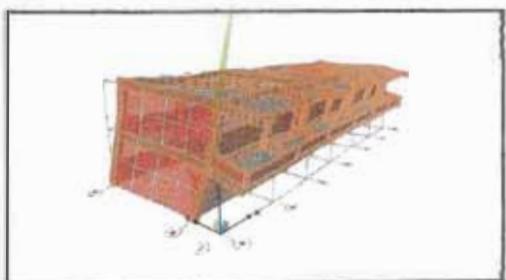


Figura 7.1.1.1-3 Formas de modo N° 03 para ambos modelos (izquierda modelo 1977, derecha modelo 1997)

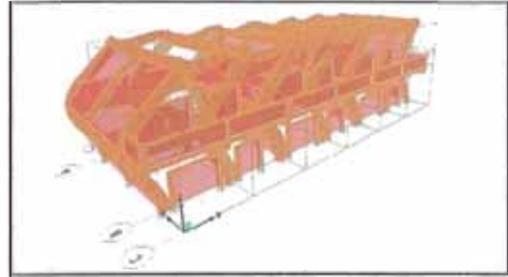
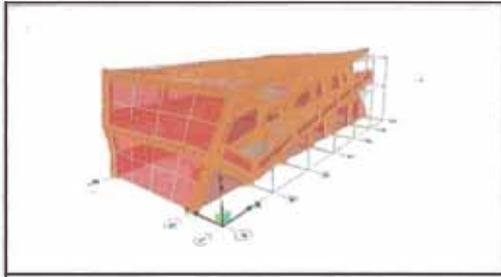


Figura 7.1.1.1-4 Formas de modo N° 04 para ambos modelos (izquierda modelo 1977, $T = 0.12$ s, derecha modelo 1997, $T = 0.07$ s)

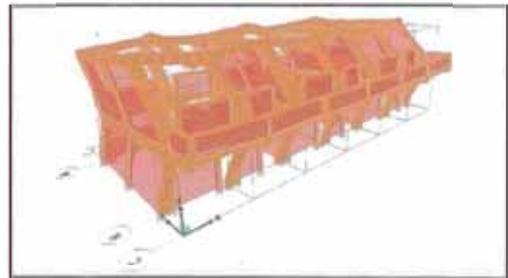
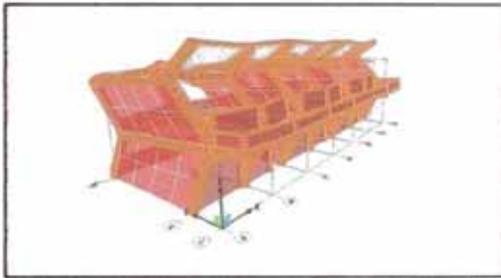


Figura 7.1.1.1-5 Formas de modo N° 05 para ambos modelos (izquierda modelo 1977, $T = 0.05$ s, derecha modelo 1997, $T = 0.05$ s).

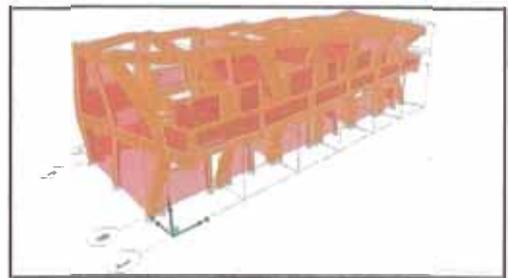
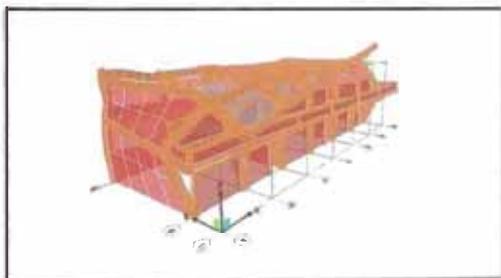


Figura 7.1.1.1-6 Formas de modo N° 06 para ambos modelos (izquierda modelo 1977, $T = 0.04$ s, derecha modelo 1997, $T = 0.04$ s).

7.1.1.2 Comparación de las masas efectivas

En las tablas 7.1.1.2-1, 7.1.1.2-2 se muestran en porcentajes las masas efectivas modales para cada dirección, en cada modelo.

Tabla 7.1.1.2 – 1 Masa efectiva modal para el eje X de los modelos.

Modo	UX77	UX97
1	93.00	90.84
2	6.25	0.00
3	0.00	0.01
4	0.74	9.12
5	0.00	0.00
6	0.01	0.04

Tabla 7.1.1.2 – 2 Masa efectiva modal para el eje Y de los modelos.

Modo	UY77	UY97
1	0.00	0.00
2	0.00	95.35
3	95.17	0.00
4	0.01	0.00
5	4.82	4.65
6	0.00	0.00

Como anteriormente lo mencionamos, las masas efectivas modales serán diferentes debido a que las formas de modo son diferentes en cada modelo.

7.1.1.3 Comparación de los desplazamientos relativos elásticos calculados

Se muestra la comparación de los desplazamientos elásticos relativos en la tabla 7.1.1.3-1, Calculados al aplicarse a los modelos el espectro de diseño de la N-97.

Tabla 7.1.1.3 – 1 Comparación de desplazamientos relativos obtenidos para cada modelo de los módulos

Piso	Diafragma	Dirección sismo	ΔX_{77}	ΔX_{97}	$\Delta X_{97}/\Delta X_{77}$
NIV2	D2	SX	0.0029	0.0018	0.61
NIV2	D2	SY	-0.0000	0.0000	1.00
NIV1	D1	SX	0.0042	0.0020	0.49
NIV1	D1	SY	0.0000	0.0000	0.33

Piso	Diafragma	Dirección sismo	ΔY_{77}	ΔY_{97}	$\Delta Y_{97}/\Delta Y_{77}$
NIV2	D2	SX	0.00000	0.00000	1.00
NIV2	D2	SY	0.00062	0.00061	1.00
NIV1	D1	SX	0.00000	0.00000	1.00
NIV1	D1	SY	0.00110	0.00111	1.01

Piso	Diafragma	Dirección sismo	ΔRZ_{77}	ΔRZ_{97}	$\Delta RZ_{97}/\Delta RZ_{77}$
NIV2	D2	SX	-0.00129	-0.00028	0.22
NIV2	D2	SY	-0.00000	-0.00000	0.25
NIV1	D1	SX	0.00418	0.00205	0.49
NIV1	D1	SY	0.00000	0.00000	0.33

7.1.1.4 Comparación de los desplazamientos relativos inelásticos calculados

Se muestra la comparación de los desplazamientos relativos inelásticos calculados en la tabla 7.1.1.4-1, estos se obtienen, al multiplicar los desplazamientos elásticos por el coeficiente de reducción de solicitaciones sísmicas.

Tabla 7.1.1.4 - 1 Comparación de desplazamientos inelásticos relativos obtenidos para cada modelo de los módulos.

Piso	Diafragma	Dirección sismo	R	ΔX IN77	ΔX IN97	ΔX IN97/ ΔX IN77
NIV2	D2	SX	10	0.02898	0.01328	0.46
NIV2	D2	SY	6	-0.00001	0.00000	0.00
NIV1	D1	SX	10	0.04184	0.01536	0.37
NIV1	D1	SY	6	0.00002	0.00001	0.33

Piso	Diafragma	Dirección sismo	R	ΔY IN77	ΔY IN97	ΔY IN97/ ΔY IN77
NIV2	D2	SX	10	0.00000	0.00001	1.00
NIV2	D2	SY	6	0.00369	0.00366	0.99
NIV1	D1	SX	10	0.00001	0.00000	0.00
NIV1	D1	SY	6	0.00659	0.00665	1.01

Piso	Diafragma	Dirección sismo	R	ΔRZ IN77	ΔRZ IN97	ΔRZ IN97/ ΔRZ IN77
NIV2	D2	SX	10	-0.01286	-0.00209	0.16
NIV2	D2	SY	6	-0.00002	-0.00001	0.25
NIV1	D1	SX	10	0.04184	0.01536	0.37
NIV1	D1	SY	6	0.00002	0.00001	0.33

Desplazamientos inelásticos en el eje X

Los desplazamientos relativos inelásticos esperados en el eje X se redujeron a 46% en el segundo nivel, 37% en el primer nivel con el modelo del módulo 780 N-97, en comparación con el modelo del módulo 780 N-77 para el espectro de aceleraciones en la misma dirección.

Desplazamientos inelásticos en el eje Y

Los desplazamientos relativos elásticos esperados en el eje Y se mantuvieron iguales en el segundo nivel y en el primer nivel para el espectro de aceleraciones en la misma dirección. Se observa que la variación en esta dirección no fue significativa debido a que en el sistema resistente en su dirección no ha sufrido gran variación.

Rotación

Las rotaciones relativas elásticas, son las que presentan la mayor reducción en el modelo del módulo 780 N-97 debido a la interacción de los sistemas, creando una estructura muy robusta y resistente en este módulo, reduciéndose a 16.2% en el segundo nivel y 33.3% en el primer nivel del obtenido en el modelo del módulo 780 N-77.

7.1.1.5 Comparación de las distorsiones esperadas

Las distorsiones esperadas para cada dirección, se obtienen al dividir los desplazamientos relativos de entrepiso, y la altura del entrepiso. Se presenta la comparación de las distorsiones esperadas para cada modelo en la tabla 7.1.1.5-1.

Tabla 7.1.1.5 – 1 Comparación de las distorsiones esperadas obtenidos para cada modelo de los módulos.

Piso	Diafragma	Dirección sismo	R 77	h 77	R 97	h 97	Distor X 77	Distor X 97	(Distor X 97) / (distor X 77)
NIV2	D2	SX	10	3.10	7.5	3.50	0.00935	0.00379	0.41
NIV2	D2	SY	6	3.10	6	3.50	0.00000	0.00000	-
NIV1	D1	SX	10	3.70	7.5	3.75	0.01131	0.00410	0.36
NIV1	D1	SY	6	3.70	6	3.75	0.00000	0.00000	0.33

Piso	Diafragma	Dirección sismo	R 77	h 77	R 97	h 97	Distor Y 77	Distor Y 97	(Distor Y 97) / (distor Y 77)
NIV2	D2	SX	10	3.10	7.5	3.50	0.00000	0.00000	-
NIV2	D2	SY	6	3.10	6	3.50	0.00119	0.00105	0.88
NIV1	D1	SX	10	3.70	7.5	3.75	0.00000	0.00000	-
NIV1	D1	SY	6	3.70	6	3.75	0.00178	0.00177	0.99

Piso	Diafragma	Dirección sismo	R 77	h 77	R 97	h 97	ΔRZ IN/h 77	ΔRZ IN/h 97	(ΔRZ IN/h 77) / (ΔRZ IN/h 97)
NIV2	D2	SX	10	3.10	7.5	3.50	-0.00415	-0.00060	0.14
NIV2	D2	SY	6	3.10	6	3.50	-0.00001	0.00000	0.22
NIV1	D1	SX	10	3.70	7.5	3.75	0.01131	0.00410	0.36
NIV1	D1	SY	6	3.70	6	3.75	0.00000	0.00000	0.33

Distorsiones esperadas en el eje X

Las distorsiones esperadas en el eje X se redujeron a 41% en el segundo nivel y 36% en el primer nivel con el modelo del módulo 780 N-97, en comparación con el modelo del módulo 780 N-77 para el espectro de aceleraciones en la misma dirección.

Distorsiones esperadas en el eje Y

Las distorsiones esperadas en el eje Y se redujeron a 88% en el segundo nivel y 99% en el primer nivel con el modelo del módulo 780 N-97, en comparación con el modelo del módulo 780 N-77 para el espectro de aceleraciones en la misma dirección. Se observa que la variación en esta dirección no es significativa, debido a que en el sistema resistente en su dirección no ha variado bruscamente.

Distorsiones esperadas en la rotación

Las distorsiones esperadas para la rotación son las que presentan la mayor reducción, debido a la interacción de los sistemas, creando una estructura muy robusta y resistente para el modelo del módulo 780 N-97 llegando a representar 14.4% en el segundo nivel y 33% en el primer nivel de los obtenidos en el modelo del módulo 780 N-77.

7.1.1.6 Comparación de las rigideces elásticas calculadas

Las rigideces elásticas calculadas son función de la fuerza cortante en cada nivel y de el desplazamiento obtenido (al aplicarle el espectro de aceleraciones). Se presenta la comparación de las rigideces obtenidas para cada modelo en la tabla 6.5.1.6-1.

Tabla 7.1.1.6 – 1 Comparación de rigideces en cada dirección

Piso	Dirección sismo	$KX(t/m)77$	$KX(t/m)97$	$KX(t/m)97/KX(t/m)77$
NIV2	SX	13337	27619	2.07
NIV2	SY	-76600	-	-
NIV1	SX	17316	46568	2.69
NIV1	SY	31967	46600	1.46

Piso	Dirección sismo	$KY(t/m)77$	$KY(t/m)97$	$KY(t/m)97/KY(t/m)77$
NIV2	SX	-	20700	-
NIV2	SY	102844	94829	0.92
NIV1	SX	57500	-	-
NIV1	SY	112359	112412	1.00

Rigidez en la dirección X

De las tablas que se muestran, las rigideces presentadas son los valores para cada nivel de piso.

En el modelo del módulo 780 N-97, la rigidez del nivel 2 es 2.07 veces y la rigidez del nivel 1 es 2.69 veces la rigidez del modelo del módulo 780 N-77 para el espectro de aceleraciones SX.

Debemos de recordar que los cambios en la estructuración se presentan en esta dirección.

Rigidez en la dirección Y

Del modelo del módulo 780 N-97, las rigideces para esta dirección no han variado debido a que el sistema estructural resistente sigue siendo el mismo, con las mismas características.

7.1.2 Costos

El costo de los módulos es directamente afectado por diversos factores, entre ellos el lugar geográfico, los costos de los insumos, la mano de obra, el tipo de cimentación a emplearse (tipo de suelo), etc. Debido a ello; para una comparación de costos es necesario que los centros educativos se encuentren ubicados en un lugar geográfico común o similar, con las características apropiadas, en este caso hemos tomado que el tipo de módulo 780 construido sea el 3Aulas/3Aulas.

Quedan descartados los módulos del centro educativo Upis Paisajista, por ser del módulo tipo octógono y a la vez los módulos del centro educativo José María Morante, debido que los precios de diversas partidas poseen una variación superior al 50% con respecto al centro educativo Chucarapi, el cual es usado como costo base del módulo 780 construido y diseñado con las especificaciones de la N-77.

Tomamos como módulo base de comparación 1997 el centro educativo N° 40199. Ubicado en el Distrito de Arequipa.

La tabla 7.1.2 -1 muestra las consideraciones tomadas para el análisis económico de los módulos.

Tabla 7.1.2 – 1 Consideraciones tomadas en los módulos 780: módulo 780-1977, módulo reparado y reforzado 780-1977 y el módulo 780-1997.

MODULO 780				
	1977	REP. Y REF.	1977(REP. Y REF.)	1997
Fecha de presupuesto	31/07/93	01/10/01	01/10/01	01/09/99
COSTO \$ + INFLACIÓN (AULA)	11798.5	4724.43	16522.93	15584.65
AREA DE AULA	68.91	68.91	68.91	68.91
US \$ = S/.	2.02	3.52		3.32
US \$ +inflación = S/.	1.7	3.6		3.3

Tabla 7.1.2 – 2 Variación del costo módulo 780, módulo reparado y reforzado 780-77 y módulo 780-97.

VARIACIÓN DEL COSTO			
	MRR77/M77	M97/M77	MRR77/M97
COSTO \$ + INFLACIÓN (AULA)	1.40	1.32	1.06

La tabla 7.1.2-2 muestra los incrementos de los costos del módulo 780:

El costo del módulo reparado y reforzado 780 N-77 equivaldría a un incremento de 40% del costo del módulo 780 N-77.

El costo del módulo 780-97 equivaldría a un incremento en 32% del costo del módulo 780 N-77.

El costo de módulo 780 N-77 reparado y reforzado es 6% mayor al módulo 780-97.

7.1.3 Funcionalidad

La funcionalidad de los centros educativos dentro del estudio, diseñados y construidos con las especificaciones de la N-77, fue reducida a cero hasta el momento de su reparación, debido a los daños que sufrieron tras la ocurrencia del sismo del 23 de junio del 2001, incurriendo en gastos de lucro cesante; mientras que los centros educativos diseñados y construidos con las especificaciones de la N-97, quedaron 100% operativos después del sismo.

7.2 Resultados relevantes

Los resultados importantes de la presente investigación son la respuesta esperada de las estructuras educativas, al aplicar el espectro de diseño sismorresistente que nos brinda la N-97.

Los cambios en los módulos 780 al aplicar la N-97, es la variación del sistema resistente en el eje X, que pasó de ser un pórtico de concreto armado al sistema de muros de concreto armado, aumentando así sustancialmente la rigidez en esta dirección, reduciendo los desplazamientos elásticos al 33% en el primer nivel para la dirección del espectro en el eje Y, mientras que para la dirección del espectro en el eje X se redujo el desplazamiento elástico a 49%, en el primer nivel. De la misma forma se obtuvieron considerables reducciones en los desplazamientos inelásticos esperados en el eje X; reduciendo a 33% el desplazamiento inelástico para la dirección del espectro del eje Y en el primer nivel; mientras que para el espectro con dirección del eje X se redujo el desplazamiento inelástico a 49% en el primer nivel.

De todos los resultados obtenidos se tiene que la rigidez en el eje X, donde se encuentra la variación del sistema resistente, es hasta 2.7 veces para el primer nivel y 2.07 veces para el segundo nivel.

Para el eje Y donde no hay variación del sistema resistente, se tiene los mismos resultados.

Se debe de tener en cuenta que estos valores obtenidos del análisis estructural, son órdenes de magnitud, más no representan un valor exacto.

Los costos de las estructuras educativas moduladas por el sistema 780, que se diseñaron y construyeron con las especificaciones de la N-97, equivalen a un incremento en el presupuesto de 32% de un módulo 780 diseñado y construido con las especificaciones de la N-77.

Los costos de un módulo reparado y reforzado 780, diseñado y construido con las especificaciones de la N-77, cumpliendo las especificaciones de la N-97, equivalen a un incremento en el presupuesto de 40% del módulo 780-77.

De la funcionalidad, se tiene que los objetivos para edificaciones esenciales, como lo son los centros educativos, se lograron al 100%, bajo el diseño y construcción con las especificaciones de la N-97, la misma que no se logró cumplir por las edificaciones diseñadas y construidas con las especificaciones de la N-77.

De los resultados, los tipos de fallas encontradas y observadas en los centros educativos bajo estudio, se tiene que fallaron por detalles estructurales no considerados en su diseño, en donde tuvo predominancia la columna corta y el sobre esfuerzo de los elementos estructurales.

7.3 Verificación de hipótesis

- El comportamiento sísmico esta relacionado a las rigideces, el cumplimiento de las especificaciones de la N-97 aumentó la rigidez de las estructuras, mejorando la relación de la N-97 con respecto a la N-77 (tomando como base los desplazamientos máximos permitidos) hasta en 5.4 veces, y analíticamente (modelos estructurales) 2.6 veces.
- Los daños ocurridos a los módulos 1977 por el sismo del 23 de junio del 2001, se produjeron en los elementos estructurales y no estructurales, declarándolos dañados, mientras que los módulos 1997 no sufrieron daños visibles en los elementos estructurales y no estructurales, sufriendo algún tipo de daño los materiales muebles.
- Los costos de reparación quedaron reducidos a cero para los módulos 1997, mientras que los módulos 1977 necesitaron un proyecto de reparación y reforzamiento, el cual representa el 40% de su costo original.

Capítulo 8 Conclusiones y recomendaciones

8.1 Conclusiones

8.1.1 Del análisis sísmico

De este análisis podemos rescatar:

1. De los cálculos analíticos que realizamos tenemos, que existe una gran diferencia de la respuesta esperada para los centros educativos modulados; construidos y diseñados con la N-97 en comparación con los construidos y diseñados con la N-77, esta se mejoro en la dirección del eje X al reducirse las distorsiones esperadas a 40% en el segundo nivel y 36% en el primer nivel, esto es debido al incremento de la rigidez en esta dirección al usar muros de concreto armado, aumentando su rigidez.
2. En la dirección X del cálculo analítico del modelo del módulo 780 N-77 se tiene como resultado una distorsión de 0.009 en el segundo nivel y 0.011 en el primer nivel, estas distorsiones superan la permitida por la N-97 la cual es de 0.007 para concreto armado, concluyendo que esta entraría al rango inelástico en los dos niveles, sufriendo mayor daño en el primer nivel, esto se constató con el sismo ocurrido el 23 de Junio del 2001, el cual tuvo una aceleración máxima de 295.3Gal. (registro de Moquegua).
3. Mientras que del cálculo analítico del modelo del módulo 780 N-97 se tiene como resultado una distorsión de 0.0038 en el segundo nivel, 0.0041 en el primer nivel los cuales no superan la distorsión establecida por la norma de 0.007, quedando un margen de hasta 41% de distorsión, concluyendo que no presentaría daños visibles por la ocurrencia de un sismo severo, lo cual se constato con el sismo ocurrido el 23 de Junio del 2001. Pero debido a que la aceleración máxima del sismo fue de 295.3Gal. (registro de Moquegua). esta aceleración supera ligeramente la aceleración esperada por el espectro de diseño en la dirección X el cual es de 235.4 Gal. para este modelo, sin embargo los resultados obtenidos analíticamente nos indican que la estructura no entraría al rango inelástico, manteniéndose teóricamente en el rango elástico.
4. En la dirección Y, del cálculo analítico del módulo 780 N-77 se tiene como resultado una distorsión de 0.0012 en el segundo nivel, 0.018 en el primer nivel, estas distorsiones no superan la permitida por la norma la cual es de 0.005 para albañilería, quedando un margen de hasta 64% de distorsión, concluyendo que esta no entraría al rango inelástico en los dos niveles, sufriendo mayor esfuerzo en el primer nivel por su mayor distorsión, esto se constato con el sismo ocurrido el 23 de Junio del 2001, el cual tuvo una aceleración máxima de 295.3Gal.

(registro de Moquegua) esta aceleración supera ligeramente la aceleración esperada por el espectro de diseño en la dirección Y, el cual es de 294.3Gal. para este modelo, pero por el rango de distorsión establecido para que se provoquen daños en la estructura es mucho más alto, en esta dirección no se sufrirían daños, manteniéndose teóricamente en el rango elástico.

5. Del cálculo analítico del modelo del módulo 780 N-97 se tiene como resultado una distorsión de 0.00105 en el segundo nivel y 0.0018 en el primer nivel, los cuales no superan la distorsión establecida por la norma de 0.005 para albañilería, quedando un margen de 64% de distorsión, concluyendo que no presentaría daños visibles por la ocurrencia de un sismo severo, lo cual se constató con el sismo ocurrido el 23 de Junio del 2001. Pero debido a que la aceleración máxima del sismo fue de 295.3Gal. (registro de Moquegua) esta aceleración supera ligeramente la aceleración esperada por el espectro de diseño en la dirección X el cual es de 294.3Gal. para este modelo, sin embargo los resultados obtenidos analíticamente nos indican que la estructura no entraría al rango inelástico, manteniéndose teóricamente en el rango elástico.
6. La respuesta de la estructura está dada por la interacción de los sistemas en ambas direcciones, de ello es que para la estructura modelada del módulo 780 N-77 bastaría con que en una dirección se presente grandes daños para que esta se presente dañada en su conjunto.
7. El modelo del módulo 780 N-97 es más rígido que sus similares de 1977 pero ¿cuánto? Analíticamente se tiene que el modelo del módulo 780 N-97 es 2.07 veces en el segundo nivel, 2.69 veces en el primer nivel más rígido que su similar del año 1977.

8.1.2 Del análisis económico

1. Del análisis económico tenemos en forma espontánea por la robustez del modelo del módulo 780 N-97, este debe de tener un costo superior a su similar del año 1977, efectivamente este tiene un incremento de 32% aproximadamente.
2. Este incremento es dado en los análisis de costos, pero los centros educativos diseñados y construidos aplicando la N-77 incurrieron en costos de reparación y funcionalidad post sismo, los cuales se tuvieron después de la ocurrencia del sismo del 23 de Junio del 2001, el centro educativo Chucarapi (todo el complejo educativo) tuvo un gasto de \$ 97,407.93 Dólares (Dólares + Inflación), de los cuales \$ 28,346.60 fueron destinados a la reparación del módulo 780 N-77, este representaría un incremento equivalente del 40% al módulo original, so la reparación.
3. Incrementando el costo de reparación si sumamos los gastos de funcionalidad hasta el momento en que fueron reparados los módulos (mínimo 6 meses), el lucro cesante o pérdida por uso.

4. Económicamente se tiene qué, es más costoso reparar los módulos 780 N-77, para un sismo similar al ocurrido el 23 de Junio en la región Arequipa, que el construir un módulo 780 N-97, con el cual no se incurre en gastos de reparación.
5. Un módulo 780 N-77 reparado, es 6% más caro que un módulo 780-97, faltando incrementar los gastos de lucro cesante variables.

8.1.3 De la funcionalidad

De la funcionalidad, los centros educativos diseñados y construidos con la N-97, cumplen con sus objetivos de edificación esencial, sirviendo de albergue en algunos casos, reduciendo la vulnerabilidad de la estructura.

La funcionalidad de los módulos 780 N-77, quedo reducida a cero, no cumpliendo con sus objetivos. Concluyendo que la vulnerabilidad de los módulos 780 N-77 es mayor que la de los módulos 780 N-97.

8.2 Recomendaciones

Las recomendaciones en general estarían enfocadas a la realización de diferentes estudios como:

Un análisis similar al realizado, de diferentes edificaciones, variando la altura y la configuración estructural.

Un análisis comparativo, de costos de reforzamiento estructural y reparación para los centros educativos diseñados y construidos con la N-77.

La evaluación de la seguridad a la rotura, con un análisis inelástico incremental, determinando los mecanismos de falla de los centros educativos (no dañados), para compararlo con el corte de diseño (determinando el FS) y su demanda de ductilidad.

Un estudio de evaluación para determinar si la N-97 es conservadora, justificando la reducción de la rigidez en la N-2003.

Un programa de revisión de los centros educativos existentes, diseñados y construidos cumpliendo las especificaciones de la N-77 promovido por las autoridades responsables de la infraestructura educativa (INFES), para verificar el espesor de las juntas entre muros y estructura y corregir la dimensión, impidiendo que se vuelva a presentar el efecto de columna corta.

Revisión bibliográfica

1. Arnold Ch. Y Reitherman R., Configuración y Diseño Sísmico de Edificios, 1994, Editorial Limusa, D.F. México.
2. Asociación de Productores de Cemento – ASOCEM, Diseño Sísmico de Estructuras de Concreto, 1984, Asociación de Productores de Cemento, Lima – Perú.
3. Bazan E. Y Meli R., Diseño Sísmico de Edificios, 2000, Limusa, D.F. México.
4. Blanco Blasco A., Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado, Libro 2, Colección del Ingeniero Civil 1996 – 1997, Capítulo de Ingeniería Civil, Consejo departamental de Lima, Colegio de Ingenieros del Perú, 1994, Lima – Perú.
5. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres – CISMID, Diseño Sísmico de Estructuras, Evaluación de investigaciones en Ingeniería Sísmica, Seminario 1992, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú.
6. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres – CISMID, 1° Congreso Virtual “Terremoto de Arequipa – Perú del 23 de junio del 2001 – un año después”, Informe preliminar del Terremoto de Arequipa del 23 de junio del 2001, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú.
7. Franz Sauter F., Fundamentos de Ingeniería Sísmica, Introducción a la sismología, 1989, Editorial Tecnológica de Costa Rica, Costa Rica.
8. Feijoo Veyret P., Estudio de Actualización de Normas de Diseño Antisísmico de Edificaciones, Tesis de grado 1977, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú.
9. Herráiz Sarachaga M., Conceptos Básicos de Sismología para Ingenieros, 1997, Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres - CISMID, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú.
10. Iberico Cedron J., Propuesta de normas de diseño sismo-resistente de construcciones de adobe, Tesis de grado 1992, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú.
11. Kuroiwa O. Julio, Reducción de Desastres: Viviendo en Armonía Con la Naturaleza,
12. Moreno Salas R., Algunos criterios para evaluar las características sismo-resistentes y estimar el grado de seguridad sísmica de edificios existentes de concreto armado de mediana a baja altura, Tesis de grado 1983, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú.
13. Muñoz Peláez A., Fuerzas de Diseño y Control de Desplazamientos en la Norma Peruana de Diseño sismorresistente, El Ingeniero Civil, Lima – Perú.
14. Nawy E., Concreto Reforzado un Enfoque Básico, 1988, Prentice – hall Hispanoamericana, México.
15. Normas de Diseño Sismo – Resistente y Comentarios a las Normas de Diseño Sismo – Resistente, 1978, Colegio de Ingenieros del Perú, Capítulo de Ingenieros Civiles, Lima – Perú.

16. Pique del Pozo J., Apuntes de clase curso de Ingeniería Antisísmica, pre – grado Departamento de Estructuras, UNI 2001, Lima – Perú.
17. Piqué del Pozo J. Y Scaletti Farina H., Análisis Sísmico de Edificios, libro 9, colección del Ingeniero Civil 1990 – 1991, Capitulo de Ingeniería Civil, Consejo Departamental de Lima, Colegio de Ingenieros del Perú, 1991, Lima – Perú.
18. Reglamento Nacional de Construcciones, Norma Técnica de Edificación E.030, diseño sismorresistente, 1997; MTC Sencico; Lima – Perú.
19. Torres Ramos M., Coeficiente Sísmico en el Perú y las Normas Peruanas, Tesis de grado 1974, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú.
20. University Ave. Berkeley, Extended 3d analysis of bulding systems, 1995 ETABS versison 8.2