

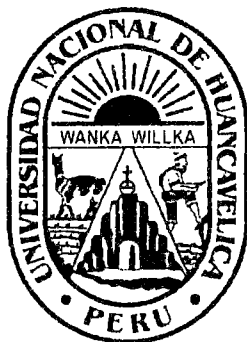
"AÑO DE LA DIVERSIFICACIÓN PRODUCTIVA Y DEL FORTALECIMIENTO DE LA EDUCACIÓN"

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS - CIVIL - AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Vº Bº
Rodolfo Cahuana



TESIS

"DESEMPEÑO SISMICO DEL CENTRO DE SALUD SAN CRISTÓBAL DEL
DISTRITO , PROVINCIA Y REGION DE HUANCABELICA. DISEÑADO CON
EL REGLAMENTO NACIONAL DE CONSTRUCCIONES Y ACEPTANDO
UNA DERIVA MÁXIMA DE 1%"

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

ESTRUCTURAS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

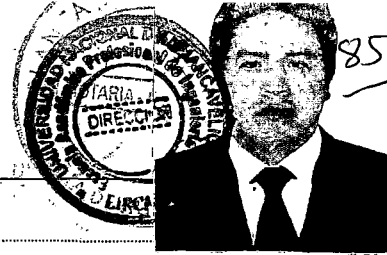
Bach. RODOLFO CAHUANA QUICHCA

Bach. JOSE JHUBERT QUISPE JUÑO

ASESOR:

Ing. URIEL NEIRA CALSIN

LIRCAY - HUANCABELICA - 2015



Acta de Sustentación de Tesis

En el seno de la Facultad de Ingenieros de Minas - Civil - Ambiental, Escuela Profesional de Ingenieros Civil - Suroeste a los diez días del mes de Junio del 2015, siendo las 11:00 a.m. se instaló los miembros del Jurado en base a la resolución de Consejo de Facultad N° 181-2015-FIMCA-UNH, de Fecha 03 de Junio del 2015 en la cual se resuelve:

Artículo Primero: Aprobar la hora y Fecha para la sustentación de tesis, cuyo título de tesis es: "Determinación sísmica del Centro de Salud San Cristóbal del distrito, provincia y Región de Huancavelica, diseñado con el reglamento nacional de Construcciones y aceptando una deriva máxima de 1%." Seando los responsables del proyecto de Investigación Científica los bachilleros: Cohuerna Quichea, Rodolfo y Quique Tzuc, José Shubert, miembros del Jurado Presidente: Enrique Riquelme, Camaragá, Secretario: Lic. Franklin Suroeste y Vocal: Ing. Andres E. Nahuí Gaspar.

Con la finalidad de evaluar la sustentación de tesis referido inmediatamente se procedió con la intervención del Presidente de la Comisión Corresponsables para dar inicio a la sustentación, primero dando el tiempo reglamentario de treinta minutos de sustentación, seguidamente terminando la sustentación se procedió a la formulación de preguntas pertinentes, las cuales fueron obviadas por los Tesisistas.

Los miembros del Jurado después de un intenso debate se resuelve: Aprobar la sustentación de tesis por Mayoría siendo las 11:50 p.m. del día 10 de Junio del 2015, en señal de conformidad Firmar al pie del presente:

(Firma)

ING. ENRIQUE CAMARAGÁ

Presidente

(Firma)
Lic. Franklin Suroeste G.
Secretario

(Firma)
ING. NAHUI GASPAR

Vocal

INDICE

RESUMEN.....	5
INTRODUCCIÓN.....	7
CAPITULO I	
1. PROBLEMA.....	9
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	10
1.3. OBJETIVOS.....	11
1.3.1. OBJETIVOS GENERALES.....	11
1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	11
1.4. JUSTIFICACION.....	12
CAPITULO II	
2. MARCO TEORICO.....	13
2.1. ANTECEDENTES.....	13
2.2. BASES TEORICAS.....	15
2.2.1. DISEÑO SISMICO.....	15
2.2.1.1. DEFINICION DE DISEÑO SISMICO.....	15
2.2.2. DESEMPEÑO SISMICO.....	19
2.2.2.1. DEFINICION DE DESEMPEÑO SISMICO.....	19
2.2.3. METODOLOGIAS DE DISEÑO.....	21
2.2.3.1. METODOLOGIA GENERAL DEL SEAOC (1995).....	21
2.2.3.2. METODOLOGÍA DEL ATC-40 (1996).....	25
2.2.3.3. PROCESO DE REHABILITACION DEL FEMA-273 (1997).....	27
2.2.4. OBJETIVOS DE DESEMPEÑO.....	29
2.2.4.1. NIVELES DE DESEMPEÑO DEL SEAOC (1995).....	29
2.2.4.2. NIVELES DE DESEMPEÑO DEL ATC-40 (1996).....	32
2.2.4.3. NIVELES DE DESEMPEÑO DEL FEMA-273 (1997).....	34
2.2.4.4. OBJETIVOS DE DESEMPEÑO DEL SEAOC (1995).....	38
2.2.4.5. OBJETIVOS DE DESEMPEÑO DEL ATC-40 (1996).....	40
2.2.4.6. OBJETIVOS DE REHABILITACION DEL FEMA-273 (1997).....	40
2.2.5. EVALUACION DE DESEMPEÑO.....	41
2.2.5.1. ENFOQUES DE DISEÑO DEL SEAOC (1995).....	42
2.2.5.2. PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACION DE DESEMPEÑO DEL ATC-40 (1996).....	51
2.2.5.3. PROCEDIMIENTOS ANALITICOS PARA EL METODO DE REHABILITACION DEL FEMA-273 (1997).....	53
2.2.6. ANALISIS DE ACEPTABILIDAD.....	53
2.2.6.1. PROCEDIMIENTO DE ANALISIS DE ACEPTABILIDAD DEL SEAOC (1995).....	56
2.2.6.2. LIMITES DE ACEPTABILIDAD DEL ATC-40 (1996).....	61
2.2.6.3. CRITERIOS DE ACEPTABILIDAD DEL FEMA-273 (1997).....	63

2.3. HIPOTESIS.....	66
2.4. VARIABLES DE ESTUDIO.....	67
CAPITULO III	
3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	68
3.1. AMBITO DE ESTUDIO.....	68
3.2. TIPO DE INVESTIGACION.....	69
3.3. NIVEL DE INVESTIGACION.....	69
3.4. METODO DE INVESTIGACION.....	69
3.5. DISEÑO DE INVESTIGACION.....	69
3.6. POBLACION, MUESTRA Y MUESTREO.....	69
3.6.1.Población.....	69
3.6.2.Muestra.....	70
3.7. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS.....	73
3.8. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCION DE DATOS.....	73
3.9. TECNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS.....	73
CAPITULO IV	
4. EVALUACION DEL C.S SAN CRISTOBAL.....	74
4.1. ESTRUCTURACION.....	74
4.2. ANALISIS ELASTICO PARA PROPOSITOS DE DISEÑO.....	76
4.2.1. ANALISIS POR CARGAS DE GRAVEDAD.....	76
4.2.2. ANALISIS SISMICO.....	76
4.3. MODELO INELASTICO.....	78
4.4. REPRESENTACION DEL PELIGRO SISMICO.....	78
4.5. CLASIFICACION DE DESEMPEÑO.....	82
CAPITULO V	
5. CONCLUSIONES.....	83
CAPITULO VI	
6. REFERENCIAS.....	84

RESUMEN

En los últimos 130 años, en el país no hemos tenido terremotos severos y nuestras edificaciones de concreto armado no han sido probadas en condiciones sísmicas severas. Las normas de edificaciones del Perú y la mayoría de las normas del mundo están basadas en criterios de protección ante un solo nivel de amenaza sísmica. Por esta razón es necesario estudiar el desempeño sísmico de nuestras edificaciones ante diferentes niveles de demanda sísmica.

Se diseñó y evaluó el edificio aporticado del centro de salud de San Cristóbal de 5 pisos, ubicado sobre una zona sísmica y cimentado sobre un suelo intermedio; con planta rectangular y columnas espaciadas según el plano. Para el diseño se emplearon las normas peruanas y para la evaluación del desempeño se usó la propuesta del Comité Visión 2000 del SEAOC; para estimar la respuesta se utilizaron procedimientos de análisis no lineal basado en espectros de demanda y capacidad.

El diseño condujo a un edificio con columnas de 60x25cm y vigas 25x50cm con una deriva máxima de 10 ‰, bajo las solicitaciones de las normas peruanas (terremoto de 500 años de periodo de retorno).

De los resultados obtenidos, la estructura del edificio tiene una ductilidad de 3.95 y una sobrerresistencia de 1.2, respecto a la fluencia efectiva. Respecto a la demanda del código el edificio alcanzó una sobrerresistencia al colapso de 2.1.

De acuerdo al desempeño desarrollado en el edificio para un sismo frecuente y ocasional la estructura presentaría pequeñas incursiones inelásticas y quedaría en estado funcional para la dirección transversal (X-X); pero para la dirección longitudinal (Y-Y) la estructura quedaría operacional en un sismo frecuente y funcional para un sismo ocasional. Para un sismo raro en la dirección transversal la estructura quedaría cerca al colapso. De acuerdo a la propuesta del SEAOC el edificio tendría un excelente comportamiento en sismos frecuentes y un comportamiento cercano al colapso en sismos raros.

Los resultados de este trabajo indican que los nuevos límites de deriva establecidos permiten estructuras no tan robustas cumpliendo con las demandas de los sismos; de tal manera de tener estructuras más económicas que cumplan con las exigencias de las normas sismorresistentes.

INTRODUCCIÓN

El diseño de estructuras basado en la resistencia sísmica propuesto en las normativas y códigos mayormente usados, tiene como objetivos principales que las estructuras sean capaces de resistir sismos de baja intensidad sin sufrir daños estructurales significativos, es decir que no lleven al colapso posterior de la estructura; con daños reparables para sismos moderados y de mayor intensidad. Siguiendo esta filosofía, de diseño, el desempeño de las estructuras, en términos de daño potencial, no ha sido cuantificado, o por lo menos no se tiene una norma a la cual regirnos en nuestro medio, debido a que generalmente solo se considera un nivel del movimiento del terreno para el cual se prevé que la estructura no colapsará, es decir que en la actual filosofía de diseño, diseñamos solo para un sismo y no se revisa su desempeño ante otras sollicitaciones.

Estas previsiones raramente reconocen que pueden ocurrir daños sustanciales y grandes pérdidas asociadas a sismos de naturaleza frecuente. Por este motivo es importante notar que la seguridad ante el colapso debido a grandes sismos, no implica necesariamente un comportamiento aceptable de la edificación durante sismos de pequeña y moderada intensidad, como se ha comprobado en sismos no muy alejados de la actualidad.

Una vez que sectores cada vez más amplios de la comunidad de ingeniería estructural accedieron al planteamiento del diseño sísmico por desempeño, se replanteó su alcance y se identificaron muchos otros beneficios en la aplicación de esta filosofía, que van desde posibilitar una mejor comunicación entre el ingeniero y su cliente, hacer posible el planteamiento de marcos de referencia que permitan establecer prioridades en programas masivos de rehabilitación estructural, hasta permitir la apertura del mercado comercial de la ingeniería estructural en Japón (De acuerdo a lo establecido en los congresos estructurales Otani 1996, Polonia y Hom 1997).

Quizá uno de los aspectos más interesantes del uso de esta filosofía radica en la posibilidad de establecer una relación directa entre el costo total de una estructura (que incluye costo directo de construcción más costos directos e indirectos derivados del daño que pueda sufrir durante las excitaciones sísmicas a las que se vea sujeta durante su vida útil), y su

desempeño sísmico esperado. Si imaginamos las posibilidades que esto ofrece al ingeniero en cuanto a explicarle a su cliente, y a la sociedad en general, que invertir un poco más de recursos durante el diseño y la construcción de la estructura, permite por lo general disminuir el costo total de una estructura durante su vida útil.

Uno de los aspectos del diseño sísmico que han destacado recientemente, como consecuencia del diseño de estructuras por desempeño, es la confiabilidad del diseño. Se apreció en eventos sísmicos recientes que la confiabilidad del diseño sísmico no solo era menor que la que se esperaba, sino que presenta grandes inconsistencias de un sistema estructural a otro, e inclusive entre estructuras que tienen un mismo sistema estructural. Las mejoras en el entendimiento de la respuesta y desempeño estructural de los sistemas estructurales tradicionales pronto llevaron a concluir que no sería posible establecer los niveles de confiabilidad deseados, ni plantear niveles de confiabilidad consistentes, a menos que las metodologías de diseño sísmico actualicen su formato. Finalmente, otra de 5 las cuestiones que han puesto en evidencia la necesidad de adoptar criterios de diseño por desempeño ha sido el avance tecnológico en el área de la ingeniería sísmica.

Donde a pesar de que muchas estructuras con diseño sismoresistente no colapsaron, las pérdidas económicas fueron de gran magnitud debido a una ausencia de la definición clara de los objetivos de desempeño de las estructuras ante sismos de diferente intensidad, es decir a pesar de que una estructura ante un evento sísmico determinado no colapse, esta puede sufrir severos daños y por consiguiente llevar al derrocamiento de la estructura o tener pérdidas excesivamente costosas, si tomamos como ejemplo que la bodega de un hospital determinado, que almacena insumos médicos, medicinas, y equipamiento médico, no colapse ante un sismo pero que su valioso contenido se pierda, esto puede conllevar a la pérdida de muchas vidas en los eventos post-sismo.

CAPITULO I

1. PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El diseño basado en el desempeño sísmico consiste en la selección de esquemas de evaluación apropiados que permitan el dimensionado y detalle de los componentes estructurales, no estructurales y contenidos, de manera que, para unos niveles de movimiento del terreno determinados y con ciertos niveles de fiabilidad, los daños en la estructura no deberán superar ciertos estados límite (Bertero, 1997).

El tema de Diseño por Desempeño, es materia de investigación de diversos grupos de trabajo en el mundo y es discutido en diversos congresos (11WCEE, EEW, 12WCEE). En EE.UU ya existen normas técnicas definidas como pautas o criterios de diseño (Visión 2000, FEMA-273, FEMA-350); en Japón inclusive ya se encuentra incorporado en el código de diseño. Sin embargo, se debe precisar que el Diseño por Desempeño aún no se encuentra desarrollado, difundido y empleado plenamente, mucho menos en nuestro medio; todavía son para casos muy particulares o como opción de diseño avanzado.

En el Perú, los últimos 40 años se presentaron sismos de 6 a 8 en la escala de Richter, en Lima, Callao e Ica, con consecuencias muy trágicas, pérdidas físicas, económicas y sociales. Las normas típicamente prescriben reglas de Diseño y Construcción, creyéndose capaces de obtener el desempeño esperado, mayormente apoyados en desempeños anteriores inadecuados y fallidos.

El propósito principal de la existencia de normas técnicas de diseño sismorresistente es contribuir efectivamente a la reducción de riesgo sísmico. No obstante este propósito aún no se ha logrado totalmente, tal como se puede deducir de las consecuencias sociales y económicas de los sismos ocurridos en los últimos treinta años y a lo largo de la historia.

En el afán de conseguir normas técnicas más confiables surge el Diseño por Desempeño como una evolución de los conceptos de la ingeniería estructural.

En tal sentido, consideramos una necesidad el desarrollo del Diseño por Desempeño en nuestro medio con fines de incorporación en la norma de diseño sismorresistente E-030.

Así, ante lo expuesto, se responderá la siguiente pregunta. ¿Cuál es el nivel de riesgo sísmico de la estructura de concreto armado del puesto de salud de San Cristóbal - Huancavelica?

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cuál es el Desempeño Sísmico del Puesto de Salud de San Cristóbal – Distrito, Provincia y Región de Huancavelica?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVOS GENERALES

El objetivo de este trabajo es estudiar el Desempeño Sísmico del Puesto de Salud de San Cristóbal, diseñados con las normas vigentes a una deriva máxima de 1%, valor ligeramente mayor que el permitido por el código vigente.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

Este proyecto tiene como objetivo principal realizar un diseño de elementos estructurales de hormigón armado, tomando como referencia las pautas del Comité Visión 2000, SEAOC, comparando el diseño realizado con una herramienta del cálculo estructural asistido por computadora (ETABS), adicionalmente se tiene previsto:

- Lograr un diseño y pre-dimensionamiento de elementos estructurales más ágil, de acuerdo al Código Visión 2000, manteniendo los niveles de seguridad de acuerdo a las excitaciones sísmicas para las que se debe diseñar es decir los sismos frecuente, ocasional, raro y muy raro, debiendo la estructura comportarse de acuerdo a los niveles de desempeño esperados.
- Establecer un diseño para el Puesto de Salud de San Cristóbal de 5 pisos con los resultados obtenidos mediante un diseño por desempeño.
- Diseño aplicativo de los resultados obtenidos, planos y memorias de cálculo.

En el último caso de los objetivos específicos previo a realizar un diseño aplicativo y realizar un edificio de 5 plantas mediante el diseño por desempeño, deberemos realizar el modelado de pórticos tanto en el plano como en el espacio, aprovechando la herramienta del cálculo estructural asistido por computador (Etabs).

1.4. JUSTIFICACION

El territorio nacional se encuentra dividido en cuatro zonas, La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en información neotectónica. En la Norma Técnica de Edificaciones E.030, se indican las provincias y los distritos que corresponden a cada zona.

La ubicación de espacio y tiempo del objetivo de nuestro proyecto es el departamento de Huancavelica, se encuentra ubicada en la zona tres y dos. El objetivo de esta investigación se encuentra ubicado en la provincia de Huancavelica, y está en la zona tres.

Debido a la ubicación de nuestra investigación en el espacio, nos encontramos en un nivel de riesgo sísmico, el tipo de suelo donde se encuentra ubicado es intermedio, estas son características suficientes para hacer el diseño por Desempeño Sísmico, de toda la estructura de concreto armado, con el software Etabs.

CAPITULO II

2. MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES

Código de HAMMURABI, 760 (AdC) (FEMA 451)

228.- Si un arquitecto hizo una casa para otro y la terminó, el hombre le dará por honorarios 2 siclos de plata por SAR de superficie.

229.- Si un arquitecto hizo una casa para otro, y no la hizo sólida, y si la casa que hizo se derrumbó y ha hecho morir al propietario de la casa, el arquitecto será muerto.

230.- Si ella hizo morir el hijo del propietario de la casa, se matará al hijo del arquitecto.

231.- Si hizo morir al esclavo del dueño de la casa, dará al propietario de la casa esclavo como esclavo (un esclavo equivalente).

232.- Si le ha hecho perder los bienes, le pagará todo lo que se ha perdido, y, porque no ha hecho sólida la casa que construyó, que se ha derrumbado, reconstruirá a su propia costa la casa.

233.- Si un arquitecto hizo una casa para otro y no hizo bien las bases, y si un nuevo muro se cayó, este arquitecto reparará el muro a su costa.

EL DESEMPEÑO ya era deseado y exigido...

En la actualidad, es muy común realizar un análisis sísmico empleando espectros inelásticos y utilizando teoría de análisis lineal, de tal forma que existe incongruencia en el procedimiento, puesto que se espera daño en la estructura y se utiliza teoría elástica. El análisis no lineal, realmente no está muy difundido, más se lo realiza a nivel de investigación tal vez porque es difícil el modelaje no lineal de los elementos o tal vez por la gran cantidad de información que se obtiene en los análisis paso a paso. Pero lo cierto es que el análisis no lineal es muy poco utilizado en la práctica.

En el ámbito nacional existen investigaciones sobre aspectos técnicos, así:

MUÑOZ, A. LEÓN, H. QUINTANA, U. (2001). En ésta investigación se determinó el riesgo sísmico de las edificaciones de Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, Perú con el fin de predecir el comportamiento de las edificaciones frente a un sismo severo, previniendo así los posibles daños que se puedan producir.

TAIPE, J. F (2003), Propone una Metodología de Diseño en el que se definen Niveles de Desempeño, Sismo de Diseño, Objetivos de Desempeño, Evaluación de Desempeño y Análisis de Aceptabilidad, para su incorporación en la norma E-030.

ALBARRACIN, P. J Y GALLO, E. J (2010), Los resultados de este trabajo de investigación indican que los nuevos límites de deriva establecidos permiten estructuras no tan robustas cumpliendo con las demandas de los sismos; de tal manera de tener estructuras más económicas que cumplan con las exigencias de las normas sísmo resistentes.

VILLACORTA, A. G (2010), Es una declaración CUALITATIVA, de una NECESIDAD HUMANA, usualmente en la forma de un atributo, que una entidad física, proceso o persona debe poseer y demostrar. Hace un análisis comparativo del diseño PRESCRIPTIVO y DESEMPEÑO.

TOLEDO, V (2011), hace una introducción a la Ingeniería Sísmica Basada en Desempeño, cubriendo temas sobre la historia del PBEE, resumiendo los primeros esfuerzos como el FEMA 273/356 y el ATC 40. Se desarrollan los objetivos de la PBEE, formados de la matriz de Objetivos Principales vs Niveles de Peligrosidad Sísmica, se indican cómo se definen los objetivos principales a partir de niveles de desempeño en elementos estructurales y no estructurales.

En el ámbito extranjero existen investigaciones sobre aspectos técnicos, así:

ALEMAN, J. X y NARANJO, L. F (2011), Determinar la validez del código FEMA, con referencia a los resultados del programa ETABS.

BOTAS, G y E, el objetivo de esta investigación es la clasificación del tipo de sismo en un diseño por desempeño, logrando clasificarlo en tres categorías; SISMOS DE SERVICIO, SISMOS DE DISEÑO Y SISMO MAXIMO ESPERADO.

2.2. BASES TEORICAS

2.2.1. DISEÑO SISMICO

2.2.1.1. DEFINICION DE DISEÑO SISMICO

Las consecuencias de sismos ocurridos desde el inicio de nuestra existencia hasta la fecha no pueden ser evitadas o por lo menos considerablemente reducidas a daño irrelevante. Algunas de las experiencias recientes de sismos como en California: Loma Prieta (1989, magnitud 7.1, pérdidas por \$ 7000 millones) y Northridge (1994, magnitud 6.7, pérdidas por \$ 15000-20000 millones), así como el gran terremoto de Hanshin (Kobe, 1995) en Japón, así como el terremoto en Ica (2007) en Perú; fueron considerados inaceptables social y económicamente por el número de personas sin hogar, por el nivel de pérdidas económicas derivadas del daño físico sufrido por las obras civiles, y especialmente por los daños funcionales e indirectos. Más aún, si

se considera el tamaño de estos eventos relativamente frecuentes en zonas de sismicidad alta. [1], [2]

Ante las consecuencias de los sismos, diversos investigadores han observado la metodología de diseño de las normas técnicas de diseño sismorresistente actuales, por ejemplo:

- **Vitelmo V. Bertero (1995).** "Los códigos sísmicos modernos, que intentan reflejar grandes avances en conocimiento y entendimiento de una manera muy simple no son transparentes sobre el nivel de comportamiento esperado o respuesta del sistema completo suelo-cimentación-estructura-elementos no estructurales. El nivel esperado de comportamiento se ha convertido en una parte implícita, más que explícita de los códigos, a través de una serie de factores empíricos y requerimientos de armadura que esconden la verdadera naturaleza del problema de diseño sismorresistente: el comportamiento del edificio" [39]. En tal sentido, las normas técnicas de diseño sismorresistente actuales utilizan una filosofía de diseño sísmico basada en un solo nivel correspondiente a la "protección de vida" sin una clara definición cuantitativa; y emplean procedimientos de diseño que satisfacen fundamentalmente requisitos de resistencia [1],
- **Javier Piqué (1995)** La metodología de diseño actual, está basada en un terremoto de diseño de única intensidad o nivel de aceleración. En concordancia con la filosofía de diseño, toda estructura que es sometida a un terremoto intenso debería diseñarse para evitar el colapso más no para evitar sufrir daños estructurales. Este criterio no está adecuadamente representado en la metodología de diseño y constituye uno de los puntos débiles de la ingeniería sismorresistente. El diseño en la condición límite del sismo no es verificado o calibrado contra demandas o sollicitaciones del sismo por lo que no hay ninguna garantía sobre la capacidad real de la estructura bajo estas condiciones [3].

➤ **Proyecto Amplio de Desarrollo del Gobierno Japonés (1998).**

Primero, el desempeño sismorresistente de una edificación no está representado en el diseño; las edificaciones se diseñan empleando procedimientos predeterminados, sin investigar su comportamiento ante fuerzas sísmicas y sin definición del desempeño sismorresistente requerido.

Segundo, es difícil para los ocupantes entender el concepto de desempeño sismorresistente de una edificación, que trae consigo la confusión en cuanto a la perspectiva de daño ante un sismo ocurrido.

Tercero, el desempeño sismorresistente de una edificación no es empleado para tomar decisiones; puesto que no involucra principios de mercado, el concepto de costo de desempeño sismorresistente es raramente usado en el campo de edificaciones; en otros productos industriales, este balance entre el costo y el desempeño es dominante [7], [10].

La comparación de un diseño convencional y un nuevo diseño sismorresistente se ilustra en la Fig. 2.1

De lo mencionado antes se puede plantear que las consecuencias sociales y económicas de los sismos y las observaciones a las normas técnicas de diseño antes descritas, demuestran claramente la necesidad de nuevos conceptos de diseño sismorresistente, en que estén definidos los aspectos siguientes:

- ✓ El desempeño sismorresistente de una obra civil, entendiendo el término de desempeño sismorresistente como el nivel de comportamiento esperado ante un sismo.
- ✓ Metodologías basadas en niveles de sismos de diseño que correspondan por lo menos a la filosofía general de diseño sismorresistente: para sismos ligeros prevenir daños no estructurales, para sismos moderados prevenir

daños estructurales y minimizar daños no estructurales, y para sismos importantes evitar el colapso.

- ✓ Enfoques de diseño basados en parámetros de respuesta como desplazamiento, energía, aceleración o quizás velocidad; además el enfoque basado en fuerza/resistencia ampliamente difundido actualmente.
- ✓ Participación y corresponsabilidad de los propietarios (usuarios) en la definición del desempeño sismorresistente de una obra civil.

En tal sentido, un enfoque prometedor para el desarrollo de las normas técnicas de diseño más confiable está constituido por la aplicación e implementación de los conceptos de la ingeniería basados en el desempeño sismorresistente de obras civiles, tema que ha sido discutido en los congresos recientes (11WCEE [35], 12WCEE [36], Structural Engineering World Wide [37]). En los trabajos de investigación al respecto que se vienen desarrollando en EE.UU. y Japón, principalmente, es común encontrar términos relacionados como: *Performance Based-Engineering*, *Performance-Based Earthquake Engineering*, *Performance Based Design*, *Performance Based Seismic Design*, *Performance Based Seismic Engineering of Buildings*. Así como diversas publicaciones, como por ejemplo:

Conceptual Framework for Performance Based Seismic Engineering of Building (SEAOC-Vision 2000, 1995) [4], *NEHRP Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Building* (ATC, 1997) [32], *Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Building* (SAC Joint Venture, 2000) [16], y en Japón *Development of a New Engineering Framework for Building Structures* [7].

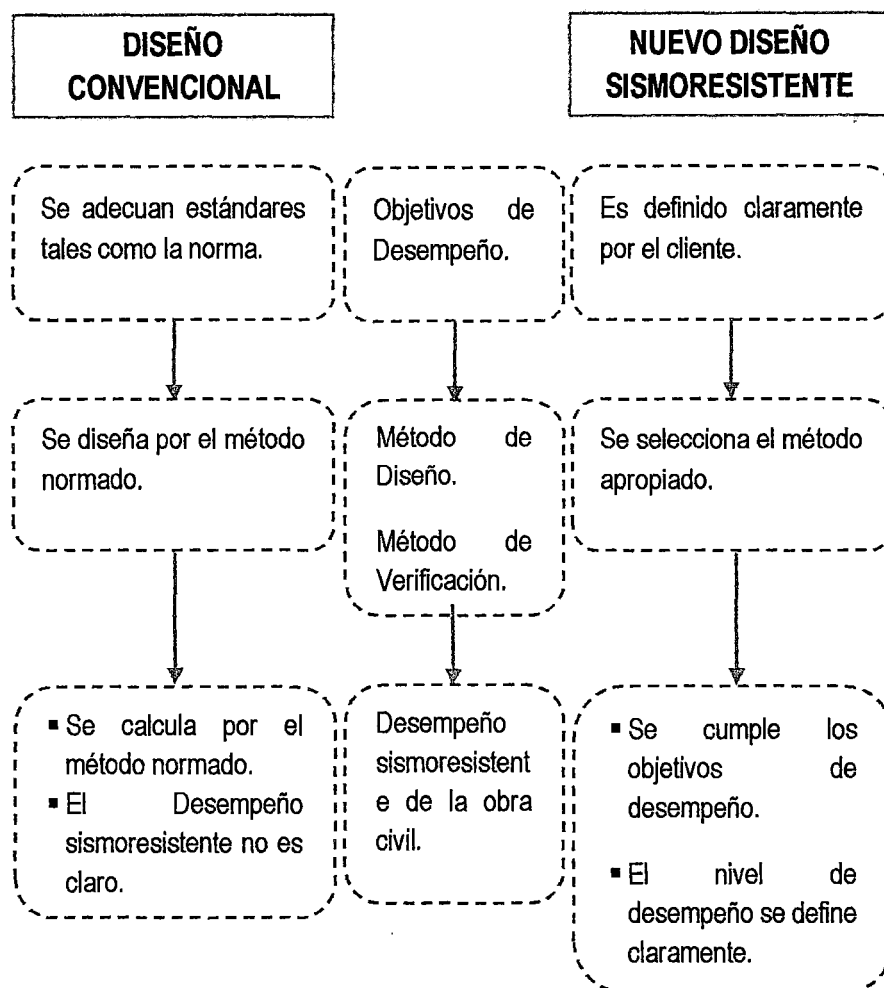


Fig. 2.1 Comparación de Diseño Convencional y Nuevo Diseño Sismoresistente (Ministerio de Construcción del Japón, 1998).

2.2.2. DESEMPEÑO SISMICO

2.2.2.1. DEFINICION DE DESEMPEÑO SISMICO

La evolución de los conceptos de ingeniería estructural [38] se puede ilustrar como:

CONCEPTO GENERAL DEL SEAOC (1995), La ingeniería basada en desempeño sismorresistente de una edificación se define como "la selección de criterios de diseño, sistema estructural apropiado, proporcionalidad y detallado de una estructura y su componente no estructural y contenido; para asegurar y controlar la calidad de la construcción y mantenimiento; para cada nivel especificado de movimiento sísmico, con niveles definidos de

confiabilidad, la estructura no superará los daños ante ciertos estados límites u otros límites inusuales". Los estados límites referidos se denominan "niveles de desempeño". Los niveles de desempeño son acoplados con niveles especificados de movimiento sísmico probable para definir los "objetivos de desempeño" para los cuales se diseña la estructura. El logro de los objetivos de desempeño nunca se garantiza pero se espera, con niveles definidos de riesgo y confiabilidad [4].

La ingeniería basada en desempeño sismorresistente se define como una serie de procedimientos para que las edificaciones tengan un desempeño sismorresistente controlable y predecible, cuando responden a niveles definidos de sismo, dentro de niveles de confiabilidad definidos [30].

CONCEPTO DEL ATC-40 (1996). El diseño de edificaciones basado en el desempeño, se refiere a la metodología de diseño en la cual el criterio estructural se expresa en términos de selección de un objetivo de desempeño. En contraste al método convencional en el cual el criterio estructural se define por exigencias sobre los elementos, que resultan de un nivel predeterminado de fuerza cortante aplicado.

CONCEPTO DEL FEMA-273 (1997). Los conceptos y terminología de diseño basados en desempeño son nuevos y deben ser cuidadosamente estudiados y discutidos con los ocupantes. Se entiende la terminología nivel de desempeño para representar las metas del diseño. El desempeño sismorresistente de una edificación puede ser descrito cualitativamente en términos de: seguridad ofrecida a los ocupantes durante y después del evento sísmico, el costo y facilidad de reparación de la edificación antes del sismo, el periodo de tiempo durante el cual la edificación interrumpe su servicio o uso para llevar a cabo la reparación, la economía, la arquitectura e impacto histórico sobre la comunidad. Estas características de desempeño sismorresistente son relacionadas directamente al grado de daño sufrido por la edificación. El grado de daño de la edificación se categoriza como nivel de

desempeño de la edificación. Cada nivel consiste de un nivel de desempeño estructural, el cual define los daños aceptables para el sistema estructural, y nivel de desempeño no estructural, el cual define los daños aceptables en los componentes no estructurales y contenido [32].

2.2.3. METODOLOGIAS DE DISEÑO

Las Metodologías de Diseño que se describen en este capítulo se refieren al marco conceptual de los diversos trabajos de investigación relacionados con el Diseño por Desempeño, que se resumen a continuación.

2.2.3.1. METODOLOGIA GENERAL DEL SEAOC (1995)

El marco conceptual del proyecto Visión 2000[4]; abarca diversos aspectos de temas de discusión en ingeniería para crear sistemas estructurales con desempeño sismorresistente predecible y controlable, dentro de niveles definidos de riesgo. La metodología se ilustra en la Fig. 3.1

- **Selección de Objetivos de Desempeño**

Esta selección constituye el primer paso y se realiza por el cliente en consulta con el profesional responsable del diseño se basa en consideraciones de las expectativas del cliente, peligro sísmico (sismo de diseño), análisis económico, y riesgo aceptable (nivel de desempeño).

- **Determinar Localización Adecuada y Sismo de Diseño**

Antes del inicio del diseño estructural y considerando los Objetivos de Desempeño propuesto para el proyecto; se debe analizar la ubicación adecuada para el propósito de la edificación. El análisis de ubicación adecuada incluye consideraciones de sismicidad, tipo de suelo y potencial de riesgo. El análisis de peligro sísmico determinará el sismo de diseño considerando todas las zonas sísmicas críticas. Los movimientos son representados como tiempo historia, espectro de respuesta de aceleración, espectro de respuesta de desplazamiento, espectro de demanda de distorsión, o por otras medidas requeridas para el diseño y análisis.

- **Diseño Conceptual**

Se procede con el diseño estructural, una vez que se selecciona los objetivos de desempeño y se definen la ubicación adecuada y sismo de diseño. La etapa de diseño se inicia con un Diseño Conceptual que implica selección de la distribución, configuración, selección de los sistemas estructurales y materiales, selección de la cimentación y selección de sistema no estructural. En esta etapa se toman las decisiones fundamentales para determinar la viabilidad última del diseño.

- **Diseño Preliminar y Diseño Final**

El diseño preliminar y diseño final involucra el predimensionamiento y detallado del sistema estructural y no estructural de modo que los Objetivos de Desempeño se puedan cumplir. Los Objetivos de Desempeño se transforman en términos de ingeniería como criterios de aceptabilidad de parámetros de respuesta estructural que incluyan grados de daño esperados. El criterio de aceptabilidad, valores restrictivos en los parámetros de respuesta, se convierten en metas para el diseño. Ellos incluyen límites de deformación y distorsión, límites de fuerza y aceleración, límites de fluencia, límites de ductilidad y disipación de energía que se puedan cumplir para que la respuesta estructural sea consistente con los Objetivos de Desempeño. El Diseño Preliminar, establece las dimensiones iniciales de elementos estructurales basados en un criterio de diseño inicial. El Diseño Final, refina las dimensiones y completa los detalles de ductilidad.

- **Comprobación de Aceptabilidad en cada paso del diseño**

En cada paso de diseño, se requiere una comprobación de aceptabilidad para verificar que se cumplan los Objetivos de Desempeño. La respuesta estructural medida por ciertos parámetros cuantificables debe ser consistente con los Objetivos de Desempeño y asociados a criterios de aceptabilidad. El criterio de aceptabilidad consiste en la restricción de valores en los parámetros de respuesta estructural, asociados con niveles de desempeño

seleccionados o con grados de daño para niveles especificados de movimiento sísmico. Los parámetros de respuesta típicos a ser verificados pueden incluir: índice de resistencia, índice de deformación y distorsión, aceleraciones, índice de demanda de ductilidad, disipación de energía Demanda vs. Capacidad. Deben desarrollarse investigaciones para establecer los valores límites típicos para estos parámetros de respuesta para cada nivel de desempeño, los cuales incluyen ensayos de laboratorio, o bien calibrando valores límites por análisis de edificaciones que han experimentado daños cuantificables en terremotos pasados y por el registro del movimiento sísmico disponible.

- **Revisión de Diseño**

Es un importante paso para asegurar la calidad en el proceso de diseño.

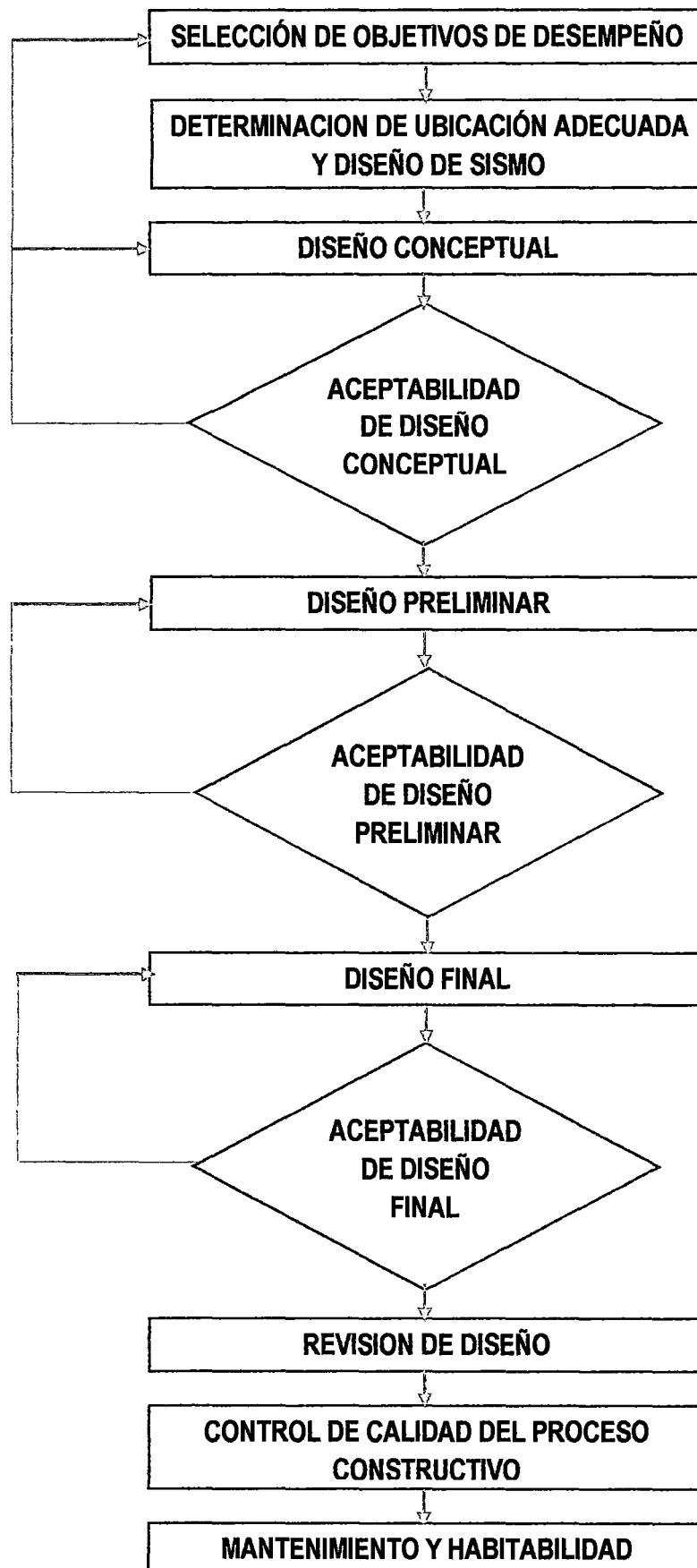
Cada revisión se debe emprender al término del Diseño Preliminar y Diseño Final, a fin de proporcionar un análisis profesional independiente de: diseño, hipótesis, modelos, análisis y eficacia del diseño en el cumplimiento de las metas de desempeño sismorresistente.

- **Garantía de control de la calidad durante la construcción**

A pesar de la calidad del diseño y la sofisticación del análisis, el diseño sismorresistente no será un éxito sin un adecuado control de calidad durante la construcción. Este proceso involucra trabajo en equipo, incluyendo profesionales de diseño, revisores, inspectores especiales, autoridades, laboratorios de ensayos, y contratistas.

- **Mantenimiento y Operatividad de la edificación**

La ingeniería basada en desempeño no termina con la construcción de la edificación. Las responsabilidades simplemente cambian. La condición de la edificación, su configuración y uso influyen directamente sobre la vida útil de la estructura.



2.2.3.2. METODOLOGÍA DEL ATC-40 (1996)

La metodología general para la evaluación y adaptación sísmica de edificaciones existentes de concreto armado se pueden ilustrar en la Fig. 3.2; cada paso de la metodología se enumera a continuación:

- **Etapas de Inicio del Proceso.**
 - ✓ Inicio de proceso.
 - ✓ Selección de profesionales calificados.

- **Evaluación Básica y Adaptación de una Estrategia.**
 - ✓ Establecimiento de objetivos de desempeño.
 - ✓ Revisión de las condiciones de la edificación.
 - ✓ Formular una estrategia.
 - ✓ Empezar el proceso de aprobación.
 - ✓ Conducir investigaciones detalladas.

- **Concepto de Evaluación y Adaptación.**
 - ✓ Estudiar la capacidad sismoresistente.
 - ✓ Determinar la solicitud sísmica.
 - ✓ Verificar el desempeño sismoresistente.

- **Diseño final y Construcción.**
 - ✓ Preparar documentos de construcción.
 - ✓ Monitoreo de la calidad de construcción.

ESTRATEGIA	Inicio del Proceso.	
	1	Requerimientos jurisdiccionales Cambios arquitectónicos
	Selección de profesionales calificados.	
	2	Ingeniero estructural. Arquitecto.
	Establecimiento de objetivos de Desempeño.	
	3	Estabilidad estructural. Seguridad limitada.
		Protección de vida. Control de daño. Ocupación inmediata.
CONCEPTO	Revisión de condiciones de edificación.	
	4	Revisión de dibujo. Inspección visual. Cálculos preliminares.
	Formular una estrategia.	
	5	Procedimiento simplificado. Métodos de capacidad inelástica.
	6	Empezar el proceso de aprobación.
	Conducir investigaciones detalladas.	
	7	Análisis de la ubicación. Propiedades del material. Detalles de construcción.
DETALLES	Estudiar la capacidad sismoresistente.	
	8	Modelar reglas. Fuerza y desplazamiento.
	Determinar sollicitación sísmica.	
	9	Peligro sísmico. Interdependencia con capacidad. Desplazamiento meta.
	Verificar desempeño sismoresistente.	
DETALLES	10	Límite de respuesta global. Aceptabilidad de componente.
	Preparar documentos de construcción.	
	11	Plan de revisión. Proforma de contrato de construcción.
DETALLES	Monitoreo de calidad de construcción.	
	12	Rendimientos, ensayos e inspecciones. Verificación de condiciones existentes. Observación de la construcción por el diseñador.

Fig. 3.2 Metodología para evaluación y adaptación sísmica (ATC-40, 1996).

2.2.3.3. PROCESO DE REHABILITACION DEL FEMA-273 (1997).

La metodología para el proceso de rehabilitación de edificaciones existentes se puede ilustrar en la Fig. 3.3. Las acciones que conforman el diagrama se pueden resumir como:

- Selección de objetivo de rehabilitación en función al nivel de desempeño y sismo de diseño.
- Selección de método de rehabilitación.
- Selección de procedimientos de análisis.
- Selección de estrategia de rehabilitación.
- Crear modelo matemático.
- Evaluación de la relación Fuerza-Deformación.
- Definir criterios de aceptabilidad.
- Realizar control de calidad durante la construcción.
- Uso alternativos de materiales y métodos de construcción.

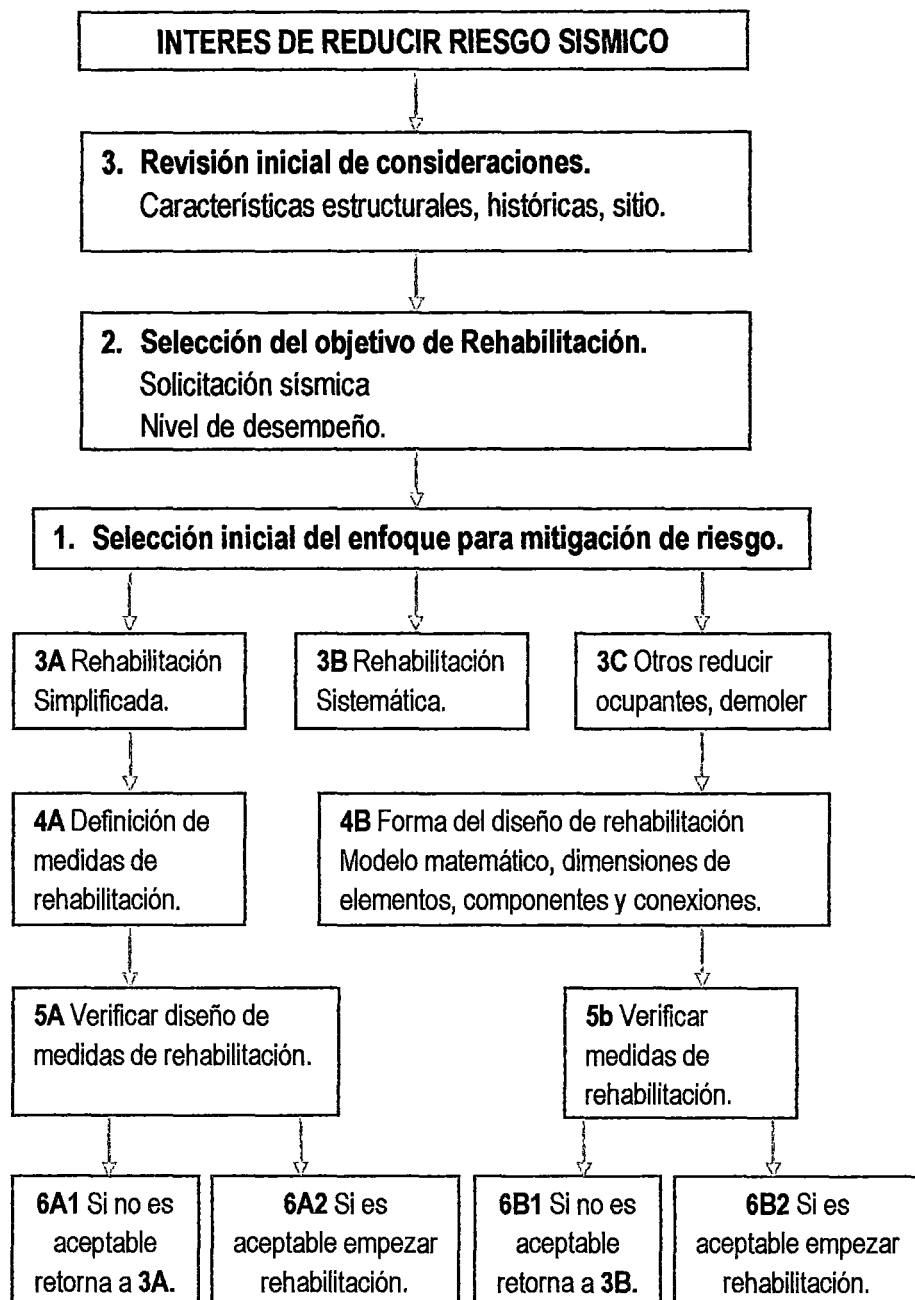


Fig. 3.3 Diagrama del proceso de rehabilitación (FEMA-273, 1997)

2.2.4. OBJETIVOS DE DESEMPEÑO

Para comprender mejor los Objetivos de Desempeño es necesario definir los Niveles de Desempeño y Sismo de Diseño.

Se presentan en este capítulo los conceptos por parte de diversos grupos de investigación sobre: Niveles de Desempeño, Sismo de Diseño y Objetivos de Desempeño.

▪ Niveles de Desempeño.

El proyecto Visión 2000 (SEAOC, 1995) [4], denomina Niveles de Desempeño a una expresión del grado máximo de daño para una edificación, dado para un nivel de Sismo de Diseño específico. Se considera la condición del elemento estructural, elemento no estructural y contenidos. La Fig. 4.1 ilustra grados de daño de una edificación ante eventos sísmicos.

El Nivel de Desempeño para el ATC-40 describe una condición de daño límite el cual puede ser considerado satisfactorio para una edificación y un sismo dado.

Los Niveles de Desempeño para el FEMA-273 empleada en rehabilitación de edificaciones, define como puntos discretos de una escala continua que describe el desempeño sismorresistente esperado de una edificación, o alternativamente, daño, pérdida económica, interrupción que puede ocurrir.

2.2.4.1. NIVELES DE DESEMPEÑO DEL SEAOC (1995)

Se definen cuatro niveles, cada nivel define el límite para un rango de daño, el cual cumple las necesidades básicas del usuario como continuidad de función, aptitud para la reparación, seguridad, etc.

▪ Operatividad completa

Nivel de desempeño en el cual la edificación, esencialmente no ha sufrido daño, la estructura permanece segura para ser ocupada; el equipamiento y servicios relacionados a la función y ocupación básica de la edificación se encuentran disponibles para su uso. No se requieren reparaciones.

El ATC-33.03 (1995) denomina este nivel como Operatividad [2].

- **Operatividad.**

Nivel de desempeño donde ocurren daños moderados en elementos no estructurales y contenido, y también daño leve en elementos estructurales.

Los daños son limitados y no comprometen la seguridad de la edificación para ser ocupada; daño de algunos contenidos, utensilios y componentes no estructurales pueden afectar parcialmente alguna función normal. El propietario puede iniciar la reparación a su conveniencia.

El ATC-33.03 (1995) lo denomina nivel Ocupación Inmediata [2].

- **Protección de vida.**

Nivel de desempeño en el cual ocurre un daño moderado de los elementos estructurales, no estructurales y contenido. La rigidez lateral y capacidad para resistir fuerza lateral adicional se reducen; la estructura no se encuentra disponible para ser ocupada inmediatamente; la edificación probablemente sea reparable.

- **Cerca al Colapso**

Nivel de desempeño en el que ocurre un daño extremo en el cual la resistencia vertical y lateral ha sido sustancialmente comprometido. La estructura se encuentra insegura para ser ocupada y la reparación puede no ser técnicamente o económicamente factible.

El ATC-33.03 (1995) denomina nivel Prevención del Colapso [2].

Por otro lado, el comité de sismología del SEAOC (1998) [30], presenta un enfoque basado en desplazamientos por el cual define niveles de desempeño en términos de parámetros de ingeniería cuantificables (desplazamiento inelástico) y en términos de pérdida económica. En este sentido define el desempeño estructural de una obra civil en términos de demanda de ductilidad de desplazamiento, medida por el índice de demanda desplazamiento inelástico IDDI. El índice de desplazamiento inelástico se expresa como una razón en que varía entre $IDDI = [0 \text{ a } 1.00]$ En esta definición $IDDI = 0$, corresponde a un desempeño estructural en el rango

elástico, $IDDI=1.0$ corresponde a un estado límite de inestabilidad en el cual la ductilidad está totalmente colmatada; un $IDDI= 0.6$ corresponde aproximadamente a un límite superior del nivel de desempeño de protección de vida. Estas definiciones se ilustran en la Fig. 4.2

Para niveles de desempeño no estructural, presenta como un enfoque en el cual define como una medida apropiada del nivel de desempeño, la razón o índice de pérdida económica probable. Los niveles de desempeño podrían estar en el rango de 0% de pérdidas a 100% de pérdidas. En un escenario de diseño típico, el sistema no estructural puede estar sin daño en un nivel de desempeño 1 cuando la respuesta estructural es elástica; mientras que en un nivel de desempeño 3, en una respuesta de protección de vida, el sistema no estructural podría estar entre 30% a 50% dañado.

Rango de daño & índice de daño. Grados de daño y umbral de Niveles de Desempeño

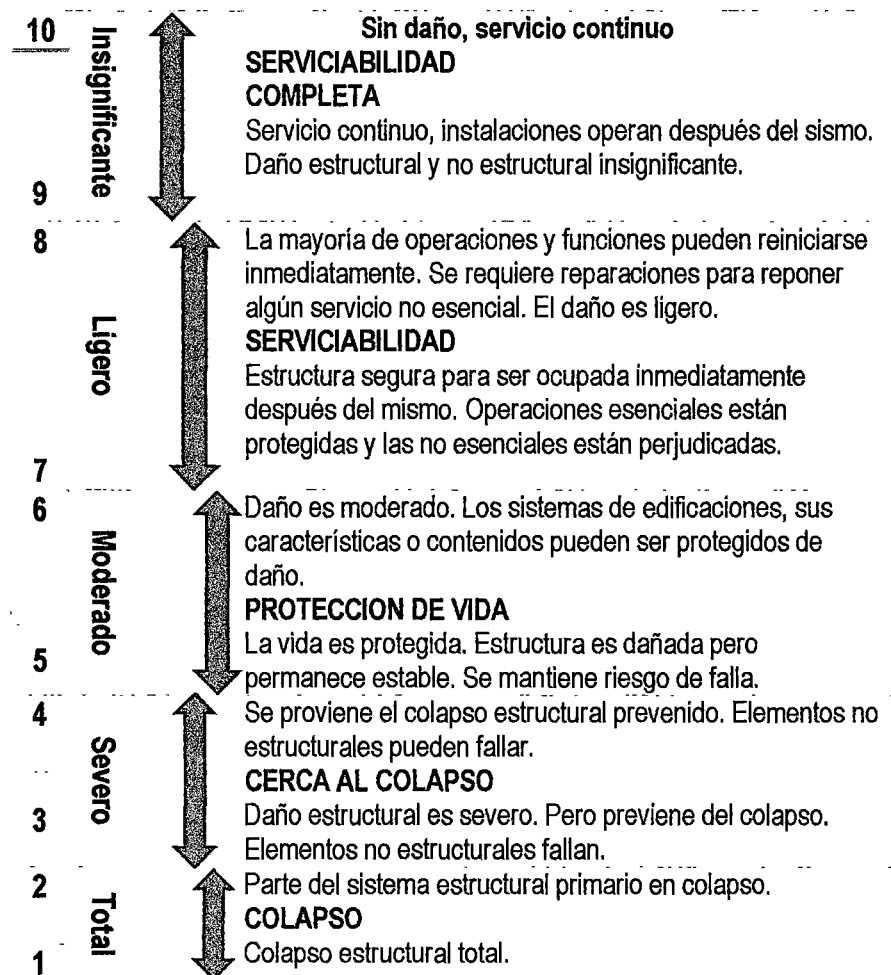


Fig. 4.1 Grados de Daño (SEAOC 1995)

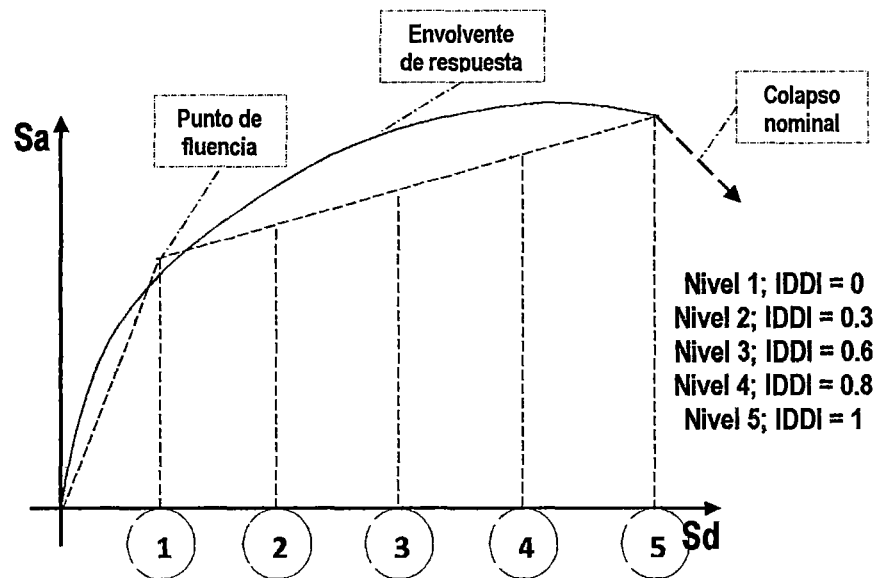


Fig. 4.2 Niveles de Desempeño en términos de IDDI

(Índice de Demanda de Desplazamiento de Inelástico SEAOC, 1998)

2.2.4.2. NIVELES DE DESEMPEÑO DEL ATC-40 (1996)

Los Niveles de Desempeño de la Edificación son una combinación del Nivel de Desempeño Estructural y Nivel de Desempeño no Estructural, como se puede ilustrar en la Tabla 4.1.

a) Niveles de Desempeño Estructural.

▪ Ocupación inmediata.

Condición en la que ocurrió un daño estructural muy limitado. El riesgo de vida por falla estructural es insignificante. La edificación debe estar segura para una salida y entrada segura, así como para su ocupación.

▪ Rango de Control de Daño.

Condición en la que ocurrió un daño estructural limitado; pero su ocupación o habitabilidad no es cuestionada.

- **Seguridad de vida.**

Condición en la que ocurrió un daño estructural significativo, se descarta colapso parcial o total. El riesgo de vida por falla estructural es muy bajo. La edificación debe repararse para ser reocupada.

- **Rango de Seguridad Limitada.**

Es un nivel intermedio entre nivel de Seguridad de Vida y Estabilidad Estructural.

- **Estabilidad Estructural.**

Condición en la que ocurrió un daño estructural sustancial, en la que pone a la edificación a punto de experimentar colapso parcial o total.

b) Niveles de Desempeño No Estructural

- **Operativo.**

Condición de daño en que los elementos y sistemas no estructurales están en su lugar y funcionando.

- **Ocupación Inmediata.**

Condición de daño en que los elementos y sistemas no estructurales están en su lugar. Ocurre algún desorden debido al daño de los contenidos.

- **Seguridad de vida.**

Condición de daño considerable en los elementos y sistemas no estructurales, pero que no incluye colapso o falla parcial o total. El riesgo de vida por daño no estructural es muy baja.

- **Riesgo reducido.**

Condición de daño extenso en los elementos y sistemas no estructurales pero no incluyen colapso parcial o total.

Niveles de Desempeño de la Edificación						
Niveles de Desempeño no Estructural	Niveles de Desempeño Estructural					
	Ocupación Inmediata	Control de Daño (Rango)	Seguridad de Vida	Seguridad Limitada (rango)	Estabilidad Estructural	No Considerado
Operativo	Operativo	2-A	NR	NR	NR	NR
Ocupación Inmediata	Ocupación Inmediata	2-B	3-B	NR	NR	NR
Seguridad de Vida	1-C	2-C	Seguridad de Vida	4-C	5-C	6-C
Riesgo Reducido	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
No Considerado	NR	NR	3-E	4-E	Estabilidad Estructural	No Aplicable

Tabla 4.1 Combinaciones de Niveles de Desempeño Estructural y No Estructural para formar Niveles de Desempeño de la Edificación.

2.2.4.3. NIVELES DE DESEMPEÑO DEL FEMA-273 (1997).

Define tres Niveles de Desempeño estructural y cuatro Niveles de Desempeño no estructural para formar los cuatro Niveles de Desempeño sismorresistente básicos: Operativo, Operativo Inmediato, Protección de Vida y prevención del Colapso. Adicionalmente se definen dos rangos de desempeño estructural.

a) Niveles de Desempeño Estructural.

▪ Nivel de Ocupación Inmediato: S-1

Nivel en el que sólo ocurre daño estructural limitado. El sistema estructural para fuerzas laterales y carga vertical conserva casi toda su resistencia y rigidez. El riesgo de pérdida de vida es muy bajo. Las reparaciones no son prioritarias para ser reocupadas.

- **Nivel de Protección de Vida: S-3**

Nivel en el que ocurre daño significativo en la estructura, pero que está al margen del colapso total o parcial. Algunos elementos y componentes estructurales se dañan severamente. El riesgo o amenaza de vida es baja. Podría ser prudente realizar reparaciones para ser reocupado.

- **Nivel de Prevención del Colapso: S-5**

Significa que la estructura está a punto del colapso parcial o total. La edificación sufre daño sustancial, incluyendo degradación de la resistencia y la rigidez del sistema resistente de fuerza lateral, deformación lateral permanente, degradación de la capacidad de soporte vertical. Las reparaciones de la estructura no pueden ser técnicamente prácticas, y no pueden ser seguras para ser reocupadas.

- **Rango de control de Daño: S-2**

Significa rango de daño continuo menor que el definido para el nivel de seguridad de vida pero mayor que el nivel de ocupación inmediata. Puede ser deseable para minimizar el tiempo de reparación e interrupción de la operación, protección de equipos y contenidos para preservar características históricas cuando el costo para el nivel de ocupación inmediata es excesivo.

- **Rango De Seguridad Limitada: S-4**

Significa rango de daño continuo menor que el definido para el nivel de prevención del colapso pero mayor que el nivel de seguridad de vida. Parámetros de diseño para este rango se pueden obtener por interpolación de los niveles S-3 y S-5.

- **Nivel De Desempeño Estructural No Considerado: S-6**

La designación S-6 nivel de desempeño estructural no considerado, se usan para cubrir situaciones donde sólo se introducen mejoras no estructurales.

b) Niveles de Desempeño No Estructural

▪ Nivel De Funcionamiento: N-A

Se define a la situación o estado de daño post sismo de la edificación, en el cual los componentes no estructurales son capaces de soportar el funcionamiento de la edificación.

▪ Nivel De Funcionamiento Inmediato: N-B

Se define a la situación o estado de daño post sismo de la edificación, en el cual ocurre daño no estructural limitado. Los accesos, el sistema de seguridad de vida, incluyendo puertas, ascensores, luces de emergencia, alarmas de incendio, permanecen funcionando.

El riesgo o amenaza de vida es muy bajo.

▪ Nivel De Protección De Vida: N-C

Nivel en el que ocurre daño costoso y potencialmente significativo en los componentes no estructurales.

La restauración de estos componentes puede tomar mucho trabajo.

▪ Nivel De Riesgo Reducido: N-D

Nivel en el que ocurre daño extenso en los componentes no estructurales.

▪ Nivel No Considerado: N-E

La designación N-E nivel de desempeño no estructural no considerado, se usa para cubrir la situación donde sólo se introducen mejoras estructurales. Estas definiciones se encuentran ilustradas esquemáticamente en la Fig. 4.3.

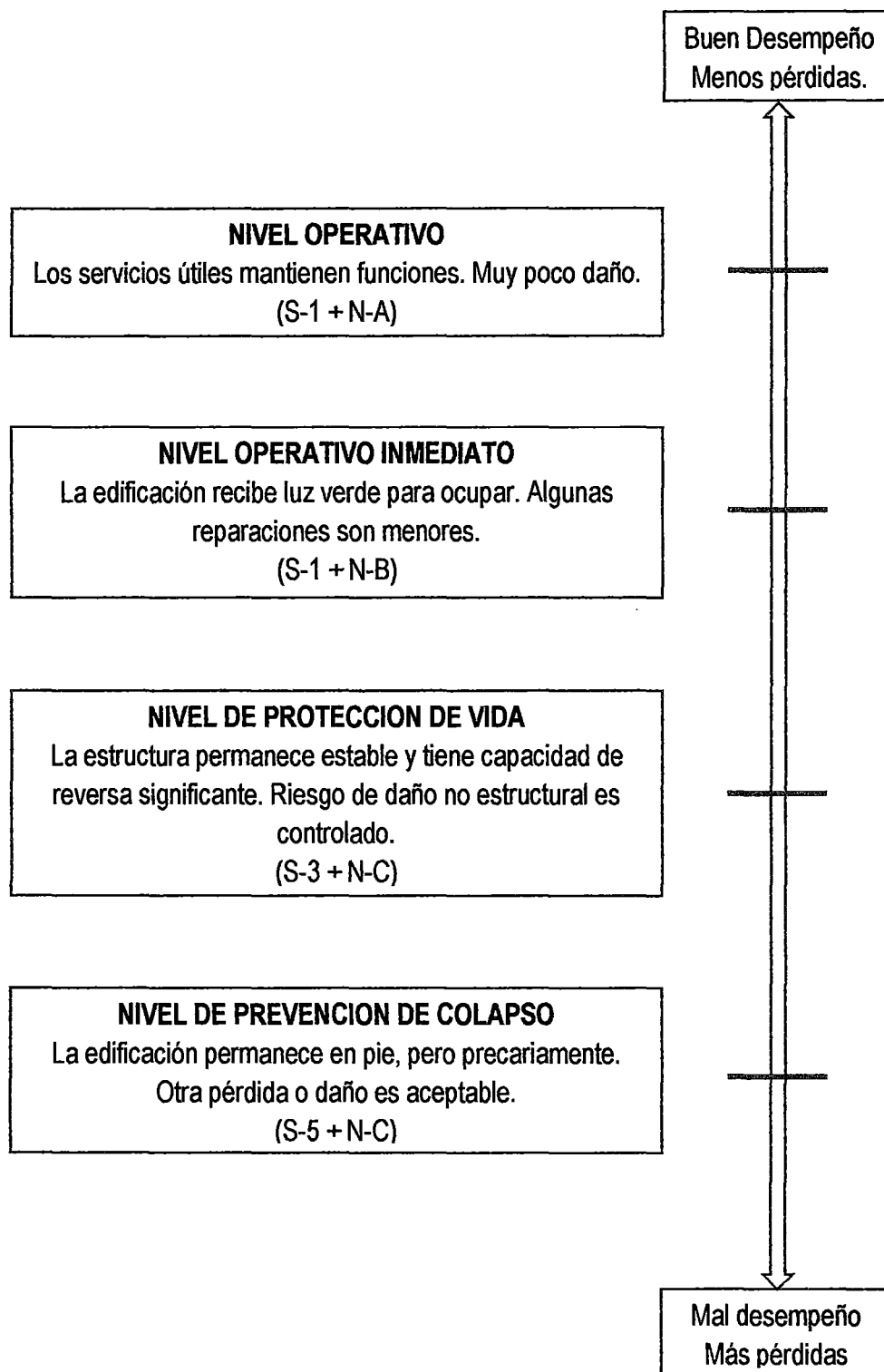


Fig. 4.3 Niveles de Desempeño (FEMA-273, 1997)

Es una expresión del Nivel de Desempeño deseado para la edificación para cada nivel de Sismo de Diseño. Los Objetivos de Desempeño se pueden seleccionar basados en la ocupación, importancia o funciones de la edificación; también teniendo en cuenta consideraciones económicas incluyendo costo relacionado a la reparación de daños e interrupción del servicio, y consideraciones de la importancia potencial de la edificación como un lugar histórico y cultural [4].

El FEMA-273 denomina al Objetivo de Desempeño como objetivo de rehabilitación; define como la combinación de un Nivel de Desempeño con un nivel de Sismo de Diseño. En tal sentido, el objetivo de rehabilitación es el establecimiento de un límite de daño deseado o pérdida para una demanda por sollicitación sísmica. El objetivo de rehabilitación seleccionado como una base para el diseño determinará la extensión, el costo y la facilidad de algún proyecto de rehabilitación, así como también como el beneficio a ser obtenido en términos como el mejoramiento de la seguridad, reducción de daños en propiedad, e interrupción de uso en un evento sísmico futuro

2.2.4.4. OBJETIVOS DE DESEMPEÑO DEL SEAOC (1995).

Recomienda Objetivos de Desempeño para diversas categorías de edificaciones.

▪ **Objetivo Seguridad Crítica**

Se define para edificaciones que contiene cantidades de materiales de riesgo como: toxinas, explosivos y materiales radioactivos.

La tabla 4.12 a continuación ilustra estos objetivos.

EDIFICACIONES DE SEGURIDAD CRÍTICAS	
Nivel del sismo de diseño	Nivel de desempeño mínimo
Frecuente	Serviciabilidad completa
Ocasional	Serviciabilidad completa
Raro	Serviciabilidad completa
Muy raro	Serviciabilidad

Tabla 4.12 Objetivos de Desempeño para Edificaciones de Seguridad Críticas

▪ **Objetivo esencial/riesgoso**

Se define para edificaciones como: hospitales, estaciones policiales, centros de comunicación, central de emergencia.

La tabla 4.13 a continuación resume los objetivos.

EDIFICACIONES ESENCIALES/RIESGOSAS	
Nivel del sismo de diseño	Nivel de desempeño mínimo
Frecuente	Serviciabilidad completa
Ocasional	Serviciabilidad completa
Raro	Serviciabilidad
Muy raro	Vida segura

Tabla 4.13 Objetivos de Desempeño para Edificaciones Esenciales/Riesgosas.

▪ **Objetivo Básico**

En la tabla 4.14 a continuación se resume los objetivos.

EDIFICACIONES COMUNES	
Nivel del sismo de diseño	Nivel de desempeño mínimo
Frecuente	Serviciabilidad completa
Ocasional	Serviciabilidad
Raro	Vida segura
Muy raro	Cerca de colapso

Tabla 4.13 Objetivos de Desempeño para Edificaciones Comunes

Los Objetivos de Desempeño recomendados, se resumen en la Fig. 4.5

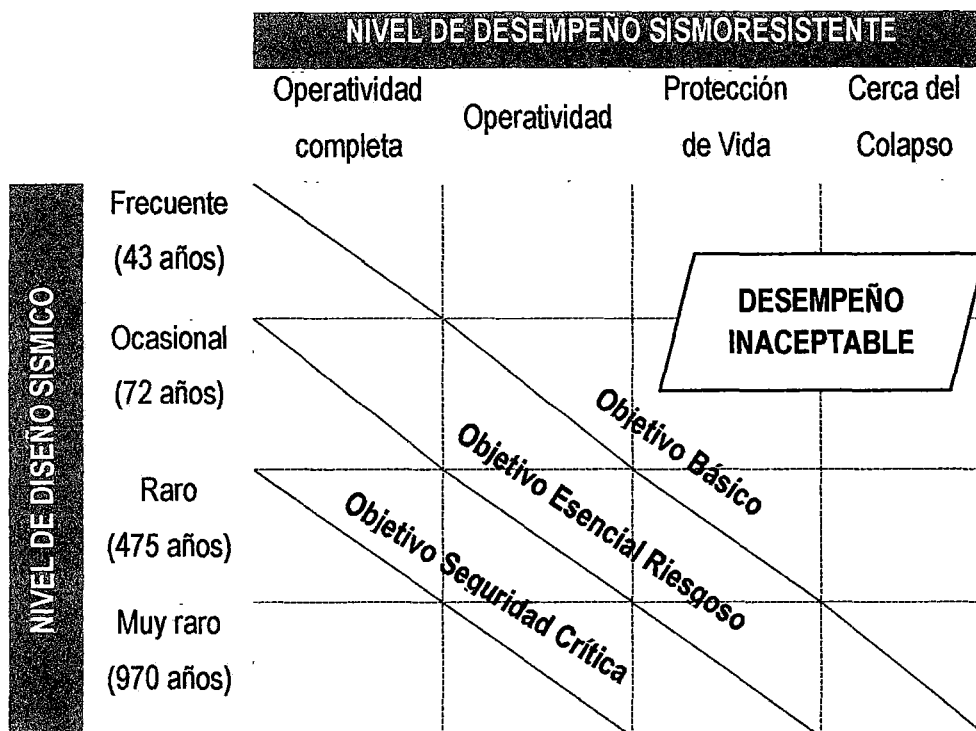


Fig. 4.5 Objetivos de Desempeño (SEAOC, 1995)

2.2.4.5. OBJETIVOS DE DESEMPEÑO DEL ATC-40 (1996).

La definición de Objetivo de Desempeño se ilustra en la Fig 4.6

DEFINICION DE UN OBJETIVO DE DESEMPEÑO				
Sismo de Diseño	Nivel de Desempeño de la Edificación			
	Operacional	Ocupación Inmediata	Seguridad de Vida	Estabilidad Estructural
Serviciabilidad	✓	NA	NA	NA
Sismo de Diseño	✓	✓	✓	NA
Máximo	✓	✓	✓	✓

NA: No aceptable

Fig. 4.6 Definición de un Objetivo de Desempeño

2.2.4.6. OBJETIVOS DE REHABILITACION DEL FEMA-273 (1997).

La Fig. 4.7 que a continuación se ilustra presenta una matriz que indica los rangos de Objetivos de Rehabilitación. Cada celda de esta matriz es un Objetivo de Rehabilitación.

		NIVEL DE DESEMPEÑO DE EDIFICACION			
		Nivel Serviciabilidad (1-A)	Nivel de habitabilidad inmediata (1-B)	Nivel de protección de vida (3-C)	Nivel de prevención de colapso (5-C)
NIVEL DE RIESGO SISMICO	50% / 50 años	a	b	c	d
	20% / 50 años	e	f	g	h
	BSE-1 ~2% / 50 años	i	j	k	l
	BSE-2 ~2% / 50 años	m	n	o	p

K + p = Obs. Objetivos básicos de seguridad.
 K + p + alguno de a, e, i, m, b, f, j, ó n = O Objetivo mejorado.
 K sólo ó p solo = Objetivo limitado.
 C, g, d, h = Objetivos limitados.
 BSE -1, BSE-2: seguridad sismoresistente básica.

FIG. 4.7 Objetivos de Rehabilitación (FEMA-273, 1997).

2.2.5. EVALUACION DE DESEMPEÑO

Se requiere de una Evaluación del Desempeño para asegurar el cumplimiento de los Objetivos de Desempeño.

La selección de un apropiado enfoque de diseño para un proyecto depende de varios factores incluyendo los Objetivos de Desempeño, el tipo y complejidad del sistema estructural a ser usado. En general, edificaciones simples con criterios de desempeño modestos pueden usar enfoques simples. Estructuras complejas con mayor demanda de objetivos de desempeño requerirán enfoques de diseño más

rigurosos. El enfoque de diseño debe ser consistente con los Objetivos de Desempeño definidos para un proyecto, así como con el tipo y complejidad del sistema estructural [4].

Para evaluar el desempeño sismorresistente de edificaciones existentes y verificar el diseño de adaptaciones sísmicas, se requieren de procedimientos analíticos. Por ejemplo los métodos de análisis no-lineal simplificado, que incluye el análisis estático no lineal. Este análisis incluye el método de espectro de capacidad, el método de coeficiente de desplazamiento (FEMA-273 que usa un análisis “pushover” y una versión modificada de la aproximación de desplazamiento equivalente para estimar el desplazamiento máximo) y el método secante que usa una estructura sustituta y una rigidez secante [43].

El enfoque de Evaluación de Desempeño para rehabilitación de edificaciones es analizar la estructura para un sismo con probabilidad de excedencia deseada y determinar si las demandas de deformación son menores que la capacidad de deformación de la estructura en el Nivel de Desempeño deseado. Si la demanda de distorsión es menor que la capacidad, entonces la estructura tiene una gran probabilidad de no excedencia para el Nivel de Desempeño deseado. Los procedimientos de análisis para la Evaluación de Desempeño son los pasos para conseguir la distribución de fuerzas y deformaciones en la estructura inducidos por el movimiento sísmico u otros riesgos para un objetivo de rehabilitación seleccionado. Los análisis dirigen las demandas sísmicas y las capacidades para resistir estas demandas por todos los elementos de la estructura. La selección del método está basado en las limitaciones de las características de la edificación [38].

A continuación se describe brevemente los procedimientos analíticos para la Evaluación del Desempeño por parte de diversos grupos de trabajo.

2.2.5.1. ENFOQUES DE DISEÑO DEL SEAOC (1995).

Sólo presenta enfoques de diseño para su implementación y desarrollo, como:

▪ Enfoque de Diseño Integral

Es un enfoque de diseño probabilístico en estado límite, en el cual se considera la optimización del costo durante el ciclo de vida. Se desarrolla el concepto que toda edificación debe cumplir como mínimo un objetivo básico, más aún luego que el diseño sísmico ideal se basa en el menor costo total durante la vida de la obra, incluyendo costo inicial y costo de reparaciones por daños debidos a sismo.

Este enfoque toma en cuenta demandas simultáneas para resistencia y deformación y sus efectos combinados sobre la demanda de energía y capacidad para toda la edificación, incluyendo componentes estructural y no estructural.

Este enfoque conceptual está basado en el uso de conceptos de energía sobre los principios fundamentales de dinámica estructural y diseño integral, y considera el comportamiento mecánico real de toda la edificación.

En la práctica puede ser usado para casos especiales que involucren irregularidad, complejidad o seguridad crítica, debido al ámbito y la complejidad de la información y análisis.

Este enfoque de diseño continúa implementándose por ejemplo Bertero [1] establece la siguiente metodología de diseño preliminar:

1. Definición del Sismo de Diseño:

Se deben obtener espectros de respuesta para diversos estados límites para resistencias, desplazamientos y diferentes factores de amortiguamiento. La evaluación del daño acumulado causado por fuerza cíclica se puede hacer a través de funciones o índices de daño, razón de ductilidad aceptable máximo y energía disipada.

2. Procedimientos de Diseño Numérico Conceptual:

Se define para diseñar contra las combinaciones críticas del sismo de diseño con otras solicitaciones que puedan actuar sobre la edificación de acuerdo a su localización y ubicación. Se estima la fuerza de diseño sismorresistente a través del uso del espectro de resistencia para diferentes estados límites; los espectros que se hacen para un sistema de 1GDL se modifica por efecto de modos de vibración alto de sistemas de VGDL, por efecto de torsión, daño aceptable y sobre resistencia.

▪ Diseño Basado en Desplazamiento

Se basa en el desplazamiento antes que la fuerza como punto de inicio del diseño sísmico, asume que el control del desplazamiento, o distorsión, es la clave para controlar el desempeño de la estructura.

En un diseño tradicional basado en la resistencia, la estructura es diseñada elásticamente para una respuesta de aceleración reducida y fuerzas asociadas. Desplazamiento o distorsión es entonces verificado como parte de la verificación de aceptabilidad. En este enfoque el proceso de diseño se invierte diseñando la edificación para un control de desplazamiento y verificando para la resistencia.

Empieza con el establecimiento de una meta, nivel de desplazamiento o distorsión de fluencia y de servicio, consistente con los objetivos de desempeño. Las metas de desplazamiento deben ser ajustados a una razón consistente con la capacidad de ductilidad de la estructura prevista.

Así por ejemplo, para un nivel de protección de vida, la distorsión de entrepiso se limita al desplazamiento que convoca alguno de los siguientes efectos:

- a) Esfuerzo de compresión de 0.003 en pórtico confinado o muro de corte.
- b) Esfuerzo de compresión de 0.004 en una columna de concreto armado.

- c) Deformación pico o máxima en albañilería confinada determinada por datos experimentales o ensayos físicos.
- d) Se calcula el desplazamiento por análisis no lineal cuando empezó la degradación de resistencia de algún elemento.

Típicamente una estructura elástica sustituta puede ser usada para modelar la rigidez efectiva de la estructura inelástica en el desplazamiento último. Un apropiado espectro de respuesta de desplazamiento elástico amortiguado será usado con la estructura sustituta para diseñar la estructura real. Para un apropiado objetivo de desempeño seleccionado para el sismo frecuente se debe emplear otro espectro con amortiguamiento ajustado, con la estructura real en rango elástico.

Sin embargo, se requiere más investigación para su aplicabilidad en sistemas de varios grados de libertad, relacionado por ejemplo al establecimiento de amortiguamiento efectivo real.

Existen dos procedimientos de diseño basados en el desplazamiento como se ilustra en la Fig. 5.1. Los procedimientos referidos son:

➤ **Diseño Basado en Desplazamiento Equivalente.**

Está basada en los resultados de desplazamiento encontrados por Newmark-Hall (1982); quienes indican que para edificaciones con periodos entre 0.5 a 0.7 segundos, la demanda de desplazamientos en una estructura que responde elásticamente es aproximadamente igual a la demanda de desplazamiento en una estructura que responde inelásticamente con igual rigidez inicial [30].

➤ **Diseño Basado en Desplazamiento Directo.**

Se basa en procedimientos de análisis de una “estructura sustituta” desarrollada por Shibata y Sozen (1976). Los fundamentos de este diseño se ilustran en la Fig. 5.2 [29]. Se caracteriza la estructura por una rigidez secante K_e y el máximo desplazamiento Δ_d (Fig. 5.2b) y un nivel apropiado de amortiguamiento viscoso para la energía histerética

absorbida durante la respuesta inelástica. El periodo efectivo T_e en la respuesta de desplazamiento máximo puede ser leído del espectro de desplazamiento de diseño (Fig. 5.2d). Representando la estructura con un sistema equivalente de un grado de libertad y la rigidez efectiva en el desplazamiento de respuesta máximo, se encuentra como:

$$T_e = \sqrt{\frac{M_e}{K_e}} \dots \dots \dots (5.1)$$

$$k_e = 4\pi^2 \frac{M_e}{T_e^2} \dots \dots \dots (5.2)$$

De la Fig. 5.2b el corte en la base en la respuesta máxima es:

$$V_b = K_e A_d \dots \dots \dots (5.3)$$

➤ **Modelo Equivalente de Un Grado de Libertad (estructura sustituta).**

Desplazamiento efectivo

$$\Delta_d = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)} \dots \dots \dots (5.4)$$

Donde n es el número de pisos y m_i es la masa por piso

Masa efectiva

Considerando la participación de masa en el modo fundamental, la masa efectiva es:

$$\Delta_d = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)}{\Delta_d} \dots \dots \dots (5.5)$$

Este enfoque de diseño se sigue desarrollando e investigando por parte de investigadores como Chopra [53] respecto a la ventaja de emplear espectro elástico o inelástico.

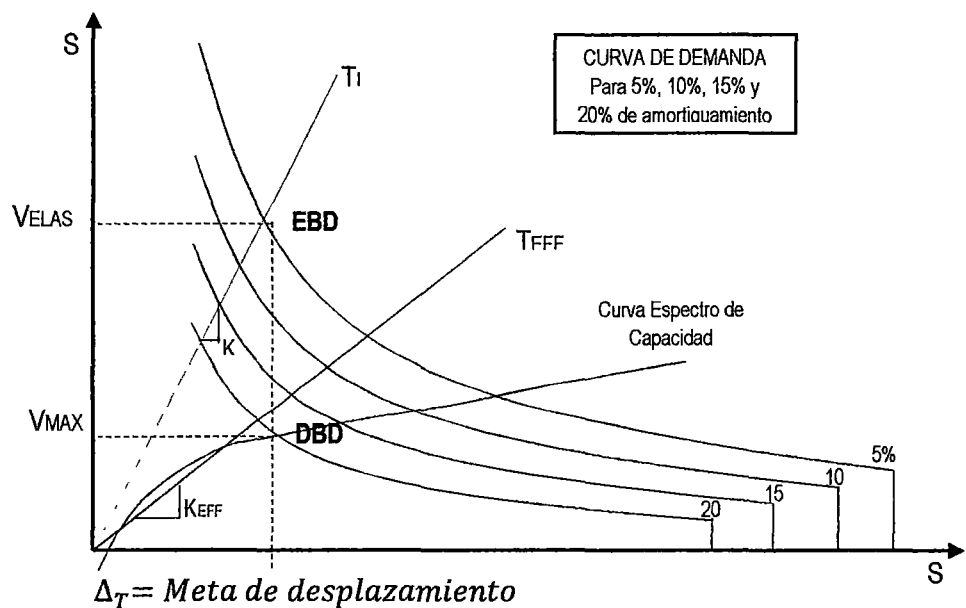


Fig. 5.1 Procedimientos de DBD y EBD (SEAOC, 1995)

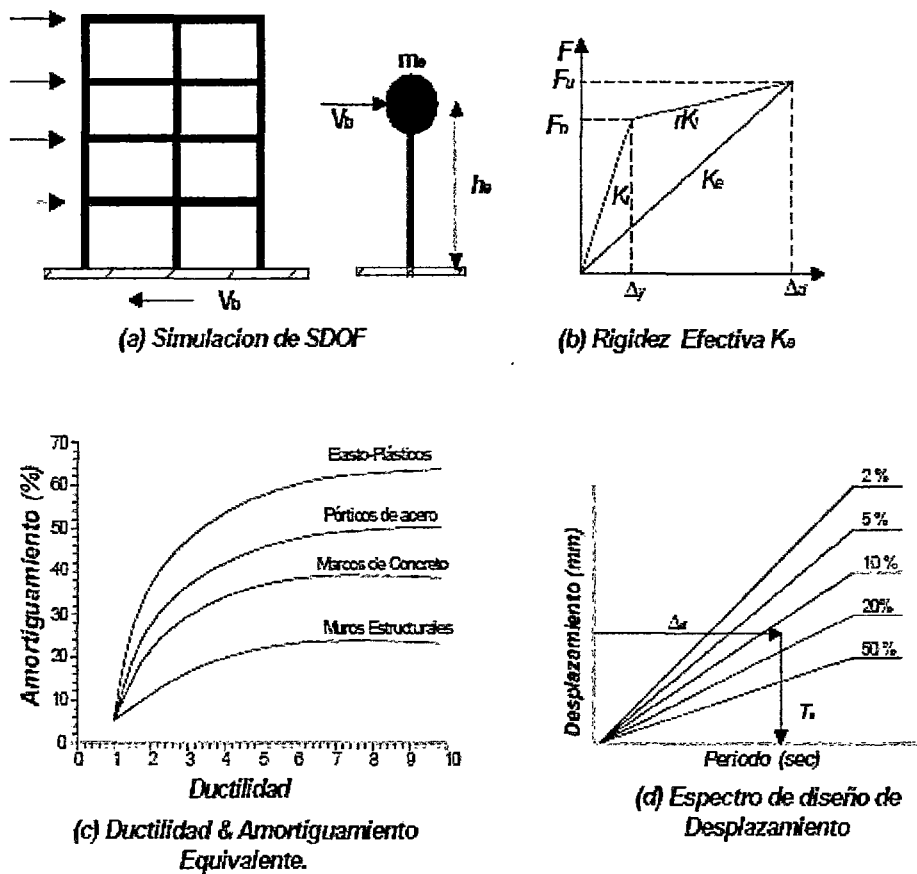


Fig. 5.2 Diseño Basado en Desplazamiento Directo

▪ Enfoque de Diseño Basado en Energía

Este enfoque se basa en la premisa que el daño está directamente relacionado a la energía de entrada; esta energía de entrada es función de la velocidad efectiva del sismo y su duración y su interrelación entre el movimiento y la estructura. La velocidad y duración no son tomadas en cuenta en el espectro de respuesta de aceleración comúnmente usado en el diseño. Ese enfoque de diseño toma en cuenta directamente el efecto de la duración y el contenido de energía del sismo en periodos estructurales diferentes también como para la degradación del sistema estructural a través de la respuesta cíclica.

El enfoque empieza con la estimación de la energía de entrada de un sismo de diseño esperado en un rango frecuencias y la estructura es diseñada para proveer una mayor capacidad de absorción y disipación de energía que la demanda esperada. Este esquema fue propuesto por Housner en 1956.

Este enfoque, aún se encuentra en desarrollo y es relativamente poco conocido como para convertirse en un diseño práctico.

La ecuación de balance de energía se puede presentar como:

$$E_i = E_e + E_d = E_k + E_s + E_{H\mu} + E_{H\xi} \dots \dots \dots (5.6)$$

Comparando con la ecuación de diseño:

$$DEMANDA \leq OFERTA \dots \dots \dots (5.7)$$

Donde:

E_i : Energía de entrada

E_e : Energía elástica

E_d : Energía disipada

E_k : Energía cinética

E_s : Energía de deformación elástica

$E_{H\mu}$: Energía de amortiguamiento

$E_{H\xi}$: Energía histerética plástica

E_i Representa la demanda y $E_e + E_d$ representa la oferta.

Para un diseño sismorresistente eficiente el primer paso es una buena estimación de E_i para el mismo de diseño crítico. Entonces se analiza si es posible económicamente y/o técnicamente balancear esta demanda solo con E_e , o si es conveniente reducir E_e , por disipación tanto como sea posible los efectos de E_i empleando E_d . Para este propósito existen tres caminos: incrementando la energía disipada a través de amortiguamiento histórico $E_{H\xi}$, por incremento de la razón de amortiguamiento viscoso lineal ξ ; otro es incrementando la energía histórica plástica $E_{H\mu}$; y por una combinación de incrementos de $E_{H\xi}$ y $E_{H\mu}$.

Si es técnica o económicamente imposible balancear el requerimiento de E_i por $E_e + E_d$, el diseñador puede disminuir E_i , esto es posible a través de enfoques de diseño innovador como: técnicas de aislamiento de base y/o mecanismo de disipación de energía [19].

▪ Enfoque de Diseño Basado en Fuerza/Resistencia

El enfoque de diseño sismorresistente basado en fuerza/resistencia es el más común empleado actualmente, en la literatura se dispone generalmente como enfoque de fuerza lateral o como enfoque de fuerza lateral equivalente. Se basa en determinar una fuerza lateral de corte en la base mínimo, distribuido sobre toda la altura de la edificación por un procedimiento estático o dinámico, diseñando miembros con suficiente resistencia, para resistir las fuerzas resultantes y detallar componentes con suficiente ductilidad.

Las principales desventajas de esta filosofía de diseño son:

- 1) El diseño se basa en un objetivo de desempeño único, usualmente asociado al movimiento sísmico con periodo de recurrencia de 475 años.
- 2) Supone un comportamiento elástico lineal, para la cual la resistencia esta basado en la reducción de la resistencia requerida a través de un factor

de reducción de resistencia R , que depende solo del tipo del sistema estructural.

En tal sentido se plantea una modificación a este enfoque tradicional para adaptarlo al diseño por desempeño, así:

- ❖ Especificar para cada nivel de desempeño espectros diferentes. El espectro de respuesta y desplazamiento están basados en la función de daño aceptable o índice de daño.
- ❖ Para el espectro de diseño de resistencia, especificar el espectro de resistencia reducida para cada nivel de desempeño involucrando daño estructural. El factor R considera todos los parámetros importantes que puedan afectar a cada uno de los valores antes mencionados.

En este enfoque se propone la definición de R como:

$$R = R_{\Delta T} \times (R_{OVS} + 1) \times R_{\mu, E_{H\mu}} \times R_{E_{H\Delta\xi}} \dots \dots \dots (5.7)$$

Donde:

$R_{\Delta T}$: Factor que depende del cambio de los periodos del sistema estructural completo.

R_{OVS} : Factor de reducción de sobrerresistencia; depende del sistema estructural, el periodo fundamental, efecto de otras fuerzas y método de diseño.

$R_{\mu, E_{H\mu}}$: Factor de reducción del factor de ductilidad aceptable; que depende del grado de daño aceptable, duración del movimiento sísmico fuerte, periodo, características mecánicas de la edificación.

$R_{E_{H\Delta\xi}}$: Factor de reducción de amortiguamiento, depende de la energía que puede ser disipada a través del posible incremento del coeficiente del coeficiente de amortiguamiento viscoso histerético.

Como se ilustra en la Fig. 5.3, se muestra espectro de diseño correspondiente al sismo de diseño extremo (máximo), luego se reduce a través de valores especificados de R para cada Objetivo de Desempeño.

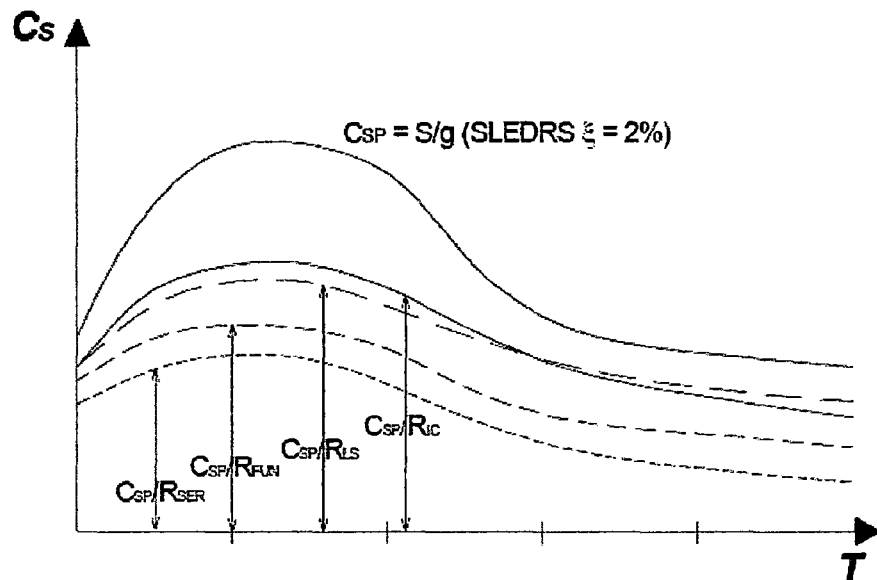


Fig. 5.3 Espectros de Diseño correspondiente al máximo sismo suavizado.

2.2.5.2. PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACION DE DESEMPEÑO DEL ATC-40 (1996).

El documento enfatiza el análisis estático no lineal basado en el método del espectro de capacidad. Los procedimientos de análisis no lineal simplificado como el método de espectro de capacidad y el método de coeficiente de desplazamiento requiere la determinación de los tres primeros elementos: capacidad, demanda o sollicitación sísmica (desplazamiento) y desempeño.

▪ Capacidad

Es una representación de la habilidad de la estructura para resistir la demanda sísmica. La capacidad de la estructura depende de la resistencia y capacidad de deformación de los componentes individuales de la estructura. La capacidad de la estructura está representada por una curva creciente. El camino más conveniente para plotear la curva fuerza-desplazamiento a través del corte en la base y desplazamiento en entrepiso. La curva de

capacidad generalmente representa el primer modo de respuesta de la estructura basado en la hipótesis que el modo fundamental de vibración es la respuesta predominante de la estructura.

La curva de capacidad se ilustra en la Fig. 5.4

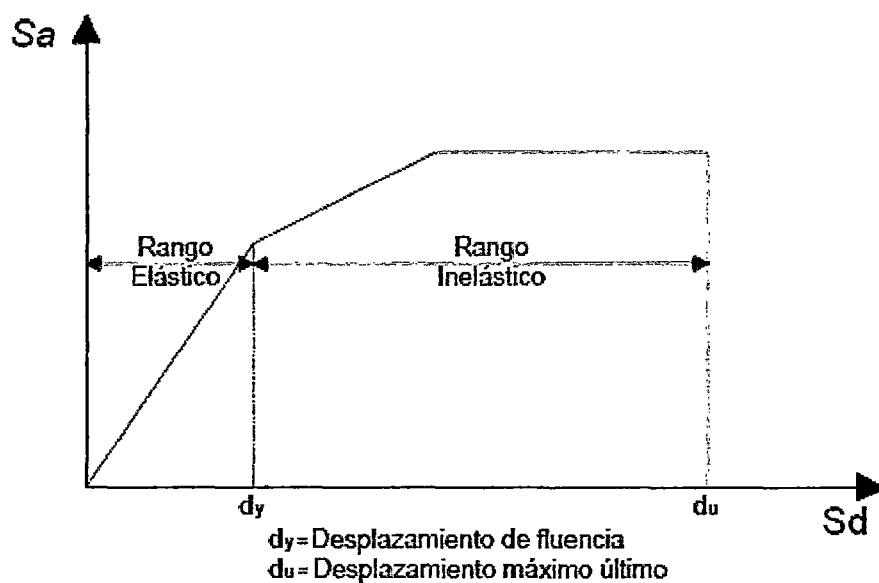
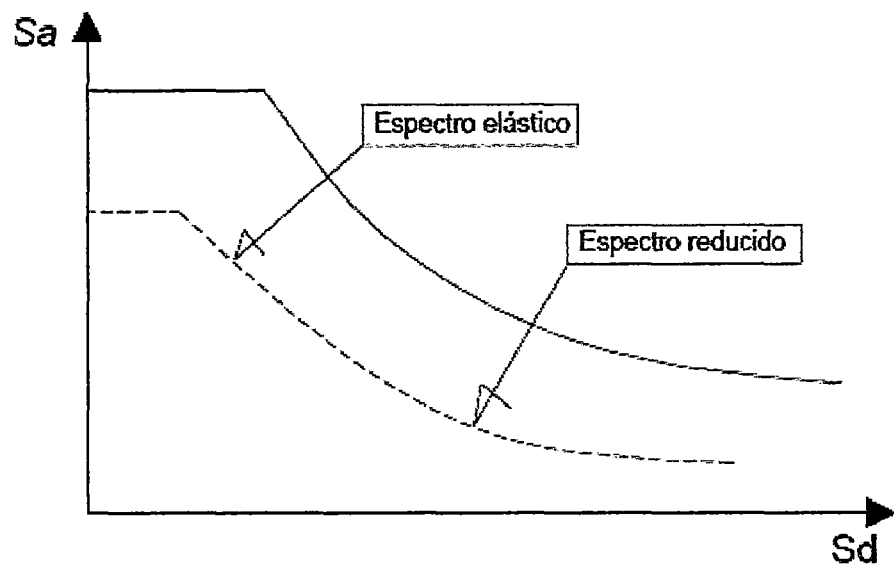


Fig. 5.4 Curva de Capacidad

▪ Demanda o sollicitación sísmica

Grandes movimientos durante un sismo producen padrones de desplazamiento horizontal complejos en estructuras que pueden variar con el tiempo. El espectro de respuesta de $\beta=5\%$ reducido, llamado espectro de demanda, puede ser ploteado como se muestra la figura 5.5. Cada espectro representa un nivel diferente de amortiguamiento efectivo.



▪ Desempeño

La revisión o comprobación del desempeño verifica que los componentes estructurales y no estructurales no son dañados más allá de los límites aceptables de los objetivos de desempeño para las fuerzas y desplazamiento implicado por la demanda. El punto de desempeño representa el desplazamiento estructural máximo esperado para el movimiento sísmico de demanda.

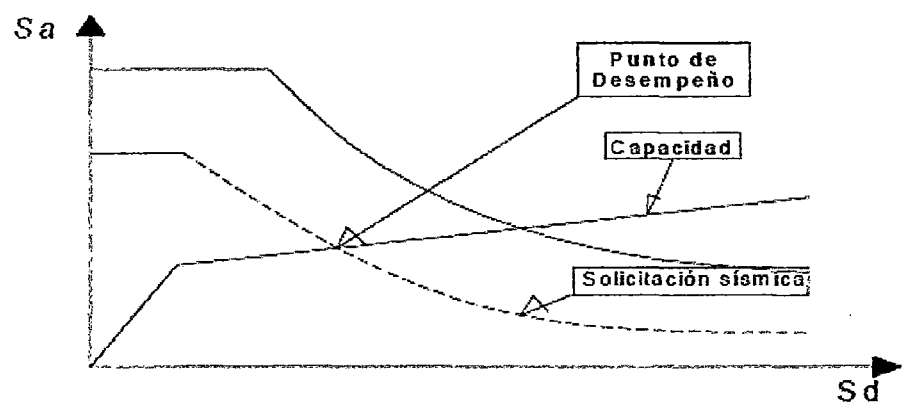


Fig. 5.6 Punto de Desempeño

2.2.5.3. PROCEDIMIENTOS ANALITICOS PARA EL METODO DE REHABILITACION DEL FEMA – 273 (1997).

Los métodos de rehabilitación para conseguir la reducción de la vulnerabilidad sísmica de una edificación se clasifican en un método de rehabilitación Simplificado y Método de Rehabilitación Sistemático. El primer método se emplea para ciertas edificaciones pequeñas; para conseguir objetivos de rehabilitación limitados. El segundo método se puede emplear para cualquier edificación.

Describe dos procedimientos de análisis: análisis lineal y análisis no lineal.

▪ **Análisis lineal**

Se clasifica en un Análisis Estático Lineal y un Análisis Dinámico Lineal. No se debe usar para edificaciones irregulares. El Análisis Estático Lineal emplea procedimientos de análisis estático con fuerzas equivalentes que se encuentran en la mayoría de los códigos. El Análisis Dinámico Lineal está conformado por un análisis de espectro de respuesta y un análisis tiempo-historia lineal.

Las acciones y deformaciones deben ser afectadas por Factores de Modificación; por ejemplo:

$$V = C_1 C_2 C_3 S_a W \dots \dots \dots (5.8)$$

Donde:

V : Pseudo fuerza lateral

C_1 : Factor de modificación relacionado al desplazamiento inelástico máximo (1-1.5).

C_2 : Factor de modificación relacionado a la degradación de la rigidez (1-1.5).

C_3 : Factor de modificación relacionado al incremento de desplazamiento P- Δ (1-1.5).

S_a : Aceleración Espectral.

W : Peso de la Edificación.

Los factores de modificación son mayores que uno y varían hasta 1.5, en función de cada tipo de edificación y sistema estructural.

▪ **Análisis no lineal**

Puede ser un análisis estático no-lineal (análisis “pushover”) y un análisis dinámico no-lineal (análisis tiempo-historia no lineal). Son especialmente recomendados para edificaciones irregulares.

Por ejemplo el desplazamiento objetivo se calcula como:

$$\delta = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left(T_e^2 / 4\pi^2 \right) g \dots \dots \dots (5.9)$$

Donde:

T_e : Periodo efectivo que se puede deducir de una relación bilineal Fuerza-Desplazamiento.

C_0 : Factor de modificación relacionado al desplazamiento espectral.

C_1 : Factor de modificación relacionado al desplazamiento inelástico máximo.

C_2 : Factor de modificación relacionado a la forma de histéresis.

C_3 : Factor de modificación relacionado al incremento de desplazamiento P-Δ.

S_a : Aceleración espectral.

g : Gravedad

Los valores numéricos de los factores C_0, C_1, C_2, C_3 ; varían de 1 a 1.5, en función del número de pisos, sistema estructural y otros.

2.2.6. ANALISIS DE ACEPTABILIDAD

El Análisis de Aceptabilidad se usa para verificar el diseño adecuado, los Objetivos de Diseño y que los criterios de aceptabilidad se hayan cumplido, el diseño estructural se analiza para comparar los parámetros de respuesta crítica con los valores límites de estos parámetros asociados con los Niveles de Desempeño

seleccionados. Los valores límite de varios parámetros de respuesta estructural forman el criterio de aceptabilidad para el diseño. Los parámetros de respuesta son medidos de la respuesta estructural que pueden ser correlacionadas con niveles de daño y con los Objetivos de Desempeño. Los parámetros pueden incluir distorsión, desplazamiento, resistencia, esfuerzos e índices de deformación, demanda de ductilidad, demanda de energía, aceleración y quizás velocidad [4]. Los efectos de fuerzas y desplazamientos impuestos en varios elementos por la demanda sísmica deben ser verificados por un Análisis de Aceptabilidad para el Nivel de Desempeño seleccionado. Estos criterios de aceptabilidad generalmente son categorizados por material. También se puede estimar un costo para la revisión de la aceptabilidad económica del diseño.

Los criterios de aceptabilidad para rehabilitación de edificaciones son definidos para cada material (acero, concreto armado, mampostería, madera); y se definen como los valores permisibles de cada propiedad como distorsión y deformación inelástica empleada para determinar la aceptabilidad de un desempeño proyectado en un Nivel de Desempeño dado [32].

2.2.6.1. PROCEDIMIENTO DE ANALISIS DE ACEPTABILIDAD DEL SEAOC (1995).

Presenta procedimientos de Análisis de Aceptabilidad para que se desarrolle e implemente en el Diseño por Desempeño. Dichos procedimientos recomendados se describen brevemente a continuación.

▪ **Procedimiento de Análisis Elástico**

La mayoría de códigos de diseño sísmico están basados en los procedimientos de análisis elástico. Incluyen procedimientos de diseño estático y dinámico: análisis de fuerzas laterales equivalentes, análisis espectral, análisis modal, análisis tiempo-historia elástico. Sin embargo el análisis numérico no puede ser confiable por la naturaleza inelástica de la respuesta sísmica. Son apropiados para el nivel de Operatividad Completa, el cual se define en la respuesta elástica.

- **Procedimiento de Análisis Elástico Basado en la Respuesta de los Componentes.**

Es una extensión del procedimiento de análisis lineal. Pueden ser aplicados como una medida de la demanda de ductilidad sobre cada componente.

Los índices de demanda inelásticos son calculados como la fracción de la demanda de resistencia por el análisis elástico respecto a la capacidad de fluencia de los elementos individuales. Estas razones son tomadas como una medida de demanda de ductilidad producida por el sismo de diseño en varios elementos de la estructura. Sin embargo, este procedimiento no provee una buena indicación de la real distribución de la demanda inelástica si la estructura no tiene distribución uniforme de rigidez y resistencia o si tiene irregularidades torsionales. El sismo de diseño puede ser representado por un espectro de respuesta inelástica o un espectro de respuesta elástica estándar factorado para tener en cuenta los efectos del comportamiento inelástico.

- **Método del Espectro de Capacidad**

Este método compara la capacidad inelástica de una estructura con la del espectro de diseño que representa el movimiento sísmico. Como un procedimiento de aceptabilidad, las curvas de espectros de capacidad son comparadas con la curva de demanda para un sismo. Si la curva de capacidad cruza la curva de demanda, el diseño es aceptable. [4].

Se debe señalar que este método fue desarrollado por Freeman (1998) y en la actualidad su empleo inclusive ya está reglamentado en el código japonés [33]. La demanda sísmica es expresada en términos de una serie de espectros de respuesta con aceleración en el eje vertical y desplazamiento en el eje horizontal. El periodo es determinado por líneas radiales desde el origen. Esta conveniente representación permite que la demanda y la capacidad (expresada como una curva pushover) sean dibujadas en el mismo gráfico. Se requiere alguna manipulación en la curva "pushover" para

transformarla en un modelo equivalente de un grado de libertad. El procedimiento requiere de un apropiado nivel de amortiguamiento elástico equivalente que se determina sobre la base de la demanda de ductilidad. [29].

Este método integra la capacidad de fuerza-desplazamiento global de la estructura con la demanda sísmica. El procedimiento compara la capacidad y demanda para definir un “punto de desempeño”, que representa la condición para la cual la capacidad es igual a la demanda.

Es decir el punto de desempeño es una localización de la curva de capacidad donde la demanda de ductilidad de desplazamiento es igual a la capacidad de ductilidad de desplazamiento de la estructura.

El procedimiento aproxima este punto iterativamente. [23]. La ilustración gráfica se puede ver en la Fig. 6.1

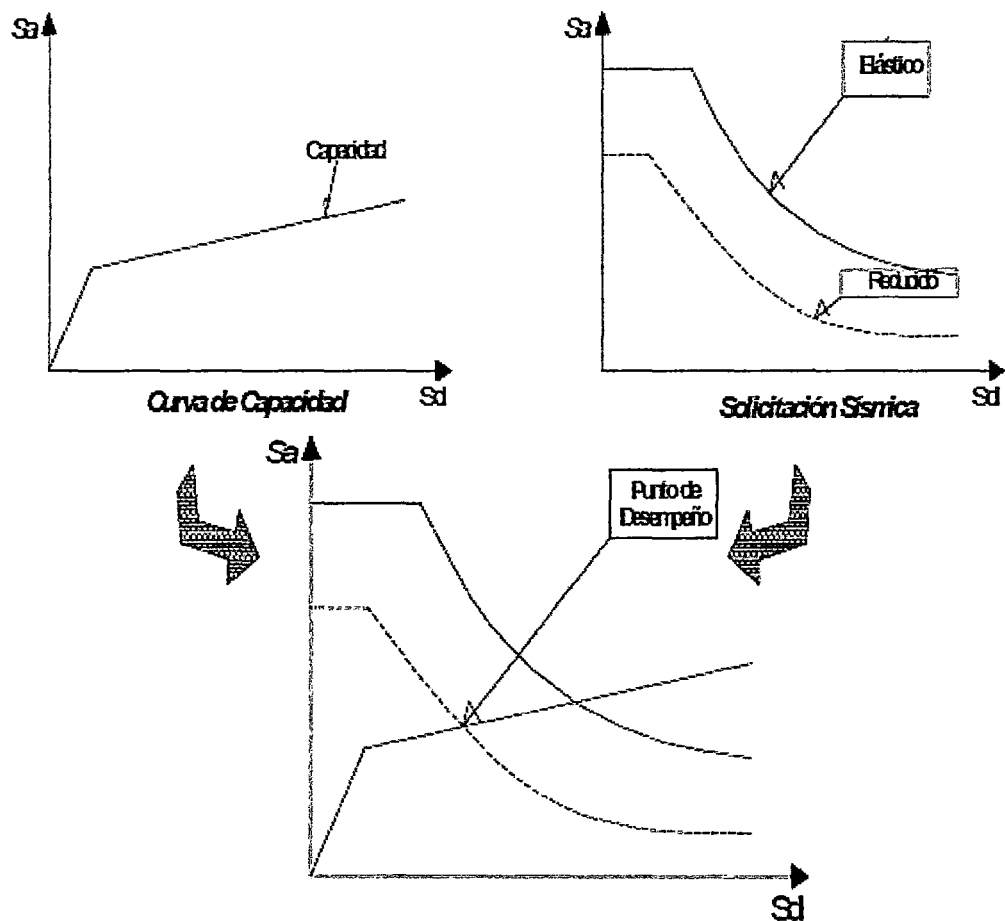


Fig. 6.1 Ilustración del Método de Espectro de Capacidad

▪ Métodos de Análisis Estático Incremental

Son técnicas usuales para estudiar la respuesta no lineal de una estructura, como la secuencia de fluencia de los elementos estructurales ante incremento de fuerzas. Una forma popular es usando fuerza estática incremental en una distribución triangular la cual rastrea el comportamiento de la edificación en el incremento del desplazamiento. Este método no toma en cuenta la distribución de fuerza debido a la fluencia progresiva de pisos blandos ni modos altos o efectos tridimensionales tales como torsión. Pese a estas limitaciones el enfoque simplificado es usual en una verificación de aceptación para edificaciones de altura limitada y configuración regular que pueden ser diseñadas por el método de fuerza lateral equivalente. La estructura elástica se sujeta a una evaluación del espectro de respuesta, se

determina el corte en la base y el desplazamiento de entrepiso. El modelo lineal elástico se modifica con rótulas plásticas para los elementos que han fluido. El proceso se repite; para cada iteración la estructura se rastrea para la iniciación de la inestabilidad global. Se considera que va a ocurrir inestabilidad si se excede la ductilidad rotacional de algún elemento estructural.

▪ **Análisis Dinámico Tiempo-Historia no Lineal**

Es la técnica de análisis más sofisticada disponible para modelar una edificación e investigar sus respuestas dinámicas. El procedimiento consiste en una solución paso por paso a través del dominio de tiempo para la respuesta dinámica de una estructura para un movimiento tiempo historia seleccionado. Requiere uso de sofisticados programas de computadora. El modelo estructural refleja el comportamiento elástico y post-elástico de los materiales y debe incluir participación del componente no estructural significativo y la interacción suelo-estructura.

▪ **Análisis del Espectro de Capacidad de Distorsión**

El efecto del sismo en Northridge y otros sismos en un campo cercano han demostrado que la demanda estructural puede ser significativamente diferente en un campo cercano que en un área remota. Se ha sugerido que este fenómeno de campo cercano puede ser representado por una nueva medida, el espectro de demanda de distorsión (Iwan, 1994), En este método, la distorsión del entrepiso es graficada como una función de la altura o número de pisos para diferentes niveles de amortiguamiento basado sobre estudios de análisis paramétricos.

El espectro de demanda de distorsión puede ser usado para determinar los requerimientos de amortiguamiento, demanda de distorsión y requerimientos de separación de edificaciones para estructuras estándar o requerimientos de capacidad de distorsión para estructuras con aislamiento en la base [4].

El método fue propuesto por Iwan y Huang (1998), es muy similar al método del espectro de capacidad. La mayor diferencia está en el espectro de respuesta, para este método se emplea el “espectro de distorsión”. El espectro nuevo es calculado aplicando la teoría de propagación de onda para un modelo de viga de corte elástico y es establecido para calcular la deformación local en lugar de desplazamiento de entrepiso de una estructura (Iwan, 1997) [23].

2.2.6.2. LIMITES DE ACEPTABILIDAD DEL ATC-40 (1996).

La respuesta límite se clasifica en dos categorías:

- **Límites de aceptabilidad global**

Estos requerimientos incluyen capacidad de fuerza vertical, resistencia de carga lateral, y distorsión lateral.

La capacidad de carga de gravedad de la edificación permanece intacta para un desempeño aceptable en cualquier nivel. En los elementos o componentes donde se perdió la capacidad de carga de gravedad, la estructura debe ser capaz de redistribuir carga a otros elementos o componentes existentes o adaptar el sistema. Algunos componentes están sujetos a degradación por ciclos múltiples de carga, entonces cuando el número de componentes degradados es mayor se puede afectar la resistencia a carga lateral de la edificación.

Esta resistencia incluyendo la resistencia a las fuerzas de gravedad a través de desplazamientos laterales, no debe ser degradada más del 20% de la resistencia máxima de la estructura. Los desplazamientos laterales relativos del punto de desempeño se deben verificar contra los límites de deformación. Se presentan los valores en la Tabla 6.1 para los límites de deformación.

La distorsión total máxima se define como la distorsión de entrepiso en el desplazamiento del punto de desempeño.

La distorsión inelástica Máxima se define como la porción del desplazamiento máximo después del punto de fluencia efectivo.

Límite de distorsión de entrepiso	Nivel de Desempeño			
	Ocupación inmediata	Control de daño	Seguridad de vida	Estabilidad estructural
Distorsión total máxima	0.01	0.01 – 0.02	0.02	$0.33V_i/P_i$
Distorsión inelástica máxima	0.005	0.005 – 0.015	No limita	No limita

Tabla 6.1 Deformaciones límites

▪ Límites de Aceptabilidad de Componentes y Elementos Estructurales

Cada componente (pórtico, muro, diafragma o cimentación) se verifica si cumple con los límites de aceptabilidad.

La resistencia de demanda en el punto de desempeño no debe exceder las resistencias establecidas para acciones de deformación-controlada. Los parámetros que no deben ser excedidos se da en las tablas del Apéndice y, la siguiente figura Fig. 6.2 presenta la relación generalizada para componentes fuerza-deformación.

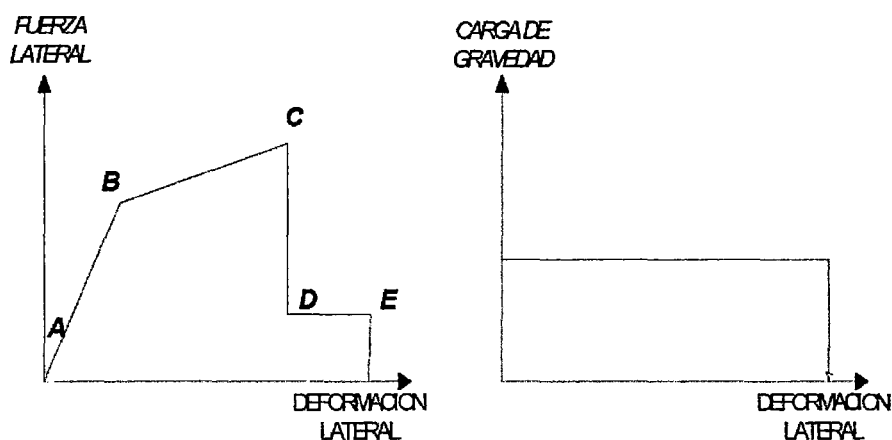


Fig. 6.2 Relaciones Fuerza-Deformación generalizada

Las deformaciones de los componentes calculados no deben exceder deformaciones límites para niveles de desempeño apropiado. El criterio para establecer criterios de aceptabilidad para deformación es: la capacidad de deformación del componente en el nivel de desempeño Estabilidad Estructural es definido como la deformación para la cual la resistencia a carga lateral empieza a degradarse. La capacidad de deformación en el nivel de desempeño Seguridad de Vida es el 75% de la deformación de Estabilidad Estructural. Se ilustra en la Fig. 6.3

También proponen como alternativa usar datos de ensayos experimentales. Cuando los límites de aceptabilidad no se cumplen, es necesario redefinir el objetivo de desempeño o adaptar la edificación.

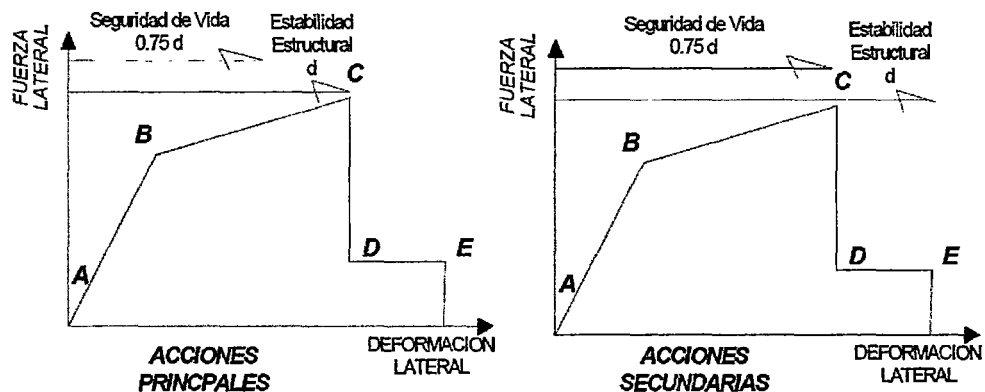


Fig. 6.3 Criterio de Aceptabilidad Fuerza-Deformación típico (componentes y elementos estructurales)

2.2.6.3. CRITERIOS DE ACEPTABILIDAD DEL FEMA-273 (1997).

Para el propósito de evaluación de la aceptabilidad, las acciones se categorizan como: deformaciones-controladas o fuerzas-controladas.

▪ Criterios de aceptabilidad para procedimientos lineales

a. Acciones de Deformaciones-Controlada. Debe satisfacer la ecuación.

$$mkQ_{CE} \geq Q_{UD} \dots \dots \dots (6.1)$$

Donde:

m : Componente o elemento de demanda modificado teniendo en cuenta la ductilidad esperada de la deformación asociada con esta acción en el nivel de desempeño seleccionado.

k : Factor de conocimiento (mínimo: 0.75; amplio: 1.00)

Q_{CE} : Resistencia esperada del componente o elemento en el nivel de deformación considerando acciones de deformaciones controlada.

Q_{UD} : Acciones de diseño debido a las fuerzas de gravedad y fuerzas de sismo.

b. Acciones de Fuerza-Controlada. Deba satisfacer la ecuación.

$$kQ_{CL} \geq Q_{UF} \dots \dots \dots (6.2)$$

Donde:

kQ_{CL} : Resistencia más baja componente o elemento de demanda en el nivel de deformación considerando acciones de fuerza-controlada.

Q_{UF} : Acciones de diseño debido a las fuerzas de gravedad y fuerzas de sismo.

▪ **Criterios de Aceptabilidad para Procedimientos No- Lineales**

Los componentes primarios y secundarios tienen una capacidad esperada no menor que las deformaciones o fuerzas máximas. Las capacidades deben ser determinadas considerando todas las fuerzas y deformaciones.

El comportamiento de los diferentes tipos de componentes se puede visualizar en la Fig. 6.4; donde: La curva tipo 1 es para un comportamiento típico dúctil, donde se define el rango elástico (0-1), el rango plástico incluyendo endurecimiento (1-2) y el rango de resistencia degradada (2-3).

La curva tipo 2 es para un comportamiento poco dúctil. Y la curva tipo 3 para un comportamiento frágil o comportamiento no dúctil. Para algunos componentes es conveniente describir los criterios de aceptabilidad en términos de deformación o razón de deformación. Los valores numéricos de las fracciones de deformación se dan para cada tipo de componente y elemento.

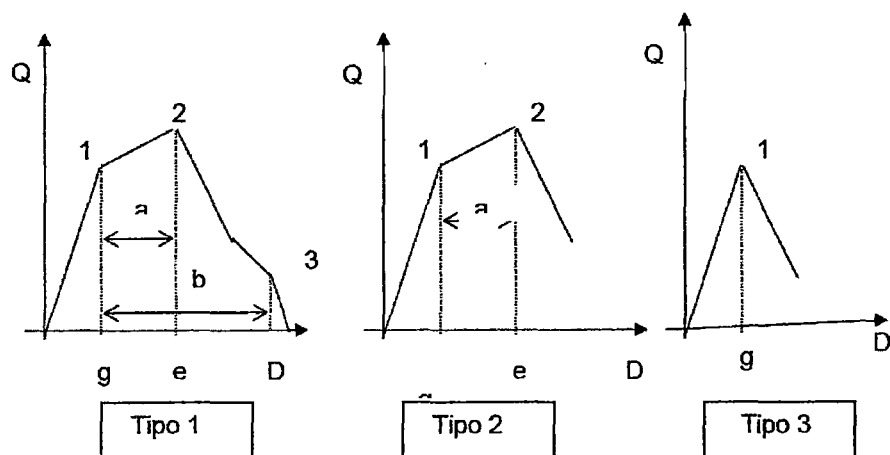


Fig. 6.4 Curvas Generalizadas de Comportamiento de Componentes Estructurales

No existe uniformidad en los trabajos de investigación señaladas respecto a la definición del Análisis de Aceptabilidad; cada grupo de trabajo recomienda límites de aceptabilidad de acuerdo al resultado de sus ensayos; sin embargo se aprecia que el desplazamiento es uno de los parámetros de respuesta estructural principal para definir la aceptabilidad del diseño.

En nuestro medio, para el diseño convencional y con los requerimientos actuales de la norma E-030, el desplazamiento relativo de entrepiso es el criterio de aceptabilidad.

2.3. HIPOTESIS

De acuerdo al desempeño desarrollado en el edificio para un sismo frecuente y ocasional la estructura presentaría pequeñas incursiones inelásticas y quedaría en estado funcional para la dirección transversal (X-X); pero para la dirección longitudinal (Y-Y) la estructura quedaría operacional en un sismo frecuente y funcional para un sismo ocasional. Para un sismo raro en la dirección transversal la estructura quedaría cerca al colapso. De acuerdo a la propuesta del SEAOC el edificio tendría un excelente comportamiento en sismos frecuentes y un comportamiento cercano al colapso en sismos raros.

2.4. VARIABLES DE ESTUDIO

- ✓ DESEMPEÑO DESARROLLADO EN EL EDIFICIO
- ✓ SISMOS FRECUENTES, OCASIONALES Y RAROS
- ✓ INCURSIONES INELASTICAS

- **Desempeño desarrollado en el edificio.-** La propuesta del SEAOC fue desarrollada en 1995 a través del COMITE VISION 2000 y aparece en el Apéndice I del libro "Recommended Lateral Force Requirements and Commentary". Según esta propuesta, el desempeño de una edificación se establece de acuerdo a su importancia, relacionando para cada nivel de peligro sísmico la combinación de comportamiento estructural y no estructural esperada.
- **Niveles de amenaza sísmica.-** El comité VISION 2000 (SEAOC, 1995) propone cuatro niveles de peligro sísmico con un intervalo de recurrencia en un período de exposición de 50 años. Cada nivel de peligro sísmico está asociado a una probabilidad de excedencia o a su equivalencia en valores del período de retorno los cuales se muestran en la tabla 4.1

SISMO	PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA (50 AÑOS)	PERIODO DE RETORNO
Frecuente	69%	43 años
Ocasional	50%	72 años
Raro	10%	475 años
Muy raro	5%	970 años

Tabla 4.1 Niveles de amenaza sísmica establecida por el comité (SEAOC)

- **Incursiones inelásticas.-** corresponde al desplazamiento lateral de la estructura, desde el punto de fluencia efectiva hasta el colapso.
El tramo inelástico de la curva de capacidad se divide en cuatro sectores definidos por fracciones del (Δp) a las cuales se asocia un nivel de desempeño, tal como se muestra en la figura 4.1

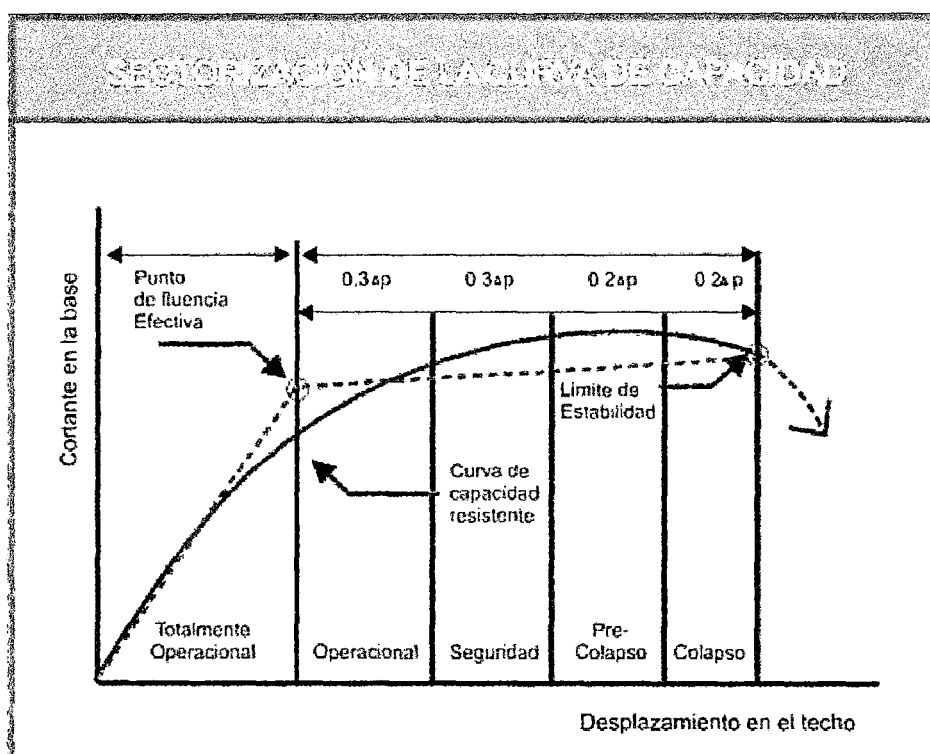


Fig. 4.1 Sectorización de la Curva de Capacidad

CAPITULO III

3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1. AMBITO DE ESTUDIO

El ámbito de estudio para el presente trabajo de Investigación está considerado en el ámbito espacial y en ámbito temporal:

ÁMBITO ESPACIAL

En este caso el ámbito espacial del presente proyecto de investigación será en el barrio de San Cristóbal, ciudad de Huancavelica, provincia de Huancavelica y región de Huancavelica.

ÁMBITO TEMPORAL

De la misma forma el ámbito temporal estará el tiempo de estudio del proyecto que será desde el mes de setiembre hasta el mes de diciembre del año 2014.

3.2. TIPO DE INVESTIGACION

De acuerdo al fin que persigue: APLICADA; porque ya existe enfoques teóricos a cerca de las variables.

Así como también se utiliza el tipo sustantivo: Descriptivo, que nos permitirá describir las variables y por ende nos ayudara a la explicación de dichas variables, para el mejor entendimiento del problema de investigación

3.3. NIVEL DE INVESTIGACION

El presente estudio de investigación arribo hasta un nivel explicativo; porque los estudios correlacionales tienden a explicar el comportamiento de los fenómenos, así mismo siempre tienden a llegar a una explicación o sustentación

3.4. METODO DE INVESTIGACION

El estudio utilizara los métodos Descriptivo y Bibliográfico.

Descriptivo porque nos permitirá describir a cada una de las variables de estudio;

Estadístico porque permitirá el procesamiento de datos estadísticos; Bibliográfico porque se está en constante revisión bibliográfica.

3.5. DISEÑO DE INVESTIGACION

El presente trabajo de investigación se utilizó el Diseño de Investigación No Experimental: Transversal Descriptivo y Correlacional: No experimental porque no se pueden manipular variables ni asignar aleatoriamente a la unidad de análisis, transversal porque la medición de variables se da en un momento dado; descriptivo porque nos permite describir las variables de estudio.

3.6. POBLACION, MUESTRA Y MUESTREO

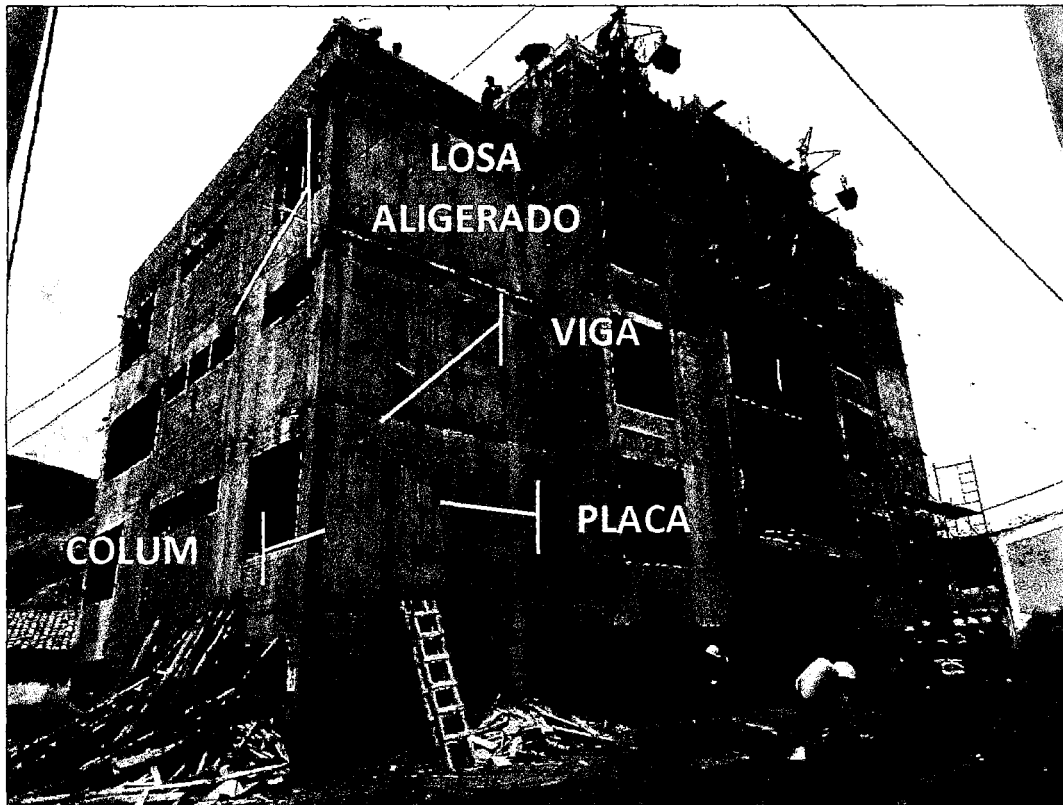
3.6.1. Población.

Para la presente Investigación, la población está dada por la infraestructura del Centro de Salud San Cristóbal de la ciudad de Huancavelica, provincia de Huancavelica y Región de Huancavelica.

3.6.2. Muestra.

Se seleccionarán seleccionaran elementos estructurales tales como:

- Columnas.
- Vigas.
- Placas (Muros estructurales).
- Losa aligerada.



3.7. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS

Técnica e instrumentos:

Se utilizará la Evaluación Visual y toma de datos a través de formulario como instrumento de recolección de datos en la muestra según el muestreo establecido. La evaluación de la condición incluye los siguientes aspectos:

Instrumentos.

- Cinta métrica: para medir las dimensiones de las escuelas.
- Calculadora: para determinar las áreas respectivas.
- Cámara fotográfica.

3.8. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCION DE DATOS

Trabajo de campo

Una vez realizado Primero la selección de las zonas a diagnosticar, se realizará El procedimiento de recolección de datos esta se realizará mediante diagnósticos de la infraestructura del Centro de Salud San Cristóbal de la ciudad de Huancavelica Provincia de Huancavelica y Región de Huancavelica.

3.9. TECNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS

- Estadística Descriptiva, cuadros y gráficos estadísticos (cuadros de una sola entrada, de doble entrada y de contingencia).
- Estadística Inferencial. comprende los métodos y procedimientos que por medio de la inducción determina propiedades de una población estadística, a partir de una pequeña parte de la misma como: La toma de muestras o muestreo. La estimación de parámetros o variables estadísticas. El diseño experimental.

CAPITULO IV

4. EVALUACION DEL C.S SAN CRISTOBAL

4.1. ESTRUCTURACION

La estructuración del edificio, ubicado en Huancavelica sobre grava de buena calidad, es a base de pórticos y muros estructurales distribuidos en dos direcciones mutuamente perpendiculares conformadas por vigas, columnas y placas. La estructura tiene una losa aligerada de 0.17m de espesor que actúa como diafragma rígido, transfiriendo adecuadamente la carga sísmica hacia todos los pórticos. La altura de entrepiso para el primer nivel es de 3.10m, para los 4 pisos siguientes es 3.10m.

Las columnas en su totalidad son rectangulares y con diferentes peraltes; el valor del peralte corresponde a la dimensión mínima necesaria para satisfacer la deriva lateral de 1% propuesto en este trabajo para reducir las exigencias de rigidez lateral indicadas en la Norma Técnica E-0.30 de Diseño Sismorresistente.

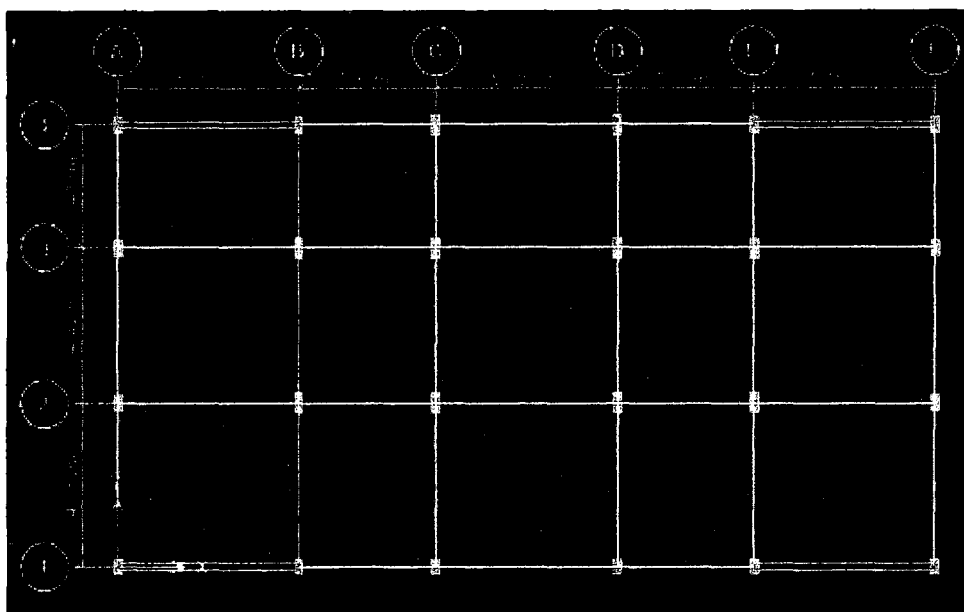


Fig. 4.1.a Planta del Edificio.

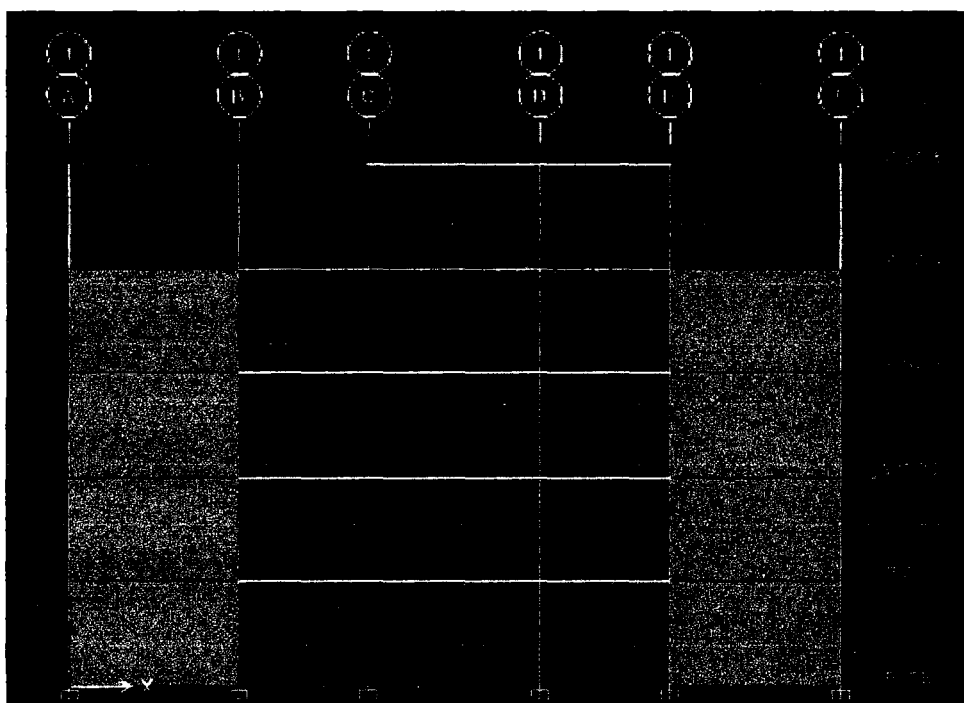


Fig. 4.1.b Elevación del Edificio.1-1

4.2. ANALISIS ELASTICO PARA PROPOSITOS DE DISEÑO.

Se utilizó el modelo con modelos unidimensionales con deformaciones por flexión, cortante y axial; además se consideró un diafragma con tres grados de libertad en cada nivel.

4.2.1. ANALISIS POR CARGAS DE GRAVEDAD.

Las cargas muertas consideradas para este análisis fueron el peso de los elementos estructurales, el peso de las losas, el peso terminado y la tabiquería. Las cargas de las losas, piso terminado y tabiquería se aplicaron directamente a las vigas usando la distribución por área tributaria. En el análisis de carga vivas se consideró una sobre carga de 100kg/cm² en la azotea; también se aplicaron a las vigas usando la distribución por área tributaria.

4.2.2. ANALISIS SISMICO.

Se utilizaron dos tipos de análisis sísmico: estático y dinámico, el primero para calcular la fuerza cortante basal y de esta manera establecer el límite inferior de la cortante de diseño que se obtiene del análisis dinámico.

ANALISIS ESTATICO

Este método se usó para escalar los resultados del análisis dinámico siguiendo las indicaciones de la norma NTE-030. La cortante basal se halló con la siguiente expresión de la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente.

$$V = \frac{ZUCS}{R} P$$

Donde:

- Z=0.35, ubicado en la ciudad de Huancavelica.
- U=1.5, Edificación esencial.
- S=1.15 Tp = 0.6, Suelo de cimentación Tipo 2.
- El factor de amplificación sísmica:

$$c = 2.5 * \left(\frac{T_p}{T} \right); C \leq 2.5$$

- Período fundamental de vibración: se obtuvo del análisis modal

CARACTERISTICAS	DIRECCION X-X	DIRECCION Y-Y
Período Fundamental (T)	0.63	0.63
Coefficiente de Amplificación Sísmica	2.5	2.5

- Consideramos el peso del edificio.

CARGA TIPO	NOMBRE	VALOR
MUERTA	CM	370 kg/m ²
VIVA ENTREPISO	LIVE	400 kg/m ²
VIVA TECHO	LIVEUP	100 kg/m ²

- R=8 y 7. Pórticos de concreto armado y muros estructurales con partícos.

ANÁLISIS DINAMICO

El análisis dinámico se repitió para diferentes peraltes de columnas hasta encontrar el menor valor que satisface una deriva de entrepiso de ($\Delta/h_e=0.01$).

Se encontró que las columnas deben de ser de las mismas secciones. por medio de masas trasnacionales para las direcciones longitudinales y transversales; y una inercia rotacional respecto al eje vertical, se presentaron las propiedades inerciales de los pisos.

$$M_{rz} = \frac{M_t * (I_x + I_y)}{A}$$

	Peso (Ton)	Masa (Tn.s ² /m)	Inercia Rotacional (Tn.s ² .m)
Primer piso	315.346	32.145	17779.975
Piso Típico	288.514	29.410	873.982
Azotea	163.285	16.645	473.756

Se empleó el espectro de análisis mostrado, siguiendo indicaciones de la Norma Técnica e.030 de Diseño Sismorresistente.

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} g$$

El espectro se expresa en dos factores: una función espectral y un factor de escala, como se muestra a continuación:

$$\text{Factor de escala X} = FE = \frac{ZUSg}{R} = 1.009$$

$$\text{Factor de escala Y} = FE = \frac{ZUSg}{R} = 0.883$$

Función Espectral = CS

A continuación se muestran los desplazamientos del análisis dinámico de un elemento flexible de sección de 0.01x0.01m y módulo de tal manera de obtener las derivas inelásticas y determinar la dimensión mínima de las columnas.

Podemos apreciar que trabajando con una columna de 0.25x0.45m y 0.25x0.60. Alcanzamos una deriva muy cercana al límite tolerable que hemos considerado ($\Delta/h_e=0.01$). En el segundo nivel. En la tabla se aprecia las cortantes basales obtenidas de los análisis estático y dinámico.

Cortantes (ton)	Análisis Estático	Análisis Dinámico	80% V estático
Dirección X	250.219	245.215	200.00
Dirección Y	227.600	215.415	182.08

4.3. MODELO INELASTICO

4.4. REPRESENTACION DEL PELIGRO SISMICO.

El peligro sísmico se representa por espectros de demanda para cada nivel de sismicidad, para obtener estos espectros se debe de identificar primero la aceleración máxima en cada nivel de peligro. De acuerdo a los estudios de peligro esta aceleración en roca sería la mostrada en la tabla.

Sismo de Diseño		Aceleración asociada para la costa del Perú (g)
Sismos Frecuentes	SF	0.20
Sismos Ocasionales	SO	0.25
Sismos Raros	SR	0.40

Para construir los espectros de demanda se usaron espectros de aceleración cuya forma se tomó de la propuesta de Uniform Building Code UBC (figura 4.4 a), la misma que corresponde a terremotos de subducción.

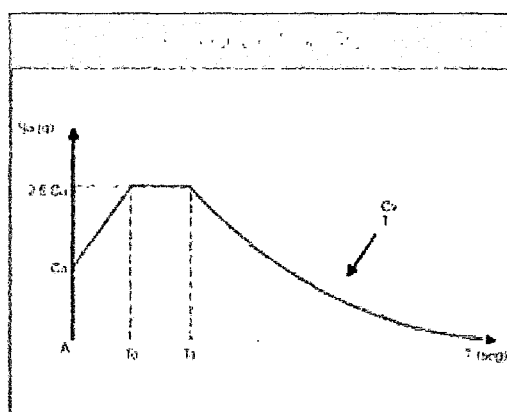


Fig. 4.4 a Espectro de la UBC

En este espectro esquemático del UBC, los términos independientes son C_a y C_v y los periodos singulares (T_0 y T_s) satisfacen las siguientes relaciones:

$$T_s = \frac{C_v}{2.5 C_a} \quad T_0 = 0.2 T_s$$

El espectro de la Norma Peruana (SENCICO 2003) corresponde a un evento de 500 años de periodo de retorno con una aceleración pico de 0.4g para la costa peruana con suelo bueno. El factor de amplificación de la Norma Peruana es de 2.5 y el fin de la plataforma corresponde a 0.4 seg. La figura 4.4.b muestra el espectro elástico de la Norma Peruana.

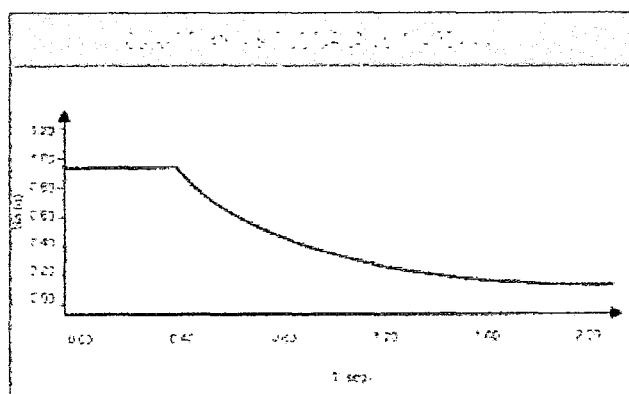


Fig. 4.4 b Espectro Elástico de la Norma Peruana

Para relacionar este espectro con el esquema del UBC se determinó que los valores C_a y C_v son 0.4. La figura 4.4.c muestra el espectro obtenido empleando el esquema UBC.

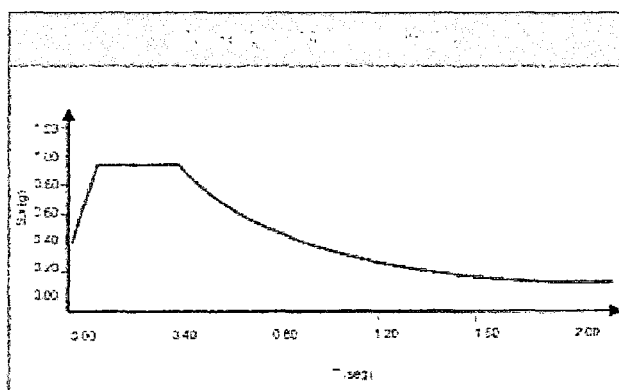


Fig. 4.4 c Espectro de UBC Sismo Raro

Como se puede observar ambos espectros son coincidentes salvo en la zona de periodos muy cortos en la cual el espectro de la Norma Peruana E-030 no refleja tendencia hacia la aceleración pico del suelo. La tabla 4.4.d presenta los valores de C_a y C_v encontrados para cada uno de los sismos.

Sismo de Diseño		Aceleración asociada para al Perú (g)	Cv	Ca
Sismos Frecuentes	SF	0.20	0.20	0.20
Sismos Ocasionales	SO	0.25	0.25	0.25
Sismos Raros	SR	0.40	0.40	0.40

Tabla. 4.4 d Equivalencia de la Norma Peruana con la propuesta de la UBC

Finalmente se obtuvieron los espectros de aceleración para los 3 niveles de sismicidad en la figura 4.4.e y luego los espectros de demanda que se muestran en la figura 4.4 f

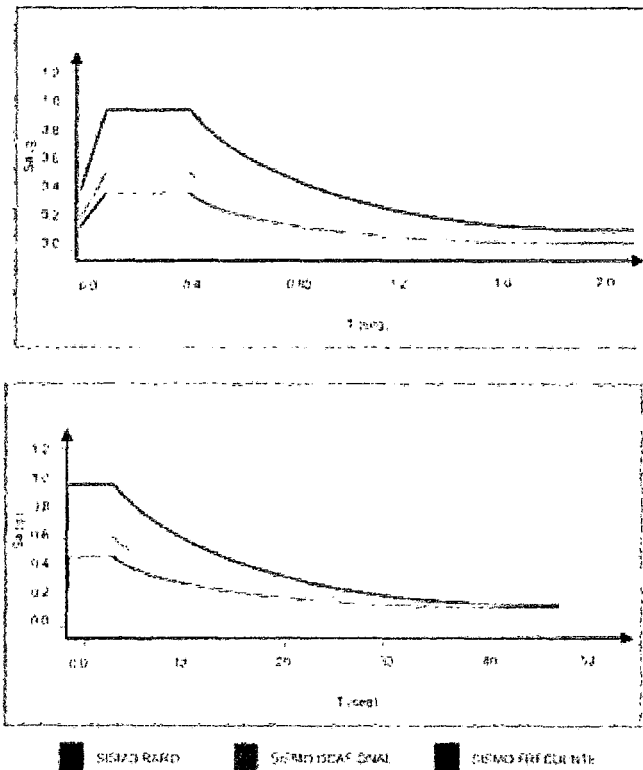


Fig. 4.4 e / Figura 4.4 f

Sismo Raro: línea roja - Sismo Ocasional: línea verde - Sismo Frecuente: línea celeste

4.5. CLASIFICACION DE DESEMPEÑO.

La tabla 4.5.a muestra el comportamiento de la estructura del edificio en la dirección transversal (X-X) para los tres niveles de demanda sísmica.

		Operacional	Funcional	Resguardo de la vida	Cerca al Colapso
Nivel de Demanda	Sismo Frecuente				
	Sismo Ocasional				
	Sismo Raro				

Tabla 4.5.a Matriz de Desempeño Sísmico para la dirección transversal del edificio.

La tabla 4.5.b muestra el comportamiento de la estructura del edificio en la dirección longitudinal (Y-Y) para los tres niveles de demanda sísmica

		Operacional	Funcional	Resguardo de la vida	Cerca al Colapso
Nivel de Demanda	Sismo Frecuente				
	Sismo Ocasional				
	Sismo Raro				

Tabla 4.5.b Matriz de Desempeño Sísmico para la dirección longitudinal del edificio.

Estos resultados muestran que para un evento frecuente ($T_r=50$ años) el edificio quedaría ligeramente más allá del rango elástico con pequeños daños en la dirección X-X y para la dirección Y-Y el edificio quedaría sin daño alguno ya que su desempeño sería operacional para dicho evento. Para eventos ocasionales la deriva alcanzada en ambas direcciones indica que el edificio tendría incursiones inelásticas pero quedaría funcional. Para eventos mayores la deriva alcanzada en la dirección X-X indica que el edificio estaría cerca al colapso con daños severos y para la dirección Y-Y el edificio resguardará la vida de sus ocupantes con daños moderados.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES

EDIFICIO EN ESTUDIO

- ✚ Al mantener la deriva por debajo de 10 por mil se obtienen dimensiones de 0.25x0.60; siendo dimensiones mucho menores a las que se hubieran obtenido con un diseño basado en el actual código peruano sismorresistente.
- ✚ La capacidad a flexión de las columnas respecto de las vigas concurrentes en un nudo fue mayor al mínimo exigido por la norma de concreto, encontrándose valores entre 1.4 y 3.
- ✚ El resultado de la curva demanda-capacidad nos muestra que para un edificio con una deriva de 10 por mil, el punto de demanda para sismos frecuentes se encuentra en el límite entre el rango elástico e inelástico de la curva.
- ✚ El punto de demanda del sismo raro de diseño no se ubicara en una sola etapa de la curva de capacidad (zona funcional); sino se ubicara en los diferentes sectores de la clasificación del SEAOC.

CAPITULO VI

REFERENCIAS

1. BERTERO, R. BERTERO V. 2001 "Ingeniería Sísmica basada en el Desempeño de las Construcciones", 2° Congreso Iberoamericano de Ingeniería Sísmica, España
2. HAMBURGER, R.O. 1996, "Performance-Based Seismic Engineering: The Next Generation of Structural Engineering Practice", EQE Reference Center. USA
3. PIQUE DEL POZO, J. 1995 "Reglas de Buena Práctica. Norma: Norma Peruana", Cuzco -Perú
4. SEAOC, 1995, "Performance Based Seismic Engineering of Buildings", SEAOC-Vision 2000- California
5. COLLINS, K. R., 1998, " Reliability-Based Design in the Context of Performance-Based Design " Structural Engineering World Wide", SEI-ASCE
6. HAMBURGER, R.O. 2001, "State of Performance Based-Engineering in the United States", EQE Internacional, Inc. USA
7. OKADA, T. HIRAISHI, H. OHASHI Y. FUJITANI, H. AOKI, Y. AKIYAMA, H. YANO, K. 2000, " A New Framework for Performance-Based Design of Building Structures " Thulve Conference on Earthquake Engineering. Paper 2098. New Zealand
8. AOKI, Y. OHASHI, Y. FUJITANI, H. SAITO, T. KANDA, J. EMOTO, T. KOHNO, M. 2000, " Target Seismic Performance Levels in Structural Design for Buildings " Thulve Conference on Earthquake Engineering. Paper 0652. New Zealand

9. FUJITANI H., TANI, A. AOKI, Y. TAKAHASHI, I. 2000, " Performance Levels of Buildings Structures Against the Earthquake (Concept of Performance-Based Design Standing on Questionnaires) " Thuelve Conference on Earthquake Engineering. Paper 1682. New Zealand
10. TAKAHASHI, I. FUJITANI, H. TANI, A. 2000, " Opinion Of User and Owners About Safety Performance of Buildings Structure (Concept of Performance- Based Design Standing on Questionnaires) " Thuelve Conference on Earthquake Engineering. Paper 1976. New Zealand
11. AKIYAMA, H. TESHIGAWARA, M. FUKUYAMA, H. 2000, " A Framework of Structural Performance Evaluation System for Buildings in Japan " Thuelve Conference on Earthquake Engineering. Paper 2171. New Zealand
12. MIDORIKAWA, M. TESHIGAWARA, M. GOJO, W. OKAWA, I. 2000, " Performance-Based Building Code of Japan -Framework of Seismic and Structural Provisions " Thuelve Conference on Earthquake Engineering. Paper 2293. New Zealand
13. YANO, K. HIRANO, Y. GOJO, W. 2000, " Social System For Performance Based Design (P.B.D.) Of Building Structures - Its Perspective And Key Elements " Thuelve Conference on Earthquake Engineering. Paper 0688. New Zealand
14. NORMA TECNICA DE EDIFICACION E-030, 1997. "Diseño Sismorresistente", MTC, Lima - Perú
15. KRAWINKLER, H. 1999, "Challenges and Progress in Performance-Based Earthquake engineering", Internacional Seminar on Seismic Engineering for tomorrow - In honor of Profesor Hirohi Akiyama, Tokio, Japan
16. SAC JOINT VENTURE 2000, "Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Building", Report. No.FEMA 350, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
17. KRAWINKLER, H. 1998, "Issues and Challenges in Performance-Based Seismic Design", Structural Engineering World Wide", SEI-ASCE
18. CEE 227- Earthquake Engineering, "Seismic Performance Goals", U.C. Berkeley
19. BERTERO, V. 2000, " Performance-Based Seismic Engineering: convencional vs innovative approaches " Thuelve Conference on Earthquake Engineering. Paper 2074. New Zealand

20. SAHPIRO, D. REAVELY, L.D. ROJAHN, C. HOLMES W.T. MOEHLE, J. HAMBURGER, R.O. MEHRAN, M. 1998, "Performance Based Engineering Design for Seismic Rehabilitation of existing Buildings", Structural Engineering World Wide", SEI-ASCE
21. COLLINS, K. R. STOJADINOVIC B., 2000, " Limit State for Performance- Based Design " Thelue Conference on Earthquake Engineering. Paper 0716. New Zealand
22. ELLINGWOOD B. R., 1998, " Reliability-Based Performance Concept for Building Construction" Structural Engineering World Wide", SEI-ASCE
23. AKKAR, S. GULKAN, P. 2000, "Comparative Performance Evaluation of Displacement Basic Design Procedures for Near Field Earthquakes", Thelue Conference on Earthquake Engineering. Paper 0444. New Zealand
24. MIDORIKAWA, M. HIRAISHI, H. OKAWA, I. HBA M. TESHIGAWARA, M. ISODA, H.. 2000, "Development of Seismic Performance Evaluation Procedures in Building Code of Japan", Thelue Conference on Earthquake Engineering. Paper 2215. New Zealand
25. MATSUSHIMA, Y. TESHIGAWARA, M. KATO, M. SUGAYA, K. 2000, " Seismic Performance Evaluation Method for a Building with Center Core Reinforced Concrete Walls and Exterior Steel Frame", Thelue Conference on Earthquake Engineering. Paper 2143. New Zealand
26. KURAMOTO, H. TESHIGAWARA, M. OKUZONO, T. KOSHIKA, N. TAKAYAMA, M. HORI, T. 2000, " Predicting the Earthquake Response of Building Using Equivalent Single Degree of Freedom System", Thelue Conference on Earthquake Engineering. Paper 1039. New Zealand
27. VAMVATSIKOS, D. CORNELL, C.A. 2001 " The Incremental Dynamic Analysis and its Application to Performance-Based Earthquake Engineering", 12th European Conference on Earthquake Engineering
28. RODRIGUEZ, M. RODRIGUEZ, V. 2000 " Performance-Based Earthquake- Resistant Design of Confined Masonry Walls" Thelue Conference on Earthquake Engineering. Paper 1955. New Zealand
29. PRIESTLEY, M.J.N. 2000 "Performance Based Seismic Design" Thelue Conference on Earthquake Engineering. Paper 2831. New Zealand
30. COURT, A.B. KOWALSKY, M.J. 1998, " Performance-Based Engineering of Building - A Displacement Design Approach" Structural Engineering World Wide", SEI-ASCE

31. YAMAWAKI, K. KITAMURA, H. TSUNEKI, Y. MORI, N. FUKAI, S. 2000, " Introduccion of a Performance-Based Design " Thuelve Conference on Earthquake Engineering. Paper 1511. New Zealand
32. APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL (ATC) 1997, "NEHRP Guidelines for Seismic Rehabilitation of Building", Report. No.FEMA 273, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
33. OTANI, S. (2001) "New Seismic Design Provision in Japan". Departament of Architecture. University of Tokyo, Japan.
34. SEUNG-YUL YUN, HAMBURGER, R. CORNELL, A. FOUTCH, D. (2001) "Seismic Performance Evaluation for Steel Moment Frame". Members, ASCE
35. ILEVEN CONFERENCE ON EARTHQUAKE ENGINEERING, 1996, 11WCEE, méxico.
36. THUELVE CONFERENCE ON EARTHQUAKE ENGINEERING 12WCEE, 2000, New Zeland
37. STRUCTURAL ENGINEERING WORLD WIDE, 1998. SEI ASCE
38. EVANS REIS, 2001 "the changing Face of Structural Engineering".CEE-100 Stanford University
39. HAMBURGER R, FOOUTH D., CORNELL C.,2000 "Performance Basis of Guidelines for Evaluation, Upgrade and Design of Moment-Resistant Steel Frames" Thuelve Conference on Earthquake Engineering, New Zeland, paper 2543
40. BERTERO V., 1992 "Lecciones Aprendidas de Terremotos Catastróficos Recientes y otras Investigaciones". Primera Conferencia Internacional Torroja- Madrid, Monografía 410 - 411.
41. PATRICIA GIBU, CÉSAR SERIDA; 1993 "muro de Albañilería Confinada Sujeto a Carga Lateral".FIC-UNI
42. GALLEGOS H,. 1991 "Albañilería Estructural".PUCP
43. ATC-40, 1996 "Seismic Evaluation and Retrofit of Concret Buildings". Seismic Safety Comission. California.

PANEL FOTOGRAFICO:

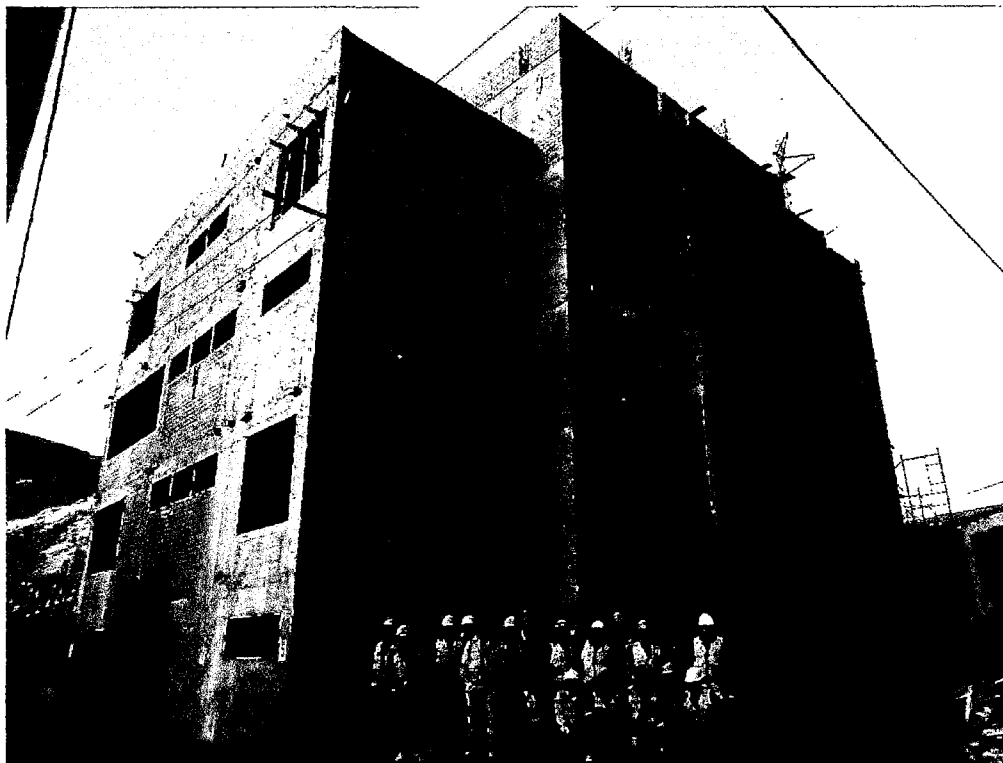


Fig. 01. CONSTRUCCION C. S. SAN CRISTOBAL.

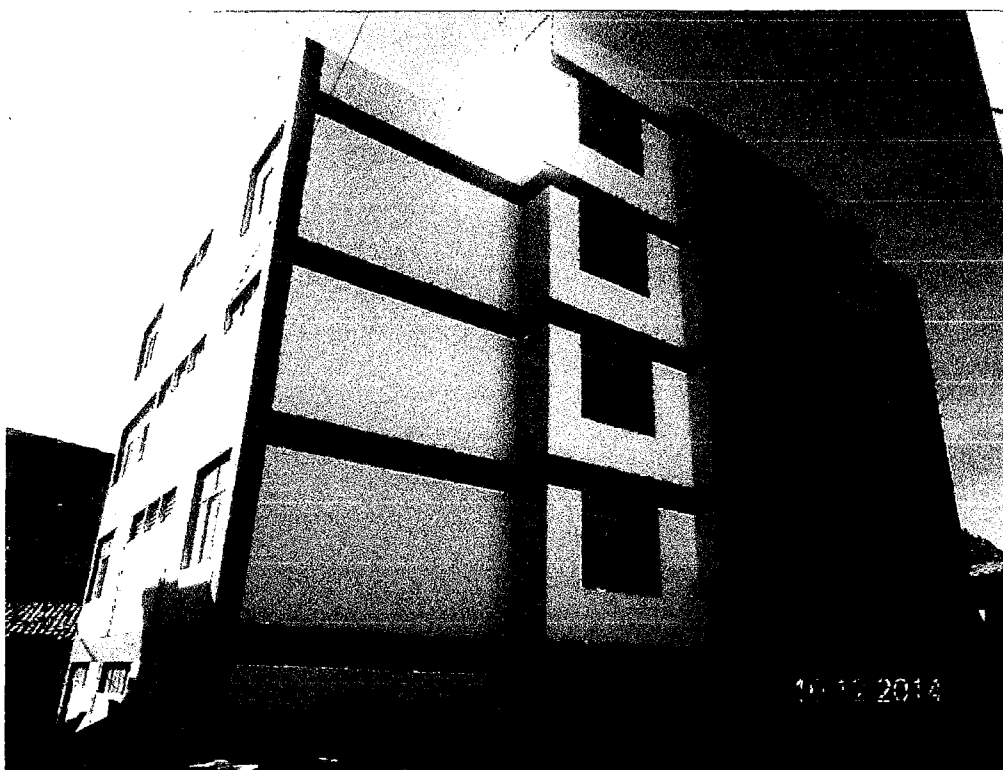


Fig. 02. C. S. SAN CRISTOBAL.