

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE DEL EDIFICIO
DEL CENTRO PRE UNIVERSITARIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL
DE CAJAMARCA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

**PRESENTADO POR:
JOSÉ TERMÓFILO SOTO ORRILLO**

ASESOR

Ing MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO

CAJAMARCA - PERÚ

2015

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE DEL
EDIFICIO DEL CENTRO PRE UNIVERSITARIO DE LA UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CAJAMARCA”**

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

ASESOR:

Dr. Ing. MIGUEL ÁNGEL MOSQUEIRA MORENO

PRESENTADA POR:

JOSÉ TERMÓFILO SOTO ORRILLO

CAJAMARCA – PERÚ

2015

AGRADECIMIENTO

Quiero dirigir mi más sincero agradecimiento a mi asesor el Doc. Miguel Ángel Mosqueira Moreno, ya que tuve el privilegio y la buena fortuna de elaborar la presente tesis bajo su supervisión y asesoramiento. A mis familiares y amigos por brindarme su amistad y apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida.

DEDICATORIA

A mis padres José Soto y Clementina Orrillo por ser un ejemplo en mi vida de amor incondicional, y ser la fuerza que me impulsa a seguir adelante para ser feliz cada día de mi vida.

A mis hermanos y hermanas por su gran amor fraternal.

A mis amigos y amigas, que son la familia que la vida me dio la oportunidad de elegirles y formen parte de ella.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	i.
DEDICATORIA.....	ii.
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	10
PALABRAS CLAVES	10
ABSTRACT	11
KEY WORDS	11
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 INTRODUCCIÓN.....	13
1.2 PROBLEMA.....	13
1.3 PREGUNTA PRINCIPAL.....	14
1.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	14
1.4.1 HIPÓTESIS GENERAL.....	14
1.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICA	14
1.5 JUSTIFICACIÓN O IMPORTANCIA DEL PROBLEMA.....	15
1.6. ALCANCES O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
1.7 OBJETIVOS	16
1.7.1 OBJETIVO GENERAL.....	16
1.7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 ANTECEDENTES TEÓRICAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
2.2 BASES TEÓRICAS	20
2.2.1 DISEÑO SISMORRESISTENTE	20
2.2.2 DISEÑO BASADO EN EL DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE	24
2.2.3 NIVELES DE DESEMPEÑO SÍSMICO.....	28
2.2.3.1 NIVELES DE DESEMPEÑO SÍSMICO	28
2.2.4. ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL.....	34
2.2.5 EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE LA ESTRUCTURA.....	48
2.2.6 ESTIMACIÓN DEL PUNTO DE DESEMPEÑO	51
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	54
2.3.1 CAPACIDAD.....	54
2.3.2 CURVA DE CAPACIDAD	54
2.3.3 DEMANDA.....	54
2.3.4 DERIVA DE ENTREPISO.....	55
2.3.5 DESEMPEÑO ESTRUCTURAL	55

2.3.6	DIAGRAMA MOMENTO GIRO	55
2.3.7	EDIFICACIONES ESENCIALES	55
2.3.8	ESPECTRO DE CAPACIDAD	56
2.3.9	ESPECTRO DE DEMANDA	56
2.3.10	NIVEL DE DESEMPEÑO.....	56
2.3.11	NUDO DE CONTROL DE DESPLAZAMIENTO	56
2.3.12	PUNTO DE DESEMPEÑO	56
2.3.13	RÓTULA PLÁSTICA.....	56
2.3.14	RELACIÓN MOMENTO CURVATURA.....	57
2.3.15	PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DEL DIAGRAMA DE MOMENTO CURVATURA DE RÓTULAS PLÁSTICAS	57
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS		59
3.1	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	60
3.1.1	PROPIEDADES Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CONCRETO	60
3.1.2	PROPIEDADES Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ACERO.....	61
3.2	PROCEDIMIENTO, TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	61
3.2.1	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS Y DISEÑO POR DESEMPEÑO EN CONCRETO ARMADO ⁶¹	
3.2.2	DIAGRAMAS DE MOMENTO GIRO	63
3.2.3	OBTENCIÓN DEL ESPECTRO DE RESPUESTA	63
a)	FACTOR DE ZONA (Z)	63
b)	FACTOR DE SUELO (S).....	64
c)	FACTOR DE AMPLIFICACIÓN SÍSMICA (C)	64
d)	FACTOR DE USO E IMPORTANCIA (U)	64
e)	COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE SOLICITACIONES SÍSMICAS (R)	66
f)	DETERMINACIÓN DE LA ACELERACIÓN ESPECTRAL	67
3.2.4	CURVAS DE CAPACIDAD DE LA ESTRUCTURA	69
3.2.4.1	CURVA DE CAPACIDAD PARA EL SISMO EN DIRECCIÓN DEL EJE X.....	70
3.2.4.2	CURVA DE CAPACIDAD PARA EL SISMO EN DIRECCIÓN DEL EJE Y.....	74
3.2.5	DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE DESEMPEÑO SÍSMICO	77
3.2.5.1	PUNTOS DE DESEMPEÑO DE LA ESTRUCTURA PARA SISMO EN X.....	78
3.2.5.2	PUNTOS DE DESEMPEÑO DE LA ESTRUCTURA PARA SISMO EN Y.....	78
3.2.5.3	NIVELES DE DESEMPEÑO PARA LOS SISMOS APLICADOS EN LA DIRECCIÓN X.....	79
3.2.5.4	NIVELES DE DESEMPEÑO PARA LOS SISMOS APLICADOS EN LA DIRECCIÓN Y.....	81
3.2.6	DESPLAZAMIENTOS LATERALES Y DERIVAS	84
3.2.6.1	DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS PARA SISMOS DIRECCIÓN X.....	84

3.2.6.2	DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS PARA SISMOS DIRECCIÓN Y	88
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		93
4.1.	NIVELES DE DESEMPEÑO ALCANZADO	94
4.2.	DERIVAS DE ENTREPISO DE LA ESTRUCTURA.....	96
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		97
5.1	CONCLUSIONES	98
5.2	RECOMENDACIONES.....	99
BIBLIOGRAFÍA		100
ANEXOS		102

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2. 1. COMPARACIÓN DE DISEÑO CONVE 1 COMPARACIÓN DE DISEÑO CONVENCIONAL Y NUEVO DISEÑO SISMORRESISTENTE (MINISTERIO DE CONSTRUCCIÓN DEL JAPÓN, 1998).....	23
TABLA 2. 2. Características de los estados de daño asociados a cada nivel de desempeño. (Fuente: SEAOC).....	30
TABLA 2. 3. Tabla 2.3. Características de los estados de daño asociados a cada nivel de desempeño. (Fuente: ATC-40, Tomo I).....	33
TABLA 2. 4. Características Probabilísticas de Ocurrencia de los Sismos de Diseño (Fuente: Muñoz, 1999).....	36
TABLA 2. 5. Aceleración máxima en roca para los sismos de diseño en la costa oeste de América del Sur (Fuente: Muñoz, 1999).....	36
TABLA 2. 6. Equivalencia de la Norma Peruana con la propuesta de la UBC (Fuente: Muñoz, 1999).....	38
TABLA 2. 7. Niveles recomendados de desempeño esperado para edificaciones (Fuente: SEAOC, 1995).....	39
TABLA 2. 8. Descripción de los Daños Asociados a cada Nivel de Desempeño (Fuente: SEAOC, 1995).....	49
TABLA 2. 9. Descripción de los Daños Asociados a cada Nivel de Desempeño (Fuente: elaboración propia).....	50
TABLA 3. 1. Categoría de las edificaciones. Fuente: Norma Técnica E-030.....	65
TABLA 3. 2. Coeficiente de reducción (R). Fuente: Norma Técnica E-030.....	66
TABLA 3. 3. Valores de la aceleración espectral y de los coeficientes de amplificación.....	68
TABLA 3. 4. Valores de los representativos de la curva de capacidad.....	70
TABLA 3. 5. Límites de los rangos elástico y plástico según la curva de capacidad.....	73
TABLA 3. 6. Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño.....	73
TABLA 3. 7. Valores de desplazamiento para cada nivel de desempeño.....	74
TABLA 3. 8. Valores de los representativos de la curva de capacidad.....	74
TABLA 3. 9. Límites de los rangos elástico y plástico según la curva de capacidad.....	76
TABLA 3. 10. Valores de desplazamiento para cada nivel de desempeño.....	77
TABLA 3. 11. Niveles de Desempeño Alcanzados por Edificaciones Esenciales para los sismos indicados.....	77
TABLA 3. 12. Coeficientes sísmicos para cada sismo.....	78
TABLA 3. 13. Puntos de desempeño (dirección X) para los sismos indicados.....	78
TABLA 3. 14. Puntos de desempeño (dirección Y) para los sismos indicado.....	79
TABLA 3. 15. Desplazamiento de los puntos de desempeño.....	79
TABLA 3. 16. Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño (Sismo en X).....	79

TABLA 3. 17. Comparación entre los niveles alcanzados para sismos en X y los niveles según la SEAOC.....	81
TABLA 3. 18. Desplazamiento de los puntos de desempeño alcanzados para cada sismo	81
TABLA 3. 19. Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño (Sismo en Y)	82
TABLA 3. 20. Comparación entre los niveles alcanzados para sismos en Y y los niveles según la SEAOC.....	83
TABLA 3. 21. Deriva para el espectro calculado según norma E-030 en dirección X.....	84
TABLA 3. 22. Deriva para sismo ocasional en dirección X	85
TABLA 3. 23. Deriva para sismo raro en dirección X	86
TABLA 3. 24. Deriva para sismo muy raro en dirección X	87
TABLA 3. 25. Deriva para sismo calculado según norma E-030 en dirección X.....	88
TABLA 3. 26. Deriva para sismo ocasional en dirección Y	89
TABLA 3. 27. Deriva para sismo raro en dirección Y	90
TABLA 3. 28. Deriva para sismo muy raro en dirección Y	91

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2. 1 ESQUEMA DEL PROCESO DEL ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL.....	35
FIGURA 2. 2. Espectro de la Uniform Building Code (UBC)	37
FIGURA 2. 3. Espectro Elástico de la Norma Peruana	37
FIGURA 2. 4. Espectro de la UBC para sismo raro.....	38
FIGURA 2. 5. Patrones de Carga Lateral.....	40
FIGURA 2. 6. Desplazamientos de entrepiso y nudo de control	40
FIGURA 2. 7. Acción de Cargas de Gravedad sobre la estructura	41
FIGURA 2. 8. Representación del Análisis Incremental de Cargas Laterales y de la Curva de Capacidad.....	41
FIGURA 2. 9. Criterio de la rigidez tangente horizontal.....	42
FIGURA 2. 10. Criterio de las Rigideces Tangentes	43
FIGURA 2. 11, Criterio de las Áreas Iguales.....	43
FIGURA 2. 12. Criterio de las Áreas Iguales Bajo la Curva	44
FIGURA 2. 13. Criterio de las Áreas Iguales Bajo la Curva	44
FIGURA 2. 14. Secuencia para la obtención del Espectro de Capacidad (Adaptado de la ATC-40).....	46
FIGURA 2. 15. Espectro de Demanda	47
FIGURA 2. 16. Secuencia para la obtención del Espectro de Demanda (Adaptado de ATC-40)	48
FIGURA 2. 17. Sectorización de la Curva de Capacidad. (Fuente: SEAOC, 1995)	50
FIGURA 2. 18. Punto de Desempeño en el Rango Elástico	51
FIGURA 2. 19. Estimación Incorrecta del Punto de Desempeño en el Rango Plástico	51
FIGURA 2. 20. Reducción del Espectro de Demanda Elástico (Fernández, 2006).....	53
FIGURA 2. 21. Intersección del Espectro de Capacidad y el EDAV (L. Cocco, L. Suárez, M. Ruíz, 2010).....	54
FIGURA 3. 1. Espectro de respuesta calculado.	68
FIGURA 3. 2. Curva de Capacidad (Sismo en X).....	71
FIGURA 3. 3. Formación de rótulas en SAP 2000 (Sismo en X).....	71
FIGURA 3. 4. Sectorización de la Curva de Capacidad para el Sismo en X.	72
FIGURA 3. 5. Curva de Capacidad (Sismo en Y).....	75
FIGURA 3. 6. Formación de rótulas en SAP 2000 (Sismo Y)	75
FIGURA 3. 7. Sectorización de la Curva de Capacidad para el Sismo en Y.....	76
FIGURA 3. 8. Desplazamientos laterales y derivas de entre piso para el espectro de respuesta según E-030 (Dirección X)	85
FIGURA 3. 9. Desplazamientos laterales y derivas de entre piso sismo ocasional (Dirección X)	86
FIGURA 3. 10. Desplazamientos laterales y derivas de entre piso sismo raro (Dirección X)....	87

FIGURA 3. 11. Desplazamientos laterales y derivas de entre piso sismo muy raro (Dirección X)	88
FIGURA 3. 12. Desplazamientos laterales y derivas de entre piso para el espectro de respuesta según E-030 (Dirección Y).....	89
FIGURA 3. 13. Desplazamientos laterales y derivas de entre piso para sismo ocasional (Dirección Y).....	90
FIGURA 3. 14. Desplazamientos laterales y derivas de entre piso para sismo raro (Dirección Y)	91
FIGURA 3. 15. Desplazamientos laterales y derivas de entre piso para sismo muy raro (Dirección Y).....	92

RESUMEN

Cajamarca está comprendida entre una de las regiones de más alta actividad sísmica que existe en el Perú (ZONA: III), por lo tanto está expuesto a este peligro, que trae consigo la pérdida de vidas humanas y pérdidas materiales. Es por eso que en esta investigación se evaluará el nivel de desempeño sismorresistente del edificio del Centro Preuniversitario de la Universidad Nacional de Cajamarca, a fin de garantizar su operatividad durante actividades sísmicas.

El procedimiento a utilizar es el propuesto por la Applied Technology Council (ATC), en su documento ATC-40 emitido en el año 1996 y por la SEAOC (Structural Engineers Association of California) .El procedimiento usado es el Análisis Estático No Lineal (AENL).

En conclusión con los resultados tenemos que los niveles de desempeño alcanzados por el espectro de respuesta calculado según la norma E-030, el sismo ocasional, el sismo raro y el sismo muy raro, aplicados en la dirección X, cumplen con los parámetros establecidos en la SEAOC; Siendo el punto de fluencia efectiva según la curva de capacidad del sismo aplicado en la dirección X; (0.0431 Metros, 295.87 Toneladas). Los niveles de desempeño alcanzados por el espectro de respuesta calculado según la norma E-030, el sismo ocasional y el sismo muy raro, aplicados en la dirección Y, cumplen con los parámetros establecidos en la SEAOC; De lo contrario pasa con el sismo raro el cual no cumple con los parámetros establecidos en la SEAOC; Siendo el punto de fluencia efectiva según la curva de capacidad del sismo aplicado en la dirección Y; (0.0431 Metros, 295.87 Toneladas).

PALABRAS CLAVES

Nivel de desempeño, sismo resistente, operatividad, análisis estático no lineal, modelamiento, cargas sísmicas, cargas gravitatorias, rango elástico, espectro de demanda, espectro de capacidad.

ABSTRACT

Cajamarca is between a region of high seismic activity that exists in Peru (AREA: III), therefore is exposed to this danger, which entails the loss of human lives and material losses. That's why in this research the level of seismic performance of building Pre-university Center of the National University of Cajamarca, in order to ensure its operation during seismic activities will be evaluated.

The procedure used is the one proposed by the Applied Technology Council (ATC) in the ATC-40 document issued in 1996 and the SEAOC (Structural Engineers Association of California) .The process used is Nonlinear Static Analysis (AENL).

In conclusion with the results we have achieved performance levels by the response spectrum calculated by the E-030 standard, the occasional earthquake, the earthquake and rare earthquake rarely applied in the X direction, meet the parameters set in SEAOC; It is the effective yield point according to the earthquake capacity curve applied in the X direction; (0.0431 meters, 295.87 tons). The performance levels achieved by the response spectra calculated according to the E-030 standard, the occasional earthquake and rare earthquake, applied in the Y direction, meet the parameters established in the SEAOC; Otherwise about the rare earthquake which does not meet the parameters established in the SEAOC; It is the effective yield point according to the earthquake capacity curve applied in the Y direction; (0.0431 meters, 295.87 tons).

KEY WORDS

Level of performance, earthquake resistant, operation, nonlinear static analysis, modeling, seismic loads, gravity loads, elastic range, spectrum demand, capacity spectrum.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

La necesidad de proveer métodos prácticos para predecir el comportamiento no-lineal de las estructuras en el diseño ingenieril ha sido el objetivo de numerosas investigaciones en las últimas décadas. Los procedimientos conocidos como ATC-40 y FEMA-356, respectivamente, incorporan el análisis estático no-lineal con el objetivo de estimar la demanda que imponen los sismos sobre las estructuras y mejorar la precisión de los métodos tradicionales de diseño que utilizan técnicas de análisis lineal con espectros reducidos u otras técnicas similares.

En este sentido, se ha impulsado una serie de propuestas para la evaluación y diseño de edificaciones basadas en los conceptos de desempeño sísmico, donde la aceptación de los diferentes niveles de daños se determina basada en la frecuencia con los cuales estos daños ocurren y en las consecuencias que tienen sobre los usuarios y la comunidad. Dentro de esta concepción identificada o definida como un diseño basado en el desempeño sísmico, se engloban aquellas metodologías según los cuales los criterios estructurales se expresan en términos de determinados niveles de desempeño esperados.

La presente investigación se realizó con el fin de evaluar el desempeño sismorresistente del edificio del centro pre universitario de la universidad nacional de Cajamarca, esto se logró evaluando de manera en que la estructura va incursionando en el rango plástico, al aplicar cuatro niveles diferentes de amenaza sísmica.

1.2 PROBLEMA

Cajamarca está comprendida entre una de las regiones de más alta actividad sísmica que existe en el Perú (ZONA: III), por lo tanto está expuesto a este peligro, que trae consigo la pérdida de vidas humanas y pérdidas materiales.

El Centro de Estudios Pre Universitarios de la Universidad Nacional de Cajamarca, forma parte de la infraestructura que tiene el estado para impartir educación a la población. Dado que esta edificación presta un

servicio público tan importante, se debe evaluar cuidadosamente su desempeño sísmico a fin de garantizar su operatividad durante sismos extremos.

En los últimos años, una de las principales líneas de investigación de la ingeniería sismoresistente a nivel mundial es la de encontrar un procedimiento que sea sencillo y que cumpla con determinar el desempeño de una edificación ante diferentes acciones sísmicas.

El alto riesgo sísmico en el que se encuentran las edificaciones y con la finalidad de evitar hechos lamentables. Se hace imprescindible la evaluación por desempeño sismoresistente para determinar la demanda sísmica en edificaciones existentes de concreto armado.

1.3 PREGUNTA PRINCIPAL

¿Cuál es el nivel de desempeño sísmico del centro de estudios pre universitarios de la universidad Nacional de Cajamarca?

1.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 HIPÓTESIS GENERAL.

✓ El desempeño de la estructura del Edificio del Centro Pre Universitario de la Universidad Nacional de Cajamarca se encuentra dentro de los niveles recomendados para cada sismo de diseño según la ATC-40.

1.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICA

✓ Los elementos estructurales incursionan en el rango plástico para tipo de sismo muy raro según ATC-40.

✓ Los puntos de desempeño se encuentran dentro de los rangos establecidos por la SEAOC.

1.5 JUSTIFICACIÓN O IMPORTANCIA DEL PROBLEMA

La importancia de la investigación radica en que se evaluará el desempeño sismorresistente del edificio del Centro Pre Universitario de la Universidad Nacional de Cajamarca, frente a la ocurrencia de sismos que proponen las normativas, así como también se determinará la forma en que dicha estructura incursionaría en el rango plástico ante dichos sismos. Con la realización de la presente investigación se puede predecir e identificar la secuencia del agrietamiento, cedencia y fallo de los componentes y los niveles de desempeño.

1.6. ALCANCES O DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación pretende mostrar la forma en la que la estructura del edificio del Centro Pre Universitario de la Universidad Nacional de Cajamarca, propuesta para el análisis se comportaría frente a la ocurrencia de un evento sísmico y evaluar la forma en la que dicha estructura incursionaría en el rango no lineal o plástico y poder conocer la secuencia de ésta incursión (primer agrietamiento, fluencia y falla de los elementos de la estructura).

El análisis para determinar el desempeño de la investigación (Análisis Estático No Lineal o Análisis Pushover) se basará en criterios tomados de procedimientos propuestos por instituciones como la ATC (Applied Technology Council) y la SEAOC (Structural Engineers Association of California).

La principal limitación de la investigación es que los resultados obtenidos dependerán de variables como las propiedades de los elementos estructurales y de la demanda sísmica que se filtre en el modelo y no dependerá de la forma en que la estructura interactúe con el terreno de fundación, ya que el análisis a realizar no contempla este importante concepto.

1.7 OBJETIVOS

1.7.1 OBJETIVO GENERAL

- ✓ Evaluar el desempeño sismorresistente del edificio del centro preuniversitario de la Universidad Nacional de Cajamarca.

1.7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Reconocer los puntos críticos de la estructura.
- ✓ Determinar los puntos de desempeño asociados a los sismos de diseño aplicados en el modelo estructural.
- ✓ Verificar si los desplazamientos de entrepiso obtenidos se encuentran dentro de los límites permisibles propuestos por la Norma E-030.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICAS DE LA INVESTIGACIÓN

La experiencia de sismos recientes ha puesto en evidencia una importante limitación del enfoque implícito en los códigos de diseño sísmico hasta ahora empleados; el desempeño de una edificación durante un sismo no está dado de manera explícita en estos códigos y los enfoques empleados no conducen aun eficiente control de los daños ni a una plena satisfacción de la filosofía de diseño sismorresistente (Bartero, 1992).

La aplicación del Análisis Estático No Lineal (Análisis Pushover) ha sido reconocida y usada ampliamente en todo el mundo como una herramienta potente e importante para calcular e investigar el desarrollo de los desplazamientos del nivel superior de una edificación en relación al cortante basal inducido, esto mediante la aplicación de fuerzas laterales equivalentes con incrementos monolíticos y con invariante distribución a través del desarrollo de toda la altura del edificio; lo que permite desarrollar la capacidad última del edificio ante fuerzas laterales sísmicas. En cuanto a estudios realizados en estructuras del Centro Pre Universitario de la Universidad Nacional de Cajamarca tenemos:

- En el 2001 se realizó un estudio del desempeño sismorresistente de los colegios modernos, se analizaron edificios escolares construidos antes y después de la norma peruana sismorresistente de 1997. Los resultados que se obtuvieron muestran que los colegios diseñados y construidos de acuerdo con los requerimientos del código 1997 mostraron un excelente comportamiento durante el terremoto de Ático MW=8.4 en el 2001 y además se espera que tenga un comportamiento aceptable durante sismos mayores. En cuanto a los edificios escolares tradicionales, diseñados antes de 1997, los resultados muestran que son estructuras vulnerables. (Muñoz, 2001)
- En el 2010 se realizó el estudio del "Desempeño Sismorresistente del Edificio 2B de la Universidad Nacional de Cajamarca". Los resultados obtenidos muestran que la estructura alcanza el Nivel Operacional para Sismo Frecuente, Nivel Funcional para Sismo Ocasional, Nivel de Resguardo de vida para Sismo Raro y Nivel de Colapso para Sismo Muy Raro. (Bardales, 2010)

- En el 2013 se realizó el estudio del “Nivel de Desempeño Sísmico del Edificio “A” de la Universidad Privada del Norte – Sede Cajamarca”. Los resultados muestran que el nivel de desempeño para la demanda sísmica calculada según la norma E-030 (espectro de diseño), es excelente; alcanza una deriva de 0.15% ($D_t=2.2\text{cm}$), y permanecería en el rango operacional con un comportamiento elástico. Además su punto de desempeño se encuentra por debajo al de sismos frecuentes. (Chunque, 2013)

- DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE DEL EDIFICIO 4J DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA, tesis presentada por el Ing. Luis Emilio Merino Zelada. El estudio determinó el desempeño sismorresistente de la edificación frente a las diversas amenazas sísmicas. Para lo cual se modeló la estructura usando el programa SAP2000 con la información existente de la estructura.

La investigación determinó los niveles de desempeño de la estructura para distintos tipos de sismos de diseño, llegando a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

La estructura alcanza un desempeño correcto para los sismos aplicados en la dirección X, según lo indicado por la SEAOC, e incluso alcanzan niveles de desempeño aún mejores que los considerados como óptimos por la misma.

La estructura alcanza un desempeño excelente para los sismos aplicados en Y, ya que alcanza el nivel de desempeño de operacional para todos los sismos con los que se realizó en análisis.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 DISEÑO SISMORRESISTENTE

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; 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.

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".

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.

✓ **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 solicitaciones del sismo por lo que no hay ninguna garantía sobre la capacidad real de la estructura bajo estas condiciones.

✓ **Proyecto Amplio de Desarrollo e Investigación 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.

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 del 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.

DISEÑO CONVENCIONAL		NUEVO DISEÑO SISMORRESISTENTE
Se adecuan estándares tales como la norma	Objetivos de Desempeño	Es definido claramente por el cliente
Se diseña por el metodo normado	Método de Diseño Método de Verificación	Se selecciona el método apropiado
oSe calcula por el metodo normado. o El desempeño sismorre- sistente no es claro	Desempeño sismorrisis- tente de la obra civil	oSe cumple los objetivos de desempeño. o El nivel de desempeño se define claramente

**TABLA 2. 1. COMPARACIÓN DE DISEÑO CONVE 1 COMPARACIÓN DE DISEÑO
CONVENCIONAL Y NUEVO DISEÑO SISMORRESISTENTE (MINISTERIO DE
CONSTRUCCIÓN DEL JAPÓN, 1998).**

2.2.2 DISEÑO BASADO EN EL DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE

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

- 2.2.2.1 Diseño por Códigos:** se define como la etapa en que el diseño se basa en el empleo de códigos de diseño sismorresistente. El lapso de uso se estima desde 1927 hasta 1990.
- 2.2.2.2 Adaptación Sísmica por Códigos:** etapa en la que la adaptación sísmica de obras civiles se basa en el empleo de códigos de diseño. El lapso de uso se estima durante las décadas de los 80 y 90.
- 2.2.2.3 Diseño y Adaptación basada en el desempeño sismorresistente:** es la etapa desde mediados de los 90 hasta la fecha, en el cual el diseño y adaptación se basa en el desempeño sismorresistente de las obras civiles.
- 2.2.2.4 Gerencia de riesgo sísmico:** es un concepto que se basa en conceptos financieros; tal como la consideración del impacto socio- económico del desempeño sismorresistente de la obra civil. El diseño y la adaptación sismorresistente son considerados como inversión.

Algunas ideas básicas del nuevo concepto de diseño sismorresistente antes mencionado se describe brevemente:

- En general, la idea básica de un diseño basado en el desempeño sismorresistente es diseñar una estructura que se desempeñará de una manera definida cuando esté sujeta a varios escenarios de sismo.
Además, la finalidad es facilitar a los ocupantes y al diseñador la selección de alternativas de metas u objetivos de diseño.
- El concepto general del diseño basado en el desempeño sismorresistente de edificaciones debe ser capaz de lograr un alto nivel de confianza para que los daños no excedan ciertos límites durante los sismos. Los niveles permisibles de daño se denominan niveles de desempeño mientras que la

especificación para que los niveles de desempeño definidos no sean excedidos durante el sismo de diseño se denomina objetivos de desempeño.

- En EE.UU. Esta terminología (performance-based design) se aplica al proceso general en el cual se selecciona una serie de objetivos de desempeño en el inicio del proyecto, y entonces estos sirven de base para el diseño. Aunque tenga mayor desarrollo en el campo de la ingeniería sísmica, no es limitado exclusivamente a esta área. Se intenta cubrir todos los aspectos del proceso de diseño de una edificación incluyendo incendio/protección de vida, seguridad estructural, sistemas mecánico y eléctrico.

Por otro lado, las definiciones por parte de los proyectos de investigación desarrolladas en EE.UU y Japón también se resumen a continuación:

- **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 referido, 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.

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.

➤ **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.

➤ **CONCEPTO EMPLEADO EN EL PROYECTO AMPLIO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL GOBIERNO JAPONÉS (1998)**

En este marco los ocupantes deben participar en la definición de metas u objetivos de desempeño y deben ser responsables por los resultados.

La mayoría de productos industriales tienen descripciones del desempeño y los consumidores usan esta información para decidir si los productos satisfacen sus necesidades y para juzgar el costo del mismo. Las edificaciones también deberían ser seleccionadas de esta forma.

El desempeño sismorresistente de una edificación debe ser una de las principales medidas para que los ocupantes definan el valor de las edificaciones. Basado en la información facilitada sobre el desempeño sismorresistente de una edificación y su costo, un propietario juzga si la edificación cumple sus necesidades y objetivos. Como resultado, el desempeño sismorresistente de una edificación será adecuadamente reflejado en este valor. En tal sentido, plantea igualmente la necesidad de implementar el diseño basado en el desempeño sismorresistente de una edificación para: promover innovación en la ingeniería, progreso en la ingeniería estructural y globalización, mejorar técnicas de diseño, mayor flexibilidad en el diseño y una armonización internacional. Por otro lado, tiende a convertirse en el más importante criterio para definir el valor de la edificación por parte de los ocupantes.

➤ **CONCEPTO DEL FEMA 350 (2000).**

El enfoque de diseño basado en desempeño puede ser usado como una opción para un diseño avanzado. Los procedimientos de evaluación de desempeño que se proponen pueden ser usados para confirmar la capacidad de cada estructura para cumplir con los objetivos de desempeño establecidos, o pueden ser usados para implementar diseños basados en desempeño que intentan cumplir objetivos de desempeño exigentes. También puede emplearse para cuantificar la bondad de un diseño específico para cumplir objetivos de desempeño deseados. Es aplicable sólo a una estructura de acero regular bien configurada. Un enfoque de desempeño basado en confiabilidad, ha sido adoptado por el proyecto SAC para el diseño y para la evaluación. Este enfoque pretende explicar las casualidades e incertidumbres en la demanda sísmica y

capacidades de una manera consistente y para satisfacer, con una confiabilidad definida, objetivos de desempeño correspondiente a varios grados de daño y niveles de peligro sísmico. Los procedimientos de evaluación de desempeño permiten la estimación de un nivel de confianza que poseerá una estructura para alcanzar un objetivo de desempeño deseado.

2.2.3 NIVELES DE DESEMPEÑO SÍSMICO

2.2.3.1 NIVELES DE DESEMPEÑO SÍSMICO

El nivel de desempeño describe un estado límite de daño. Representa una condición límite o tolerable establecida en función de los posibles daños físicos sobre la edificación, la amenaza sobre la seguridad de los ocupantes de la edificación inducidos por estos daños y la funcionalidad de la edificación posterior al terremoto. El nivel de desempeño es una expresión de la máxima extensión del daño, donde se considera tanto la condición de los elementos estructurales como la de los elementos no estructurales y su contenido, relacionado con la función de la edificación. Los niveles de desempeño suelen expresarse en términos cualitativos de significación pública (impacto en ocupantes, usuarios, etc.) y en términos técnicos ingenieriles para el diseño o evaluación de edificaciones existentes (extensión del deterioro, degradación de los elementos estructurales o no estructurales, etc.). (Safina, 2002)

2.2.3.1.1 Niveles de desempeño según la SEAOC (propuesta del Comité VISION 2000)

La propuesta del comité VISION 2000 define cuatro niveles de desempeño identificados a través de los siguientes calificadores:

a) *Operacional*

Nivel de desempeño en el cual no ocurren daños. Las consecuencias sobre los usuarios de las instalaciones son despreciables. La edificación permanece totalmente segura para sus ocupantes. Todo el contenido y los servicios de la

edificación permanecen funcionales y disponibles para su uso. En general no se requieren reparaciones.

b) Funcional

Nivel de desempeño en el cual ocurren daños moderados en elementos no estructurales y en el contenido de la edificación, e incluso algunos daños ligeros en elementos estructurales. El daño es limitado y no compromete la seguridad de la edificación que debería permanecer disponible para cumplir con sus funciones normales inmediatamente después del sismo, aunque los daños en elementos no estructurales y contenido, puede interrumpir parcialmente algunas funciones.

En general, se requieren algunas reparaciones menores necesarias para el reinicio de las actividades que se puedan llevar a cabo en la estructura.

c) Seguridad o Supervivencia

Nivel de desempeño en el cual ocurren daños moderados en elementos estructurales, no estructurales y en el contenido de la edificación, degradación de la rigidez lateral y la capacidad resistente del sistema, interrupción de servicios eléctricos, mecánicos y perturbación de las vías de escape de la edificación. Las instalaciones quedan fuera de servicio y el edificio probablemente requerirá reparaciones importantes.

d) Cerca al Colapso

Nivel de desempeño en el cual la degradación de la rigidez lateral y la capacidad resistente del sistema compromete la estabilidad de la estructura aproximándose al colapso estructural. Se produce la interrupción de servicios y vías de escape. La edificación es completamente insegura para sus ocupantes y la extensión de las reparaciones puede resultar no factible técnica y/o económicamente.

A continuación se muestra la tabla 2.2 que resume los niveles de desempeño de la propuesta del Comité VISION 2000.

ESTADO DE DAÑO	NIVEL DE DESEMPEÑO	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES
Despreciable	Operacional	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Las instalaciones continúan prestando sus servicios y funciones después del sismo
Ligero	Funcional	Daños ligeros. Las instalaciones esenciales continúan en servicio y las no esenciales pueden sufrir interrupciones de inmediata recuperación
Moderado	Seguridad	Daños moderados. La estructura sufre daños pero permanece estable. Seguridad de ocupantes. Algunos elementos no estructurales pueden dañarse
Severo	Cerca al Colapso	Daño estructural severo, en la proximidad del colapso estructural. Falla de elementos no estructurales. Seguridad de ocupantes comprometida.

TABLA 2. 2. Características de los estados de daño asociados a cada nivel de desempeño. (Fuente: SEAOC)

2.2.3.1.2 Niveles de Desempeño Según la Propuesta de la ATC-40 (Applied Technology Council)

Los niveles de desempeño determinados por el ATC-40 para las estructuras, corresponden a una composición de los niveles usados para los elementos estructurales y los niveles correspondientes a los elementos no estructurales, ambos definidos independientemente.

A. Niveles para los elementos estructurales

Se precisan tres niveles o estados de daño discretos: ocupación inmediata, seguridad y estabilidad estructural. Estos tres niveles pueden ser utilizados directamente para definir criterios técnicos en los procesos de evaluación y rehabilitación de estructuras. Adicionalmente, se establecen dos rangos intermedios: daño controlado y seguridad limitada. Estos rangos intermedios permiten discriminar, de una forma más adecuada y útil, el nivel de desempeño de la estructura. Esto es de gran utilidad en el caso de ser necesaria una evaluación o un reforzamiento de una estructura en particular. Estos niveles se

identifican por la abreviación, SP-n (SP son las siglas de "Structural Performance" y n es un número que varía entre 1 y 6). A continuación se describen estos 6 niveles de desempeño.

a. **Ocupación inmediata, SP-1:** los daños son muy limitados y de tal magnitud, que el sistema resistente de cargas laterales y verticales permanece prácticamente en las mismas condiciones de capacidad y resistencia que antes de ocurrido el sismo. No se presentan pérdidas de vidas humanas y la estructura funciona con normalidad.

b. **Daño controlado, SP-2:** corresponde a un estado de daño que varía entre los límites de ocupación inmediata y seguridad. La vida de los ocupantes no está en peligro, aunque es posible que éstos puedan verse afectados.

c. **Seguridad, SP-3:** los daños después del sismo no agotan por completo los márgenes de seguridad existentes frente a un posible colapso parcial o total de la estructura. Pueden producirse algunos heridos tanto en el interior como en el exterior, sin embargo el riesgo de la vida de los ocupantes debido a un fallo de los elementos estructurales es muy bajo. Es posible que sea necesario reparar la estructura antes de ser ocupada de nuevo, siempre y cuando sea factible y rentable desde el punto de vista económico.

d. **Seguridad limitada, SP-4:** corresponde a un estado de daño entre los niveles de seguridad y estabilidad estructural, en el que algunas partes de la estructura pueden requerir un reforzamiento para poder garantizar el nivel de seguridad.

e. **Estabilidad estructural, SP-5:** este nivel corresponde al estado de daño límite después de ocurrido un sismo en el cual el sistema estructural está muy cerca de experimentar un colapso parcial o total.

Se producen daños sustanciales, pérdida de rigidez y resistencia en los elementos estructurales. A pesar de que el sistema de cargas verticales continua funcionando, hay un alto riesgo de que se produzca el colapso por causa de posibles replicas. Es muy probable que los daños en las estructuras más antiguas sean técnica y económicamente irreparables.

f. **No considerado, SP-6:** éste no es un nivel de desempeño, pero es útil en algunas ocasiones que requieran evaluar los daños sísmicos no estructurales o realizar un reforzamiento.

B. Niveles para los elementos no estructurales

Se consideran 4 niveles de desempeño correspondientes a estados discretos de daño para los elementos no estructurales: operacional, ocupación inmediata, seguridad y amenaza reducida.

Estos niveles se representan con la abreviación NP-n. NP Son las siglas de “Nonstructural Performance” y n es una letra que toma valores de A, B, C, D y E.

a. **Operacional NP-A:** los elementos no estructurales, maquinarias y sistemas del edificio continúan en su sitio y funcionando con normalidad después del sismo.

b. **Ocupación inmediata NP-B:** a pesar de que los elementos no estructurales y sistemas permanecen en su sitio, pueden presentarse algunas interrupciones en el funcionamiento de las maquinarias y equipos. Algunos servicios externos pueden no estar disponibles, aunque esto no compromete la ocupación del edificio.

c. **Seguridad NP-C:** pueden presentarse daños severos en algunos elementos no estructurales tanto dentro como fuera del edificio, sin que se llegue al colapso, ni se ponga en peligro la seguridad de los ocupantes. Los sistemas, equipos y maquinaria pueden verse seriamente afectados, requiriendo, en algunos casos, ser reparados o, en el peor de los casos, reemplazados.

d. **Amenaza reducida NP-D:** se presentan daños severos en elementos no estructurales, contenidos y sistemas, pero sin llegar al colapso o al fallo de grandes elementos, como por ejemplo parapetos y muros exteriores de mampostería, entre otros, que puedan ocasionar heridas a grupos de personas.

e. **No considerado NP-E:** no es un nivel de desempeño y se usa para indicar que no se han evaluado los elementos no estructurales, a menos que tengan un efecto directo sobre la respuesta estructural, como por ejemplo los muros de mampostería de relleno o las particiones.

C. Niveles para las estructuras

En la Tabla 2.2 se muestran las combinaciones (propuestas en el ATC-40) de los niveles de desempeño de los elementos estructurales y los elementos no estructurales.

Estas combinaciones representan el comportamiento global del edificio. No obstante, entre ellas es posible distinguir cuatro niveles de desempeño fundamentales para una estructura, los cuales han sido resaltados en la tabla 2.3 y se describen a continuación.

	Niveles de Desempeño Para Elementos Estructurales					
<i>Niveles Para Elementos No Estructurales</i>	SP-1	SP-2	SP-3	SP-4	SP-5	SP-6
NP-A	Operacional 1-A	2-A	No Recomen_ dado	No Recomen_ dado	No Recomen_ dado	No Recomen_ dado
NP-B	Ocupación Inmediata 1-B	2-B	3-B	No Recomen_ dado	No Recomen_ dado	No Recomen_ dado
NP-C	1-C	2-C	Seguridad de Vida 3-C	4-C	5-C	6-C
NP-D	No Recomen_ dado	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E	No Recomen_ dado	No Recomen_ dado	No Recomen_ dado	4-E	Prevención del Colapso 5-E	No se Puede Rehabilitar

TABLA 2. 3. Tabla 2.3. Características de los estados de daño asociados a cada nivel de desempeño. (Fuente: ATC-40, Tomo I)

a. **Operacional 1-A:** los daños estructurales son limitados y los daños en los sistemas y elementos no estructurales no impiden que la estructura continúe funcionando con normalidad después del sismo.

Adicionalmente, las reparaciones que son necesarias no impiden la ocupación del edificio, por lo cual este nivel se asocia con un estado de funcionalidad.

b. **Ocupación inmediata 1-B:** corresponde al nivel de desempeño más utilizado para estructuras esenciales, como es el caso por ejemplo de los hospitales. Se espera que los diferentes espacios y sistemas de la estructura puedan seguir siendo utilizados después del sismo, a pesar de que pueden ocurrir algunos daños en los contenidos. Se mantiene la seguridad de los ocupantes.

c. **Seguridad de vida 3-C:** la probabilidad de pérdidas de vidas humanas es prácticamente nula. Este nivel corresponde al desempeño esperado de la estructura con la aplicación de los códigos corrientes. Se presentan daños limitados en los elementos estructurales y algunos elementos no estructurales como acabados y fachadas, entre otros, pueden fallar, sin que esto ponga en peligro la seguridad de los ocupantes.

d. **Estabilidad estructural 5-E:** el margen de seguridad del sistema resistente de cargas laterales se encuentra prácticamente al límite y la probabilidad del colapso ante la ocurrencia de posibles réplicas es bastante alta, no obstante, el sistema de cargas verticales continuas garantizando la estabilidad del edificio. Los daños no estructurales no requieren ser evaluados debido al elevado nivel de daños en los elementos estructurales. No se garantiza la seguridad de los ocupantes ni transeúntes, por lo que se sugiere desalojar y, en algunos casos, demoler la estructura.

2.2.4. ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL

Se basa en el análisis estático considerando la respuesta no lineal de los materiales. Existen muchos métodos para efectuar este tipo de análisis como por ejemplo los propuestos por el ATC 40 y FEMA 356. Estos métodos tienen en común que las características no lineales (Fuerza-Deformación) de la estructura son representadas por la curva de capacidad.

El máximo desplazamiento que probablemente puede ser experimentado durante un sismo dado, es determinado usando espectros de respuesta inelásticos. La gran ventaja de este método con respecto al análisis lineal es que directamente tiene en cuenta los efectos de la respuesta no lineal del material (mientras que en el análisis lineal esto se debe tener en cuenta en

forma aproximada) y, por lo tanto, el cálculo de las fuerzas internas y desplazamientos serán más representativos de los esperados durante un sismo.

Este procedimiento usa una serie de análisis elásticos secuenciales, que se superponen para aproximarse a un diagrama conocido con el nombre de curva de capacidad. El modelo matemático de la estructura se modifica para tener en cuenta la reducción de resistencia de los elementos que ceden. De esta forma, se aplican una serie de fuerzas horizontales, las cuales se incrementan de manera monotónica hasta que se produce el colapso efectivo de la estructura. El análisis estático no lineal es una técnica simple y eficiente para estudiar la capacidad, resistencia deformación, de una estructura bajo una distribución esperada de fuerzas inerciales.

Este análisis se realiza sometiendo a la estructura a un patrón de cargas laterales F_i que se incrementan de manera monotónica hasta que la estructura alcanza su capacidad máxima. Utilizando este procedimiento, es posible identificar la secuencia del agrietamiento, fluencia y fallo de los componentes, los estados límites de servicio y la historia de deformaciones y cortes en la estructura que corresponde a la curva de capacidad (Figura 2.1).

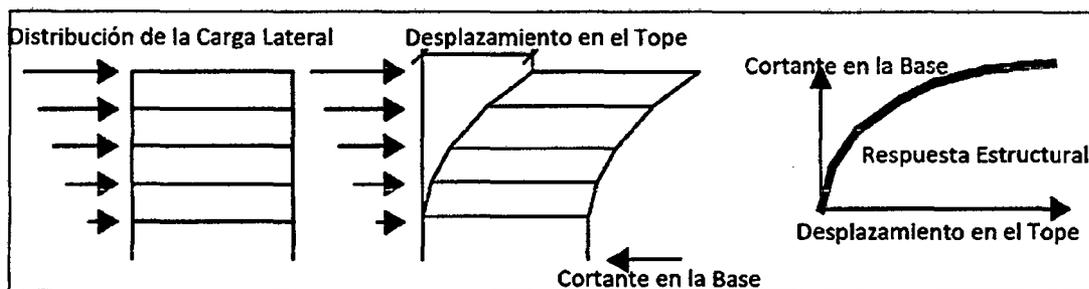


FIGURA 2. 1 ESQUEMA DEL PROCESO DEL ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL

2.2.4.1 SISMOS DE DISEÑO

Se establecen cuatro niveles de severidad en las sollicitaciones sísmicas, cada uno de los cuales se define por un sismo de diseño. Los sismos de diseño son: sismo frecuente, sismo ocasional, sismo raro y sismo muy raro. Dado que los sismos son tratados como sucesos aleatorios, la cuantificación de sus efectos en las estructuras sólo puede hacerse en términos de probabilidad y riesgo. De

esta manera los sismos de diseño se definen en función de los periodos medios de retorno de tales eventos o en función de la probabilidad de excedencia durante un determinado tiempo de exposición, que para edificaciones se suele considerar de unos 50 años. (Muñoz, 1999)

La tabla 2.3 muestra los periodos de retorno medio y las probabilidades de excedencia en 50 años de exposición para los sismos de diseño sugeridos por el SEAOC.

Sismo de Diseño	Probabilidad de excedencia en 50 años (%)	Periodo de Retorno (Años)
Frecuente	69	43
Ocasional	50	72
Raro	10	475
Muy Raro	5	970

TABLA 2. 4. Características Probabilísticas de Ocurrencia de los Sismos de Diseño (Fuente: Muñoz, 1999)

2.2.4.1.1 PELIGRO SÍSMICO

En la tabla 2.4 se muestra la probabilidad de excedencia, el periodo de retorno y los valores de aceleración máxima en la roca asociados a los cuatro niveles de peligro sísmico sugeridos para la costa oeste de América del sur.

Sismo de Diseño	Aceleración Esperada (g)
Frecuente	0.20
Ocasional	0.25
Raro	0.40
Muy Raro	0.50

TABLA 2. 5. Aceleración máxima en roca para los sismos de diseño en la costa oeste de América del Sur (Fuente: Muñoz, 1999)

Para construir los espectros de demanda se usaron espectros de aceleración cuya forma se tomó de la propuesta de la Uniform Building Code UBC (figura 2.2), la misma que corresponde a terremotos de subducción.

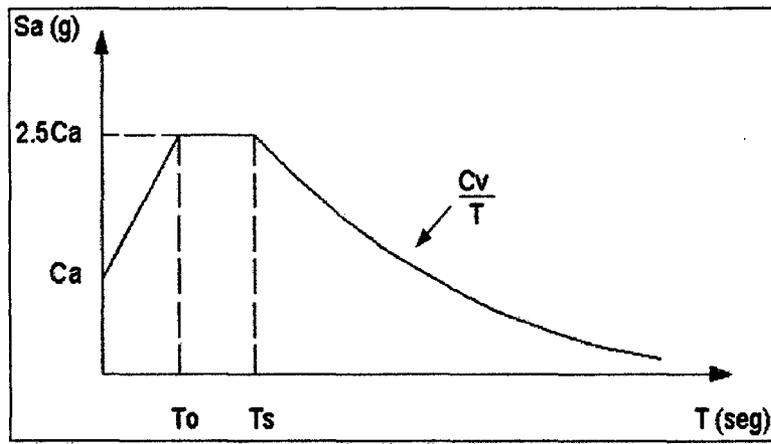


FIGURA 2. 2. Espectro de la Uniform Building Code (UBC)

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:

$$T_s = \frac{C_v}{2.5 C_a}$$

$$T_0 = 0.2 T_s$$

El espectro de la Norma Peruana (SENCICO, 2003) corresponde a un evento de 500 años de periodo de retorno (que corresponde a sismo raro) 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 de periodo. La figura 2.3 muestra el espectro elástico de la Norma Técnica de Diseño Sismorresistente para dichas condiciones.

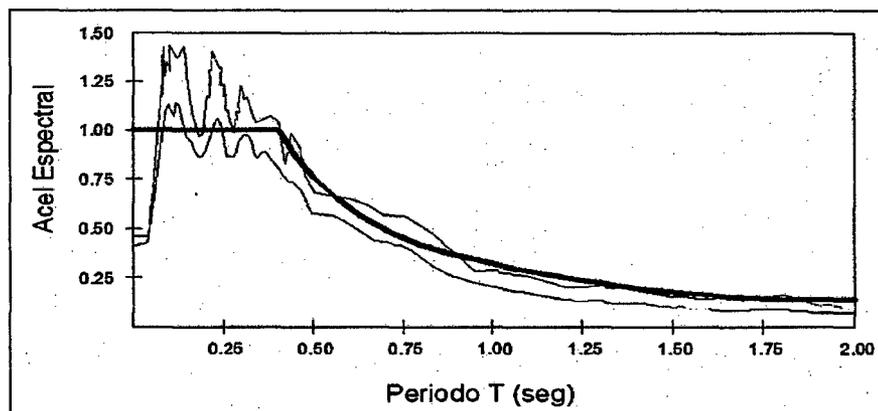


FIGURA 2. 3. Espectro Elástico de la Norma Peruana

Para relacionar este espectro con el esquema del UBC se determinó que los valores C_a y C_v son 0.4 correspondientes a un Sismo Raro. La figura 2.4 muestra el espectro obtenido empleando el esquema UBC.

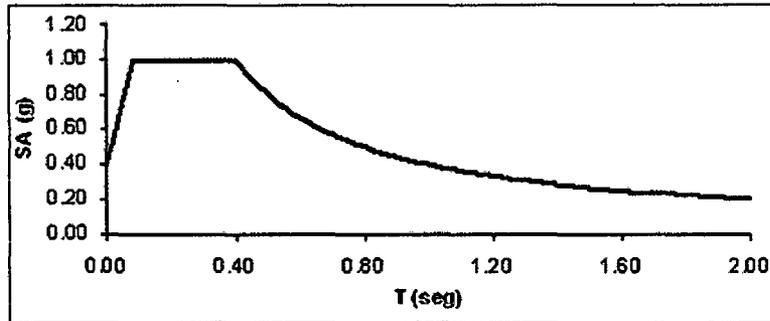


FIGURA 2. 4. Espectro de la UBC para sismo raro

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 2.6 presenta los valores de C_a y C_v encontrados para cada uno de los sismos.

Sismo de Diseño	Aceleración Esperada (g)	C_a	C_v
Frecuente	0.20	0.20	0.20
Ocasional	0.25	0.25	0.25
Raro	0.40	0.40	0.40
Muy Raro	0.50	0.50	0.50

TABLA 2. 6. Equivalencia de la Norma Peruana con la propuesta de la UBC (Fuente: Muñoz, 1999)

2.2.4.2 DESEMPEÑO ESPERADO DE LA EDIFICACIÓN

El desempeño esperado de la edificación describe un comportamiento sísmico que puede considerarse satisfactorio para una edificación sometida a movimientos sísmicos de diferentes intensidades. Es una expresión del comportamiento deseado o del desempeño objetivo que debe ser capaz de alcanzar un edificio sujeto a un determinado nivel de movimiento sísmico. Pueden definirse múltiples niveles de desempeño esperado, seleccionando diferentes niveles de desempeño de la edificación para cada uno de los movimientos especificados. Su selección debe estar basada en las características de ocupación de la edificación, la importancia de la función de

sus instalaciones, las consideraciones económicas relacionadas con los costos de reparación de daño y de interrupción de servicios, la importancia de la edificación en el ámbito histórico y cultural. (SEAOC, 1995)

El desempeño esperado está íntimamente ligado a los niveles de amenaza sísmica ya anteriormente definidos. La tabla 2.7 reproduce los niveles recomendados de desempeño esperado para edificaciones, conforme a su clasificación de acuerdo al uso y ocupación en instalaciones de seguridad crítica, instalaciones esenciales/riesgosas e instalaciones básicas.

1: Instalaciones Básicas 2: Instalaciones Esenciales 3: Instalaciones de Seguridad Crítica 0: Desempeño Inaceptable		Nivel de Desempeño Sísmico			
		Operacional	Funcional	Seguridad de Vida	Cerca al Colapso
Nivel del Movimiento Sísmico	Frecuente (T=43 años)	1	0	0	0
	Ocasional (T=72 años)	2	1	0	0
	Raro (T=475 años)	3	2	1	0
	Muy Raro (T=970 años)	-	3	2	1

TABLA 2. 7. Niveles recomendados de desempeño esperado para edificaciones (Fuente: SEAOC, 1995)

2.2.4.3 CURVA DE CAPACIDAD

Durante el Análisis Estático No Lineal, la cortante en la base va incrementando progresivamente manteniendo constante el patrón de fuerzas sísmicas distribuido en la altura del edificio. Para conseguir una representación realista de esfuerzos sísmicos, se emplea una distribución de las fuerzas sísmicas similares, las cuales siguen la forma del modo fundamental de vibración o una distribución más sencilla, como puede ser triangular invertida, parabólica o uniforme como muestra la figura 2.5.

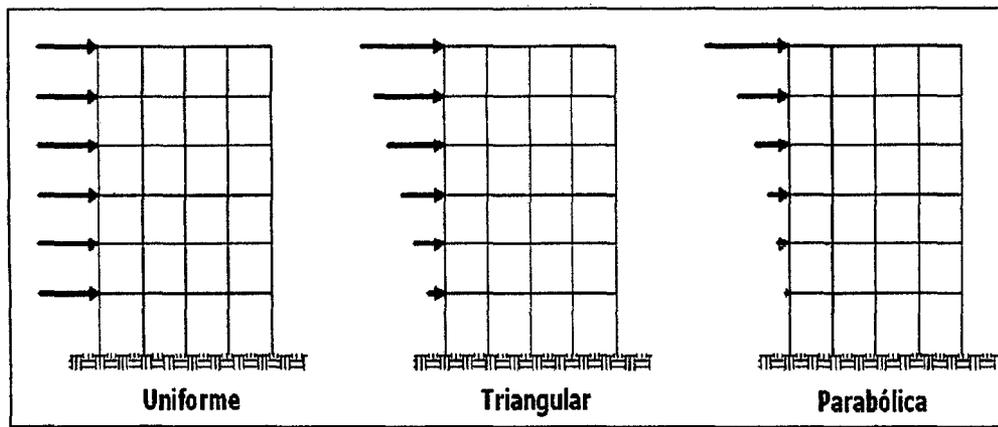


FIGURA 2. 5. Patrones de Carga Lateral

Cuando se trata de un patrón de desplazamientos estos corresponden a un juego de desplazamientos predeterminados que se van incrementando paulatinamente. Generalmente se usan los desplazamientos provenientes de los modos significativos de vibración (Bonett, 2003). Obsérvese la figura siguiente.

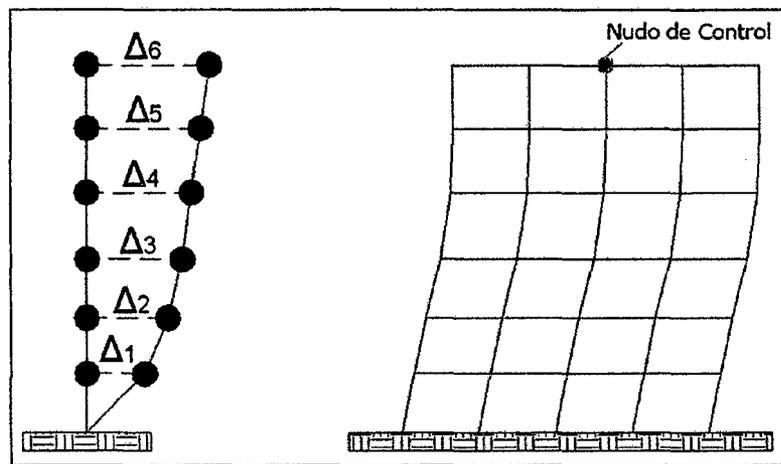


FIGURA 2. 6. Desplazamientos de entrepiso y nudo de control

El proceso de análisis incremental se controla por un nudo determinado (generalmente en el techo, como muestra la figura 2.6), se debe indicar un valor de desplazamiento máximo hasta el cual incrementar el desplazamiento y comenzar dicho análisis partiendo del estado de esfuerzos y deformaciones provenientes de las cargas de gravedad, tal como trata de representar la figura 2.7.

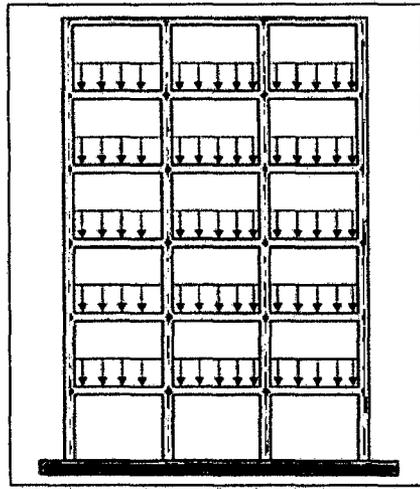


FIGURA 2. 7. Acción de Cargas de Gravedad sobre la estructura

Durante el proceso de acciones incrementales, el desplazamiento (D_t) en el techo va creciendo y se van registrando los valores de la fuerza cortante (V) en la base de la edificación hasta alcanzar el desplazamiento lateral máximo especificado.

Como resultado del análisis incremental se obtiene la curva Fuerza-Desplazamiento (V - D_t), denominada Curva de Capacidad, la cual se representa en la figura 2.8 con algunos puntos relevantes de la misma.

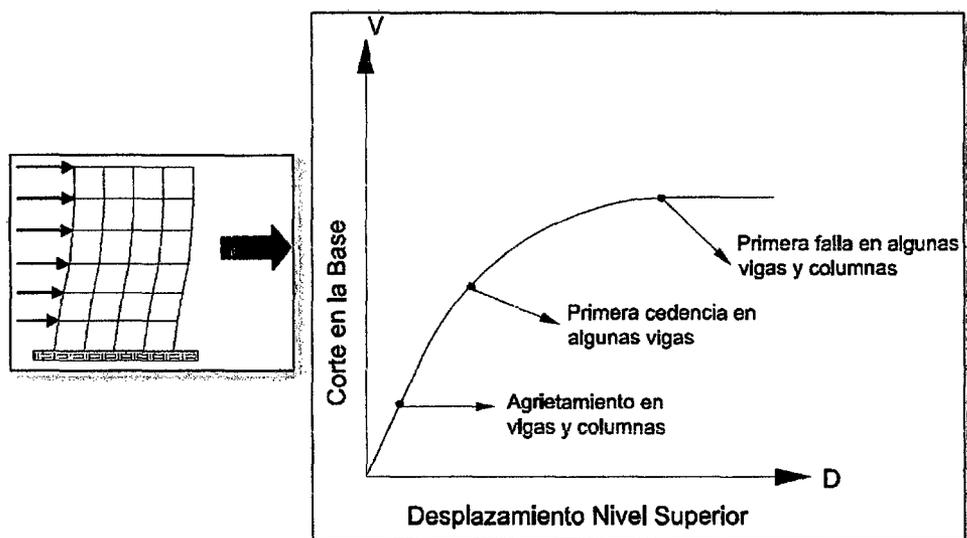


FIGURA 2. 8. Representación del Análisis Incremental de Cargas Laterales y de la Curva de Capacidad

2.2.4.4 REPRESENTACIÓN BILINEAL DE LA CURVA DE CAPACIDAD

Existen varios criterios para encontrar el modelo bilineal de la curva de capacidad resistente con el que se determina el punto en el cual la estructura deja de trabajar en el rango elástico e inicia su trabajo en el rango no lineal. A este punto se denomina punto de fluencia de la estructura.

En forma muy conservadora se puede indicar que el punto de fluencia de la estructura se alcanza cuando alguna sección de la misma ingresa al rango no lineal, para efecto basta que en el análisis se determine cuando alguna sección alcanzó el punto de fluencia. Los criterios que se explican a continuación se usan para hallar la representación bilineal de la curva de capacidad.

a. **Criterio 01: Criterio de la rigidez tangente horizontal**

En este criterio se traza la tangente a la curva de capacidad resistente en el rango elástico, luego se traza una horizontal en el punto de cortante basal V_u , como lo indica la figura, con la intersección de ambas retas se determina la representación bilineal de la curva de capacidad. La intersección de ambas rectas es el punto de Fluencia Efectiva.

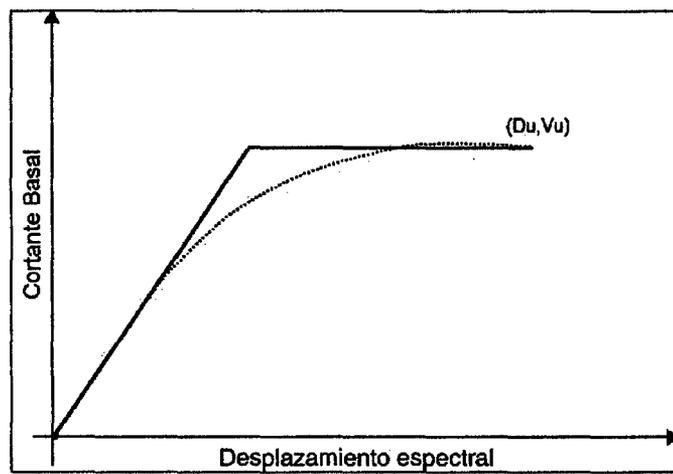


FIGURA 2. 9. Criterio de la rigidez tangente horizontal

b. **Criterio 02: Criterio de las Rigideces Tangentes**

En este caso se trazan dos tangentes a la curva de capacidad resistente, una en el rango elástico y la otra en el rango plástico. La intersección de ambas rectas es el punto de Fluencia Efectiva.

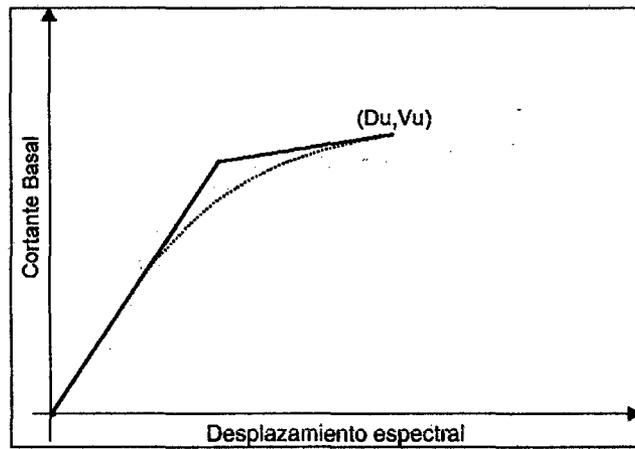


FIGURA 2. 10. Criterio de las Rigideces Tangentes

c. Criterio 03: Criterio de las Áreas Iguales

Este criterio corresponde al que se obtiene al igualar las áreas externa e interna de la curva de capacidad resistente. Este criterio es más elaborado con relación a los dos anteriores en el sentido en que se debe realizar más operaciones. El punto de fluencia se determina en forma iterativa hasta que el área exterior se considere aproximadamente igual al área interior. La intersección de ambas rectas es el punto de Fluencia Efectiva.

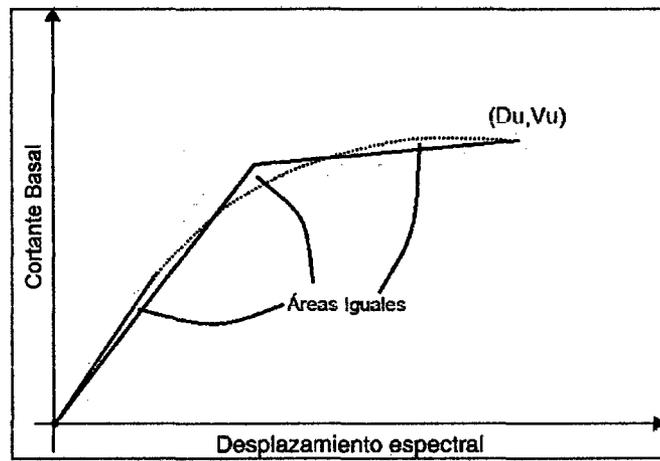


FIGURA 2. 11, Criterio de las Áreas Iguales

Existe otra alternativa de encontrar el modelo bilineal con este criterio y consiste en igualar el área bajo la curva de capacidad resistente con el área bajo del modelo bilineal, como se ilustra en la figura 2.12.

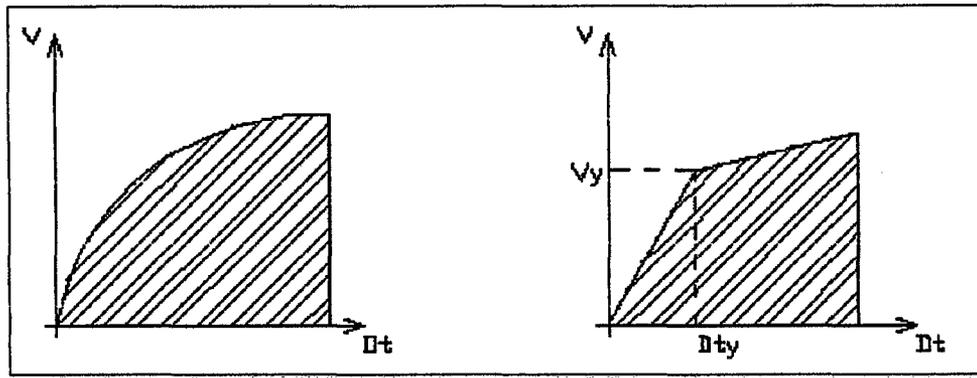


FIGURA 2. 12. Criterio de las Áreas Iguales Bajo la Curva

2.2.4.5 FLUENCIA EFECTIVA

La fluencia efectiva es el punto en el que se genera un cambio importante de la rigidez de la estructura. El punto de fluencia efectiva representa el límite entre el rango elástico de la estructura y la incursión en el rango plástico de la misma. En la figura 2.13 el rango elástico está a la izquierda del punto de fluencia efectiva, mientras que el rango plástico está a la derecha.

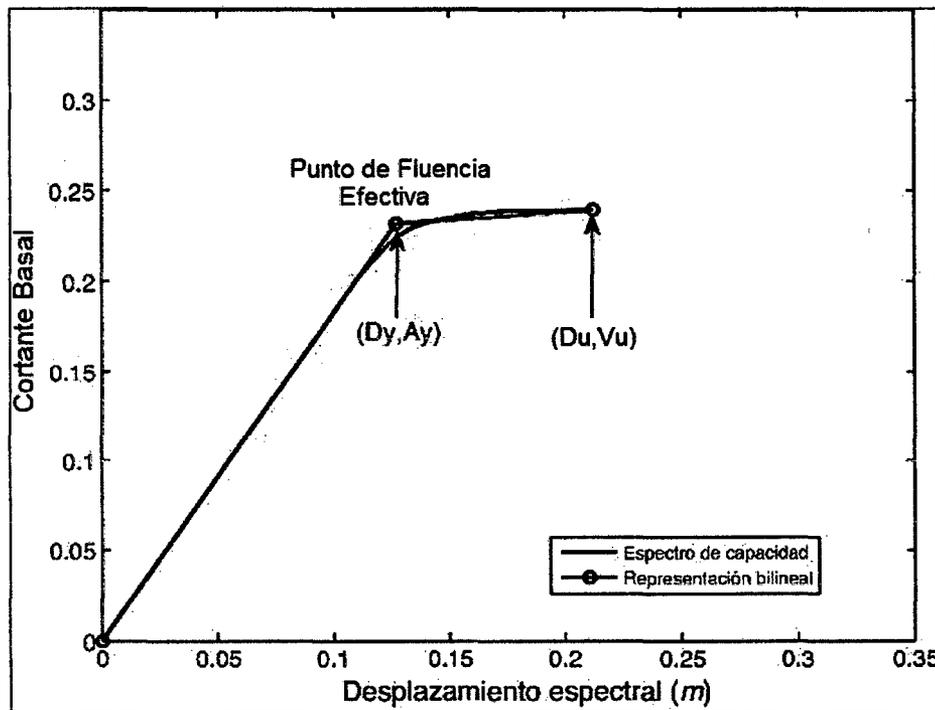


FIGURA 2. 13. Criterio de las Áreas Iguales Bajo la Curva

2.2.4.6 ESPECTRO DE CAPACIDAD

A través de un Análisis Estático No Lineal incremental de un modelo representativo de la estructura se obtiene una curva de capacidad, la cual generalmente se representa como el cortante basal (V), obtenido para varios incrementos del estado de carga lateral, respecto al desplazamiento lateral del último nivel de la edificación (D). Esta curva consiste en una serie de segmentos de rectas de pendiente decreciente, asociados a la progresiva degradación de la rigidez lateral, la cedencia en elementos y en general al daño.

Usando propiedades modales asociadas al modo fundamental de vibración, es posible transformar la curva de capacidad a un nuevo formato ADRS (siglas del inglés "Acceleration-Displacement Response Spectra" que significa Espectro de Respuesta Aceleración-Desplazamiento, debido a que el espectro relaciona aceleración versus desplazamiento) donde se representa la aceleración espectral (S_A), respecto del desplazamiento espectral (S_D), denominado espectro de capacidad. Para esta conversión, cada punto (V, D) de la curva de capacidad, corresponde a un punto (S_{Ai} , S_{Di}) del espectro de capacidad, según las siguientes fórmulas:

$$S_{Di} = \frac{\Delta n_i}{(\beta_1 \times \varphi_{1,n})}$$

$$S_{Ai} = \frac{V_i}{\alpha_1}$$

Donde:

α_1 : masa modal asociada al modo fundamental o primer modo de vibración.

β_1 : factor de participación asociado al modo fundamental.

$\varphi_{1,n}$: amplitud en el nivel n, de la forma de vibración del modo fundamental.

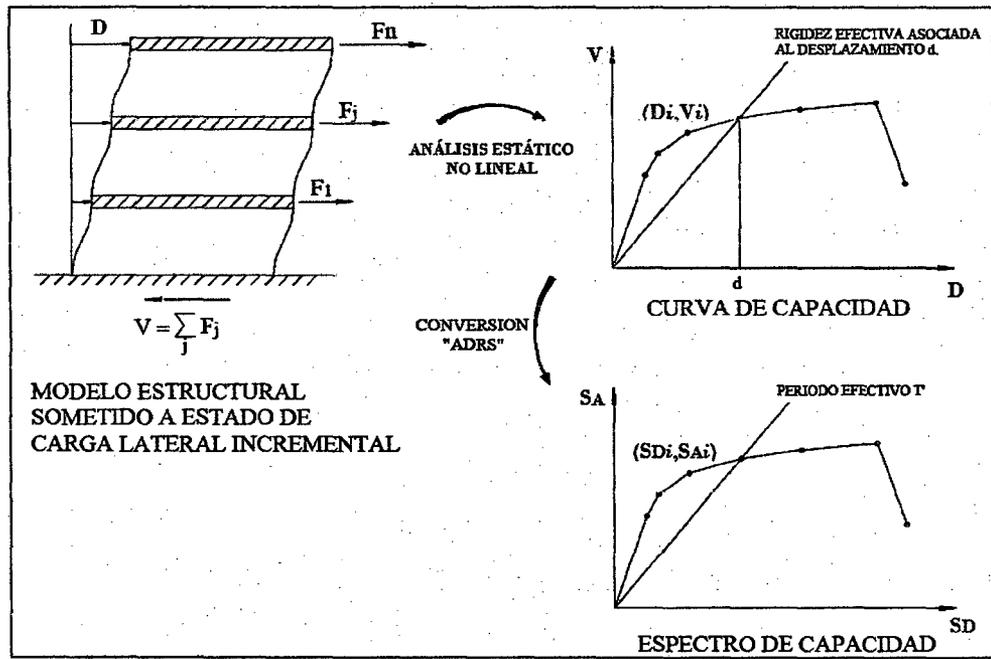


FIGURA 2. 14. Secuencia para la obtención del Espectro de Capacidad (Adaptado de la ATC-40)

En esta representación, cada línea trazada desde el punto origen hasta la curva, tiene una pendiente ω^2 , donde ω es la frecuencia circular asociada a la respuesta efectiva de la estructura cuando la misma es deformada hasta dicho desplazamiento espectral. De manera que el periodo efectivo de la estructura T asociado a dicho desplazamiento espectral puede determinarse como:

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

2.2.4.7 ESPECTRO DE DEMANDA

Los espectros de demanda, relacionan el desplazamiento espectral S_D , con la aceleración espectral S_A , y se los obtiene a partir de formas espectrales que relacionan la aceleración espectral con el período.

Se define el espectro de amenaza uniforme como la curva que une las aceleraciones espectrales asociadas independientemente a cada período estructural con una probabilidad de excedencia dada en un tiempo determinado y para un cierto factor de amortiguamiento con respecto al crítico. Es decir que es la curva que une las aceleraciones espectrales asociadas al mismo período de retorno, trabajando cada período estructural independientemente.

El espectro de demanda es la base con la cual el ATC-40 o cualquier otro modelo de reducción del espectro elástico, obtiene el desplazamiento lateral máximo de una estructura trabajando con el espectro de capacidad y con el espectro de demanda.

Los espectros de demanda muestran simultáneamente los espectros clásicos de aceleración y desplazamiento en un solo gráfico, donde los ejes horizontal y vertical corresponden a valores del desplazamiento espectral (S_D) y de la aceleración espectral (S_A) respectivamente. Los periodos están representados por líneas inclinadas. (Ver Figura 2.15)

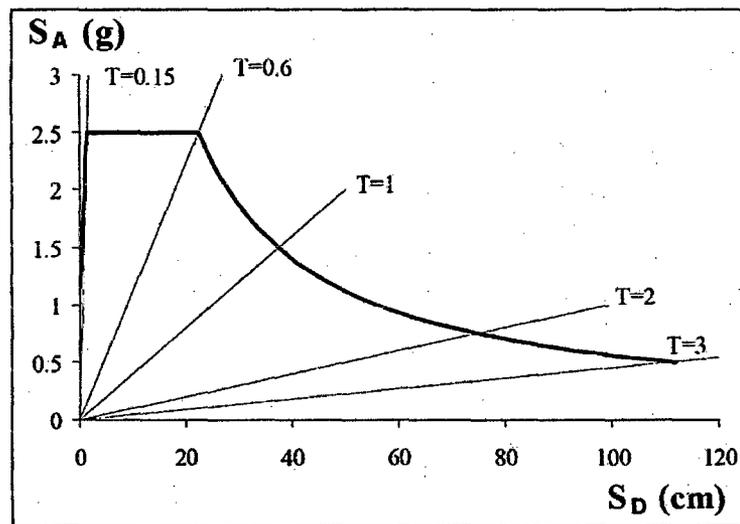


FIGURA 2. 15. Espectro de Demanda

La demanda sísmica inicialmente se caracteriza usando un espectro de respuesta elástico de aceleración típicamente definido para un amortiguamiento del 5% el cual debe ser transformado a un formato ADRS, es decir, de aceleración espectral (S_A como una fracción de la aceleración de la gravedad) respecto el desplazamiento espectral (S_D). Para dicha conversión cada punto (S_{Ai} , T_i) del espectro de respuesta donde T_i es el periodo en segundos, corresponde a un punto (S_{Ai} , S_{Di}) del espectro de demanda, según la siguiente fórmula:

$$S_{Di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{Ai} \times g$$

De manera que el espectro de demanda es una representación gráfica de la aceleración máxima de respuesta respecto el correspondiente desplazamiento máximo para un periodo y nivel de amortiguamiento dado. Estos valores máximos se corresponden con los valores pseudoespectrales siempre que se trate de pequeños valores del amortiguamiento.

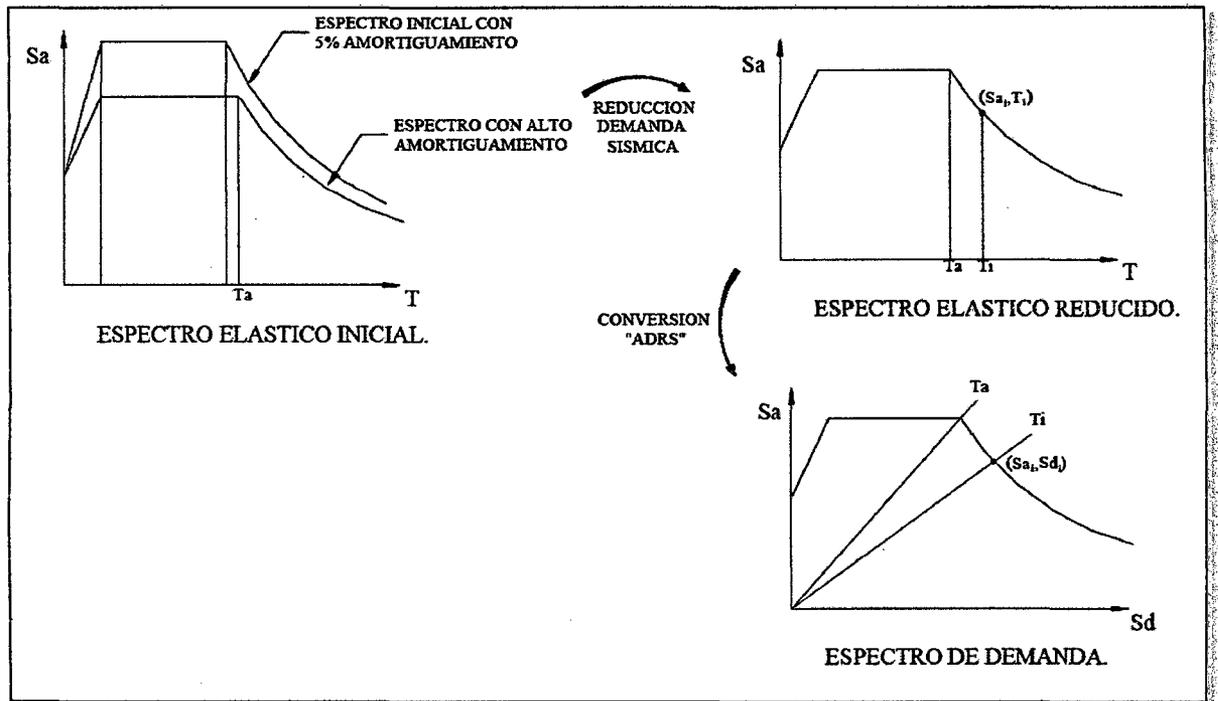


FIGURA 2. 16. Secuencia para la obtención del Espectro de Demanda (Adaptado de ATC-40)

2.2.5 EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE LA ESTRUCTURA

El comité Visión 2000 del SEAOC propone cinco niveles de desempeño, que se describen en función del comportamiento del sistema estructural y de las instalaciones y elementos no estructurales en general. La tabla 2.8 resume la propuesta del comité Visión 2000 (SEAOC, 1995).

NIVEL DE DESEMPEÑO	DESCRIPCIÓN
Completamente Operacional (CO)	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Los sistemas de evacuación y todas las instalaciones continúan prestando servicio.
Funcional (F)	Agrietamiento en elementos estructurales. Daño leve y moderado en elementos arquitectónicos. Los sistemas de evacuación y seguridad funcionan con normalidad
Resguardo de la Vida (RV)	Daño moderado en algunos elementos. Pérdida de resistencia y rigidez del sistema resistente de cargas laterales. El sistema permanece funcional. Algunos elementos no estructurales pueden dañarse.
Cerca al Colapso (CC)	Daños severos en elementos estructurales. Fallo de elementos secundarios, no estructurales y contenidos.
Colapso (C)	Pérdida parcial o total de soporte. Colapso parcial o total. No es posible la reparación.

TABLA 2. 8. Descripción de los Daños Asociados a cada Nivel de Desempeño (Fuente: SEAOC, 1995)

Desde el punto de vista estructural, los niveles de desempeño corresponden a sectores definidos de la curva de capacidad de la estructura. Para sectorizar la curva de capacidad debe encontrarse la fluencia efectiva para definir el tramo elástico e inelástico de la estructura. El tramo inelástico de la curva de capacidad se divide en cuatro sectores definidos por fracciones de Δ_p a las cuales se asocia un nivel de desempeño. Este criterio de evaluación, propuesto por el comité VISION 2000 del SEAOC propone que para cada nivel de desempeño le corresponde un rango de desplazamiento en el techo de la estructura. Estos se detallan en la tabla 2.9.

NIVEL DE DESEMPEÑO	RANGO DE DESPLAZAMIENTO
Operacional	0 - ΔFE
Funcional	$\Delta FE - \Delta FE + 0.30\Delta p$
Seguridad de Vida	$\Delta FE + 0.30\Delta p - \Delta FE + 0.60\Delta p$
Cerca al Colapso	$\Delta FE + 0.60\Delta p - \Delta FE + 0.80\Delta p$
Colapso	$\Delta FE + 0.80\Delta p - \Delta FE + \Delta p$

ΔFE : Desplazamiento correspondiente al punto de Fluencia Efectiva. Es el desplazamiento en el rango elástico de la estructura.
 Δp : Rango Plástico

TABLA 2. 9. Descripción de los Daños Asociados a cada Nivel de Desempeño (Fuente: elaboración propia)

La figura 17 muestra la propuesta del Comité VISION 2000 del SEAOC al respecto.

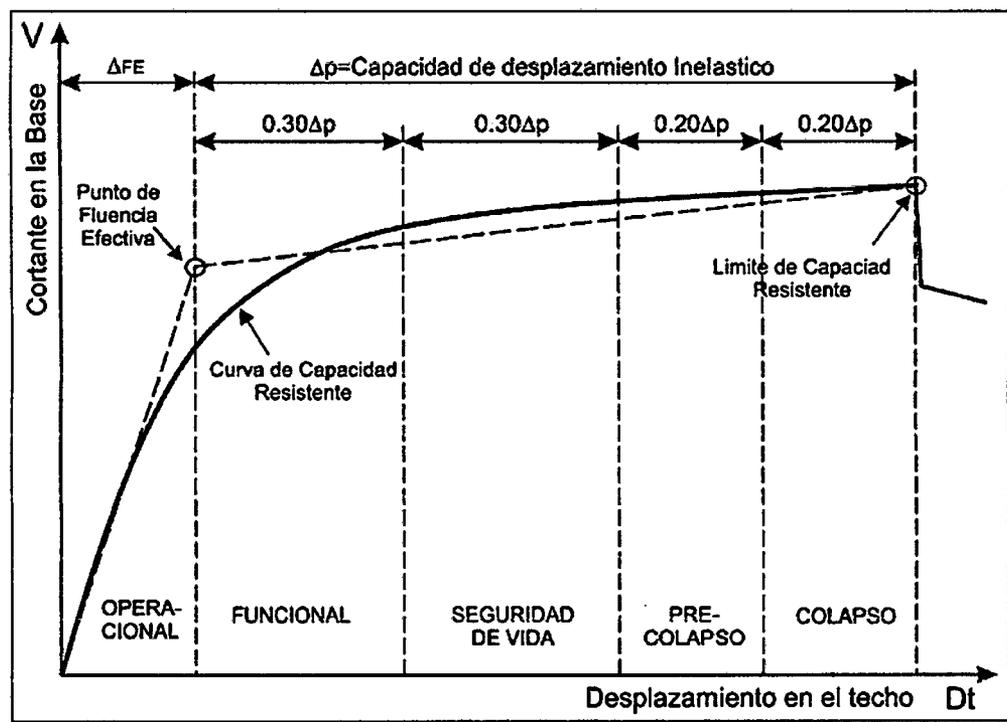


FIGURA 2. 17. Sectorización de la Curva de Capacidad. (Fuente: SEAOC, 1995)

2.2.6 ESTIMACIÓN DEL PUNTO DE DESEMPEÑO

2.2.6.1 RESPUESTA ELÁSTICA DE ESTRUCTURAS

El espectro de capacidad muestra los pares de valores fuerza cortante y desplazamiento de la estructura, mientras el espectro de demanda es un espectro elástico para estructuras de distintos periodos e igual amortiguamiento.

Si la intersección de ambos espectros ocurre en la zona elástica del espectro de capacidad, como se aprecia en la figura 2.18, esta intersección constituye el punto de demanda buscado.

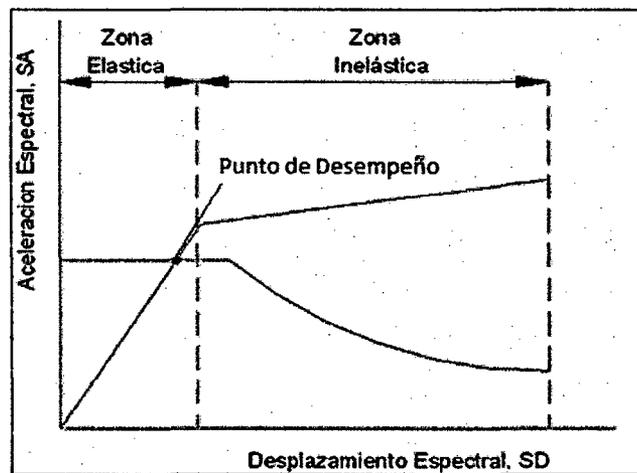


FIGURA 2. 18. Punto de Desempeño en el Rango Elástico

2.2.6.2 RESPUESTA INELÁSTICA DE ESTRUCTURAS

Si la intersección del espectro de demanda y capacidad ocurre en la zona inelástica del espectro de capacidad, como se observa en la figura 2.19, este punto de intersección no corresponde al punto de demanda porque el espectro es elástico y el comportamiento supuesto es no lineal.

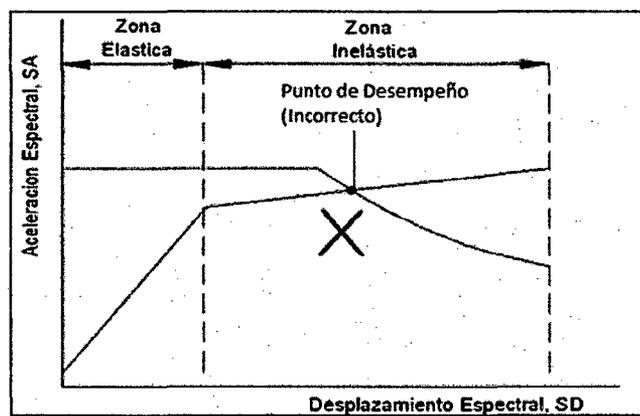


FIGURA 2. 19. Estimación Incorrecta del Punto de Desempeño en el Rango Plástico

Por tanto es necesario considerar que la demanda elástica será sucesivamente ajustada para un factor de amortiguamiento compatible con el nivel de deformaciones esperado. Así, para cada punto del tramo inelástico de la curva de capacidad se puede obtener un amortiguamiento equivalente.

$$\beta_{EQ} = k\beta_0 + \beta_{Elastico} = \frac{63.7 (S_{AY}S_{Di} - S_{DY}S_{Ai})}{S_{Ai} \times S_{Di}} + 5$$

Dónde:

S_{Di} , S_{Ai} : son las coordenadas del punto escogido del espectro de capacidad.

S_{DY} , S_{AY} : son las coordenadas del punto de fluencia efectiva.

k : es el factor de reducción del amortiguamiento.

$\beta_{Elastico}$: es el amortiguamiento elástico (asumido 5%).

El nuevo espectro de demanda se reduce debido a que el amortiguamiento equivalente es mayor que el originalmente empleado. Para obtener el espectro reducido se usan factores de reducción para las zonas de aceleraciones y velocidades del espectro (SR_A y SR_V respectivamente) cuyos valores dependen directamente del nivel de amortiguamiento equivalente.

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.68 \times \ln(\beta_{EQ})}{2.12}$$

$$SR_V = \frac{2.31 - 0.41 \times \ln(\beta_{EQ})}{1.65}$$

El factor SR_A corresponde a la zona de aceleraciones (parte plana del espectro de demanda) y el factor SR_V a la zona de velocidades, como se indica en la Figura 2.20. Estos factores se multiplican a las aceleraciones espectrales del espectro elástico original, a fin de obtener las aceleraciones espectrales inelásticas.

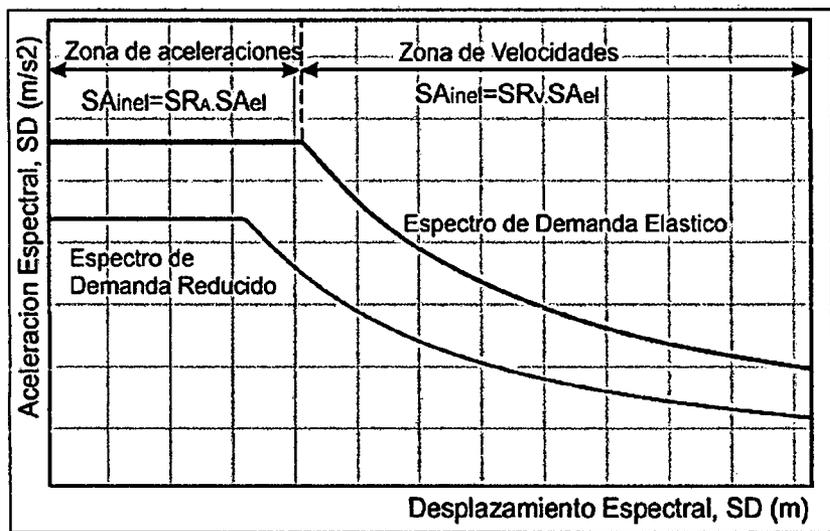


FIGURA 2. 20. Reducción del Espectro de Demanda Elástico (Fernández, 2006)

Para graficar el espectro reducido se debe considerar que el período que marca el fin de la plataforma de aceleración constante, denominado T'_p no corresponde al período T_p del espectro original y debe calcularse mediante la expresión:

$$T'_p = T_p \left(\frac{SR_v}{SR_a} \right)$$

Cuando la respuesta máxima de la estructura se da en régimen inelástico, el punto de demanda debe encontrarse en la intersección del Espectro de Capacidad con un Espectro de Demanda reducido apropiadamente de acuerdo al nivel de incursión inelástica.

Como inicialmente no se conoce el punto de demanda, entonces no se puede calcular el amortiguamiento efectivo y tampoco se puede establecer el espectro reducido. Por tanto el cálculo del Punto de Demanda debe hacerse como el siguiente procedimiento.

Para cada punto de la curva de capacidad se obtiene un amortiguamiento efectivo y así un correspondiente valor del espectro reducido. Uniendo las ordenadas espectrales reducidas se obtiene una curva conocida como Espectro de Amortiguamiento Variable (EDAV).

Finalmente de la intersección del EDAV con el espectro de capacidad, se obtiene el punto de demanda como se muestra en la figura 2.21.

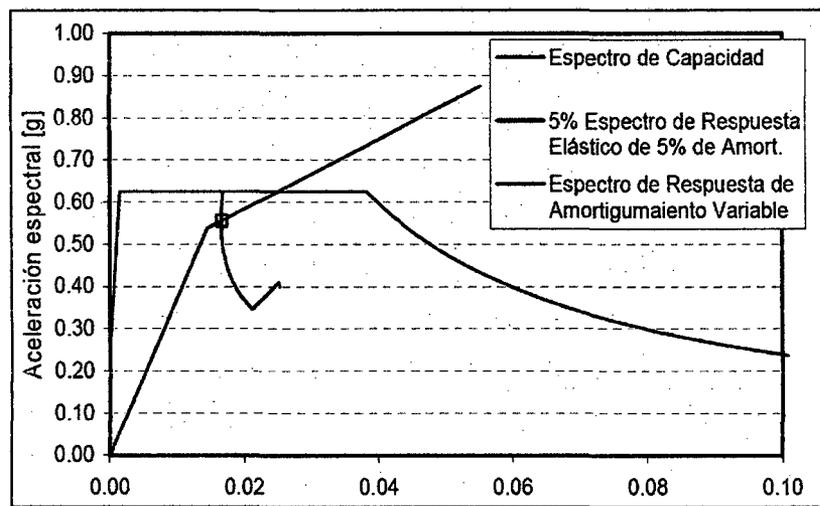


FIGURA 2. 21. Intersección del Espectro de Capacidad y el EDAV (L. Cocco, L. Suárez, M. Ruíz, 2010)

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

2.3.1 CAPACIDAD

La fuerza final esperada (en la flexión, cortante, o la carga axial) de un componente estructural excluyendo los factores de reducción de uso común en el diseño de los elementos de hormigón. La capacidad usualmente se refiere a la fuerza en el punto de rendimiento del elemento o la curva de la capacidad de estructura. (ATC, 1996)

2.3.2 CURVA DE CAPACIDAD

Es la representación de la capacidad dada por la relación entre la fuerza cortante basal y el desplazamiento lateral del techo. La curva de capacidad es generalmente construida para representar la respuesta del primer modo basándose en la suposición de que éste sea el que predomina en la respuesta. (López, De Del Ruíz. 2008)

2.3.3 DEMANDA

Es la cantidad de fuerza o deformación¹ impuesta en un elemento o componente. (FEMA 356, 2000).

2.3.4 DERIVA DE ENTREPISO

Desplazamiento horizontal relativo de entrepisos, calculado como la diferencia de desplazamientos horizontales de dos niveles consecutivos de una edificación divididos por la altura de los entrepisos. (ATC-40, 1996)

2.3.5 DESEMPEÑO ESTRUCTURAL

Es una expresión del comportamiento deseado o del desempeño objetivo que debe ser capaz de alcanzar un edificio sujeto a un determinado nivel de movimiento sísmico. Pueden definirse múltiples niveles de desempeño de la edificación para cada uno de los niveles de movimientos especificados. Su selección debe estar basada en las características de ocupación de la edificación, la importancia de la función de sus instalaciones, las consideraciones económicas relacionadas con los costos de reparación de daño y de interrupción de servicios, la importancia de la edificación en el ámbito histórico y cultural. (SEAOC, 1995).

2.3.6 DIAGRAMA MOMENTO GIRO

Es una representación de los valores obtenidos de la relación Momento Curvatura de un elemento, en la que el giro está representado por la multiplicación del valor de la curvatura por la longitud (L_p) de la rótula plástica. (ATC-40, 1996)

2.3.7 EDIFICACIONES ESENCIALES

Son aquellas edificaciones cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después que ocurra un sismo, como hospitales, centrales de comunicaciones, cuarteles de bomberos y policía, subestaciones eléctricas, reservorios de agua, centros educativos y edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre. También se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, como grandes hornos, depósitos de materiales inflamables o tóxicos. (Norma Técnica E-030)

2.3.8 ESPECTRO DE CAPACIDAD

Es la gráfica de la aceleración espectral (S_A) frente a la relación de desplazamiento espectral (S_D) basado en la curva de capacidad. (FEMA 274, 1997).

2.3.9 ESPECTRO DE DEMANDA

Es el espectro de respuesta reducido utilizado para representar el movimiento del suelo en un sismo en el método de espectro de capacidad. (ATC 40, 1996).

2.3.10 NIVEL DE DESEMPEÑO

Estado limite los daños o condición descrita por el daño físico dentro del edificio, la amenaza a la seguridad de vida de los ocupantes debido a los daños del edificio, y del servicio post-terremoto del edificio.

El nivel de desempeño de un edificio es la combinación del nivel de desempeño estructural y el nivel de desempeño no estructural. (ATC-40, 1996).

2.3.11 NUDO DE CONTROL DE DESPLAZAMIENTO

Es el nudo ubicado en el centro de masa del techo de una edificación usado en el Análisis Estático no Lineal (AENL) para medir los efectos de originados por los movimientos sísmicos en la estructura. (FEMA 356, 2000)

2.3.12 PUNTO DE DESEMPEÑO

Es la intersección del espectro de capacidad con el apropiado espectro de demanda en el método del espectro de capacidad (el desplazamiento del punto de desempeño es equivalente al desplazamiento tope en el método de coeficiente) (ATC 40, 1996).

2.3.13 RÓTULA PLÁSTICA

Una rótula plástica es la zona de daño equivalente en la cual se concentra toda la deformación inelástica. A la rótula plástica le corresponde una

longitud L_p correspondiente a una aproximación de 0.4 a 0.5 veces el peralte del elemento. (Paulay y Priestley, 1992).

2.3.14 RELACIÓN MOMENTO CURVATURA

La relación momento-curvatura es de gran importancia en el diseño de estructuras ante cargas estáticas y dinámicas, ya que de forma rápida se visualiza que tan dúctil y resistente es un miembro. Además, el área bajo la curva representa la energía interna, la parte bajo la región elástica es la energía de deformación acumulada en el miembro, mientras que el área bajo la región de postfluencia corresponde a la energía disipada en las deformaciones plásticas del mismo.

De la relación momento-curvatura se obtiene la máxima capacidad a flexión del elemento M_u , la curvatura última ϕ_u , así como también sus respectivos momento y curvatura de fluencia, de tal forma que estas cantidades pueden compararse con las demandas que se tienen en el diseño. (Hernández, 2009)

2.3.15 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DEL DIAGRAMA DE MOMENTO CURVATURA DE RÓTULAS PLÁSTICAS

Para obtener el diagrama momento curvatura que define una rótula plástica se deberá seguir el siguiente procedimiento:

- i. Seleccionar un valor de deformación máxima del concreto, ϵ_c , para obtener un punto del diagrama momento curvatura.
- ii. Asumir una ubicación del eje neutro "C", y en base a esta ubicación trazar el perfil de deformación a lo largo de la profundidad de la sección. Se supone que la deformación varía linealmente. Por medio de la compatibilidad de deformaciones se determina las deformaciones en cada fila de acero ϵ_s , y en cualquier punto del concreto.
- iii. Con las deformaciones obtenidas, se obtienen los correspondientes esfuerzos del acero y el concreto en base a los modelos de los respectivos materiales.

- iv. En función de los esfuerzos se calculan las fuerzas que actúan sobre la sección de acero y concreto multiplicando a cada esfuerzo por su respectiva área.

- v. La suma vectorial de las fuerzas representa la carga axial neta que gravita sobre la sección. Se ve que exista equilibrio de fuerzas, considerando la carga axial dada. Si no hay equilibrio se repite desde el paso ii) aumentando o disminuyendo la profundidad del eje neutro según sea el caso. El cálculo es iterativo hasta tener el equilibrio.

- vi. Por último se obtiene el momento flector interno que corresponde a la última posición del eje neutro, multiplicando cada fuerza por su brazo respectivo. La curvatura se calcula como la razón de la deformación del concreto sobre la profundidad del eje neutro. (Aguilar, 2003)

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

El análisis estático no lineal que se realizará para la estructura del edificio del Centro Pre Universitario de la Universidad Nacional de Cajamarca considerará todas las características de la misma, como las características y propiedades de los materiales, propiedades geométricas del edificio y de cada uno de sus elementos estructurales y las cargas a las que está expuesta. Todas estas características y propiedades se incluyeron en el modelamiento de la estructura realizado en el programa SAP 2000.

Para el modelamiento de la estructura se consideraron las siguientes propiedades obtenidas de las especificaciones técnicas de los planos estructurales:

3.1.1 PROPIEDADES Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CONCRETO

- ✓ Resistencia a la compresión de vigas, según ensayos con esclerómetro (Ver anexo 01):

$$f'c = 200.63 \text{ kg/cm}^2$$

- ✓ Resistencia a la compresión de columnas, según ensayos con esclerómetro (ver anexo 01):

$$f'c = 198.53 \text{ kg/cm}^2$$

- ✓ Peso unitario:

$$\gamma = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma = 2.4 \text{ Tn/m}^3$$

- ✓ Recubrimiento de columnas y vigas

$$Rec. = 4 \text{ cm.}$$

3.1.2 PROPIEDADES Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ACERO

- ✓ Esfuerzo de fluencia:

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

- ✓ Peso unitario:

$$\gamma = 7850 \text{ kg/m}^3$$

- ✓ Módulo de elasticidad

$$E = 2 \times 10^7 \text{ Tn/m}^2$$

3.2 PROCEDIMIENTO, TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.2.1 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS Y DISEÑO POR DESEMPEÑO EN CONCRETO ARMADO

El análisis y diseño por desempeño aplicado a estructuras de concreto armado, como es el caso de la estructura aporticada del Edificio del Centro Pre Universitario de la Universidad Nacional de Cajamarca, se realiza siguiendo la siguiente metodología, la cual está basada en el procedimiento propuesto por la Applied Technology Council (ATC), en su documento ATC-40 Tomo I, publicado en el 1996.

1. Se realiza el modelamiento de la estructura usando para eso las características geométricas y las propiedades de los materiales que constituyen los elementos de la edificación.
2. Para calcular la resistencia actual del concreto se realizó mediante ensayos con esclerómetro tal como se muestra en el anexo N° 01.
3. Se definen las cargas que actúan sobre la estructura, las cuales son determinadas mediante un metrado de cargas. Sobre el modelo se aplicarán todas las cargas que existan y actúen sobre los elementos estructurales del edificio.

4. Se aplica una fuerza incremental de cortante basal en función del tiempo, la que simula la ocurrencia de un sismo, la cual se distribuirá en cada entrepiso. Esta distribución de fuerzas se realizará en proporción al modo fundamental de la estructura, basados en la hipótesis de que el modo fundamental de la estructura es el modo predominante en la respuesta de la estructura.
5. La cortante basal aplicada se incrementa monotónicamente hasta que se produce la primera cedencia de algún elemento de la estructura. Cuando sucede la primera cedencia se toma nota del valor del cortante y el desplazamiento alcanzado en el nodo de control que se ubica en la parte más alta de la estructura en estudio.
6. Una vez producida la primera cedencia se inicia nuevamente el procedimiento pero ahora con un valor de la rigidez menor del elemento que ya alcanzó su primera cedencia.
7. Los pasos 4 y 5 se repiten hasta que la estructura colapsa debido a la cedencia progresiva de los elementos estructurales que la componen y tomando nota de los valores de la cortante basal y el desplazamiento en el nodo de control, con la finalidad de graficar la curva de capacidad de la estructura.
8. Los valores de la cortante basal y el desplazamiento en el nodo de control registrados en los pasos anteriores se grafican, tomando los valores del cortante basal en el eje de las ordenadas y los valores del desplazamiento en el nodo de control en el eje de las abscisas, con lo que determinaríamos la curva de capacidad de la estructura en estudio.
9. Se realiza una transformación de coordenadas de la curva de capacidad a un formato ADRS, con la finalidad de obtener el espectro de capacidad, la que está compuesta por coordenada de aceleración espectral Vs desplazamiento espectral.

10. A los espectros que definen a cada uno de los sismos de diseño se los sobrepone sobre el espectro de capacidad para hallar el punto de desempeño que se halla con la intersección del espectro de capacidad con el espectro de demanda.

11. Este punto de desempeño se compara con los valores dados por SEAOC en su documento VISION 2000 para determinar el desempeño de la estructura.

3.2.2 DIAGRAMAS DE MOMENTO GIRO

Los diagramas momento giro se obtuvieron a partir de los datos de las relaciones momento curvatura obtenidos con la aplicación de la función Section Designer del programa SAP 2000, para lo cual se modeló las secciones correspondientes a la ubicación de las rótulas plásticas ubicadas en vigas principales, en vigas secundarias y en columnas. Para obtener el giro correspondiente en cada punto representativo del diagrama Momento Giro, y como ya se definió anteriormente, se multiplico cada valor de la curvatura por la longitud de cada rótula plástica (L_p), que está dada por la siguiente fórmula (Paulay y Priestley, 1992)

$$L_p = 0.5 \times h$$

Dónde:

L_p : Longitud de rótula plástica

h : Peralte del elemento

3.2.3 OBTENCIÓN DEL ESPECTRO DE RESPUESTA

Para la determinación del espectro de respuesta se usaron las fórmulas, factores y coeficientes de sitio de la Norma Técnica E-030 (Norma de Diseño Sismorresistente). A continuación se determina toda la información necesaria para elaborar el espectro de respuesta de la estructura para Cajamarca.

a) FACTOR DE ZONA (Z)

Ubicación de la estructura: Cajamarca

Zona: 3

Factor de Zona (Z): 0.4

b) FACTOR DE SUELO (S)

Tipo de perfil del suelo: S₃ (Suelos flexibles o con estratos de gran espesor).

T_P (s): 0.9

Factor de suelo (S): 1.4

c) FACTOR DE AMPLIFICACIÓN SÍSMICA (C)

Este coeficiente se interpreta como el factor de amplificación de la respuesta estructural respecto de la aceleración en el suelo. El factor de amplificación sísmica será determinado usando la siguiente fórmula y aplicando los factores necesarios que anteriormente fueron hallados.

$$C = 2.5 \left(\frac{T_P}{T} \right); C \leq 2.5$$

Dónde:

T_P: Periodo que define la plataforma del espectro para cada tipo de suelo.

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

C: Factor de amplificación sísmica.

d) FACTOR DE USO E IMPORTANCIA (U)

Cada estructura debe ser clasificada de acuerdo con las categorías indicadas en la Tabla 3.1. El coeficiente de uso e importancia (U), definido en la Tabla 3.1 se usará según la clasificación que se haga. (Norma Técnica E-030)

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A Edificaciones Esenciales	Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después que ocurra un sismo, como hospitales, centrales de comunicaciones, cuarteles de bomberos y policía, subestaciones eléctricas, reservorios de agua. Centros educativos y edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre. También se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, como grandes hornos, depósitos de materiales inflamables o tóxicos.	1.50
B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas como teatros, estadios, centros comerciales, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos, bibliotecas y archivos especiales. También se considerarán depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento	1.30
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes, cuya falla ocasionaría pérdidas de cuantía intermedia como viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios, fugas de contaminantes, etc.	1.00
D Edificaciones Menores	Edificaciones cuyas fallas causan pérdidas de menor cuantía y normalmente la probabilidad de causar víctimas es baja, como cercos de menos de 1,50m de altura, depósitos temporales, pequeñas viviendas temporales y construcciones similares.	(*)

TABLA 3. 1. Categoría de las edificaciones. Fuente: Norma Técnica E-030.

De acuerdo con la Norma técnica E-030, la estructura en estudio corresponde a la categoría A.

Factor de Uso e Importancia (U): 1.50

e) COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE SOLICITACIONES SÍSMICAS (R)

Los sistemas estructurales se clasifican según los materiales usados y el sistema de estructuración sismorresistente predominante en cada dirección tal como se indica en la Tabla 3.2 que se muestra a continuación.

SISTEMA ESTRUCTURAL	COEFICIENTE DE REDUCCIÓN (R)
Acero	
Pórticos dúctiles con uniones resistentes a momentos.	9.50
Otras estructuras de acero	
Arriostres Excéntricos.	6.50
Arriostres en Cruz.	6.00
Concreto Armado	
Pórticos.	8.00
Dual.	7.00
De muros estructurales.	6.00
Muros de ductilidad limitada.	4.00
Albañilería Armada o Confinada.	3.00
Madera (Por esfuerzos admisibles)	7.00

TABLA 3. 2. Coeficiente de reducción (R). Fuente: Norma Técnica E-030.

Como la estructura en estudio es un edificio aporticado, entonces el coeficiente R será: 8.00

f) DETERMINACIÓN DE LA ACELERACIÓN ESPECTRAL

El valor de la aceleración espectral se determinará usando la siguiente fórmula:

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

$$g = 9.81 \text{ m/seg}^2$$

Con la información necesaria, anteriormente determinada, se procedió a calcular los valores de los factores de amplificación sísmica para cada periodo T y luego el valor de la aceleración espectral, para así poder hallar el espectro de aceleraciones que se ingresará en el modelo estructural realizado en el SAP2000 para realizar el análisis estático no lineal.

Los valores de los factores de amplificación sísmica y de las aceleraciones espectrales se muestran en la tabla 3.3, que se muestra a continuación.

T	C	SA	T	C	SA	T	C	SA
0.1	2.50	2.58	3.5	0.64	0.66	6.9	0.33	0.34
0.2	2.50	2.58	3.6	0.63	0.64	7.0	0.32	0.33
0.3	2.50	2.58	3.7	0.61	0.63	7.1	0.32	0.33
0.4	2.50	2.58	3.8	0.59	0.61	7.2	0.31	0.32
0.5	2.50	2.58	3.9	0.58	0.59	7.3	0.31	0.32
0.6	2.50	2.58	4.0	0.56	0.58	7.4	0.30	0.31
0.7	2.50	2.58	4.1	0.55	0.57	7.5	0.30	0.31
0.8	2.50	2.58	4.2	0.54	0.55	7.6	0.30	0.30
0.9	2.50	2.58	4.3	0.52	0.54	7.7	0.29	0.30
1.0	2.25	2.32	4.4	0.51	0.53	7.8	0.29	0.30
1.1	2.05	2.11	4.5	0.50	0.52	7.9	0.28	0.29
1.2	1.88	1.93	4.6	0.49	0.50	8.0	0.28	0.29
1.3	1.73	1.78	4.7	0.48	0.49	8.1	0.28	0.29
1.4	1.61	1.66	4.8	0.47	0.48	8.2	0.27	0.28
1.5	1.50	1.55	4.9	0.46	0.47	8.3	0.27	0.28
1.6	1.41	1.45	5.0	0.45	0.46	8.4	0.27	0.28
1.7	1.32	1.36	5.1	0.44	0.45	8.5	0.26	0.27
1.8	1.25	1.29	5.2	0.43	0.45	8.6	0.26	0.27
1.9	1.18	1.22	5.3	0.42	0.44	8.7	0.26	0.27
2.0	1.13	1.16	5.4	0.42	0.43	8.8	0.26	0.26

2.1	1.07	1.10	5.5	0.41	0.42	8.9	0.25	0.26
2.2	1.02	1.05	5.6	0.40	0.41	9.0	0.25	0.26
2.3	0.98	1.01	5.7	0.39	0.41	9.1	0.25	0.25
2.4	0.94	0.97	5.8	0.39	0.40	9.2	0.24	0.25
2.5	0.90	0.93	5.9	0.38	0.39	9.3	0.24	0.25
2.6	0.87	0.89	6.0	0.38	0.39	9.4	0.24	0.25
2.7	0.83	0.86	6.1	0.37	0.38	9.5	0.24	0.24
2.8	0.80	0.83	6.2	0.36	0.37	9.6	0.23	0.24
2.9	0.78	0.80	6.3	0.36	0.37	9.7	0.23	0.24
3.0	0.75	0.77	6.4	0.35	0.36	9.8	0.23	0.24
3.1	0.73	0.75	6.5	0.35	0.36	9.9	0.23	0.23
3.2	0.70	0.72	6.6	0.34	0.35	10.0	0.23	0.23
3.3	0.68	0.70	6.7	0.34	0.35			
3.4	0.66	0.68	6.8	0.33	0.34			

TABLA 3. 3. Valores de la aceleración espectral y de los coeficientes de amplificación.

La siguiente figura muestra el espectro de respuesta que relaciona los valores obtenidos de la aceleración espectral calculados para cada valor del periodo T. (Ver Figura 3.1).

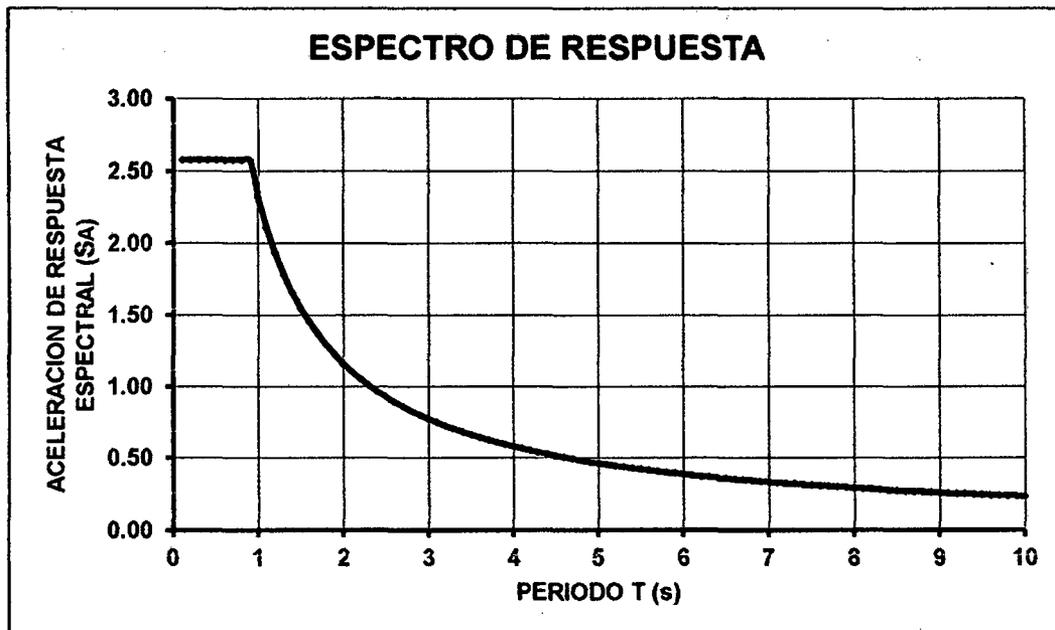


FIGURA 3. 1. Espectro de respuesta calculado.

3.2.4 CURVAS DE CAPACIDAD DE LA ESTRUCTURA

Se obtuvieron dos curvas de capacidad representativas, una para cada sentido del sismo, ya que se realizó el análisis de la estructura aplicando el sismo tanto en dirección del eje X, como en la dirección del eje Y. Para llevar a cabo el análisis estático no lineal se definieron los siguientes casos o combinaciones de carga:

a) Combinación de Carga Gravitacional

Para esto se usó una de las combinaciones carga propuestas por la Norma Técnica E-020, que es la combinación que produzca los efectos más desfavorables. Para el caso en estudio el caso más desfavorable es cuando se suma la carga muerta con la carga viva, por lo que esta combinación de carga será la que se usará para realizar el análisis estático no lineal:

$$CCG = CM + CV$$

b) Casos de Carga No Lineal

Estos casos de carga hacen referencia a la acción sísmica representada por el espectro de respuesta calculado en el ítem 3.3. Para nuestro caso se determinaron dos casos de carga no lineal, uno para la dirección X y otra para la dirección Y.

3.2.4.1 CURVA DE CAPACIDAD PARA EL SISMO EN DIRECCIÓN DEL EJE X

Al someter a la estructura en estudio al análisis incremental de cargas laterales inducidas por el sismo en dirección del eje x se obtuvieron los valores del desplazamiento en el nudo de control ubicado en el punto más alto del techo generados por los correspondientes valores de cortantes basales. A continuación se muestra la tabla 3.4 que contiene dichos valores obtenidos.

PASO	DESPLAZAMIENTO EN EL TECHO (M)	CORTANTE BASAL (TN)
0.00	0.000	0.000
1.00	0.011	90.405
2.00	0.041	209.474
3.00	0.068	272.257
4.00	0.081	288.915
5.00	0.113	315.660
6.00	0.146	339.972
7.00	0.178	361.417
8.00	0.213	386.895
9.00	0.246	413.657
10.00	0.267	429.112

TABLA 3. 4. Valores de los representativos de la curva de capacidad

Como ya se explicó anteriormente al graficar los valores de la tabla 3.4 se obtiene la curva de capacidad estructural que relaciona la cortante basal y el desplazamiento registrado en el techo de la estructura mediante el nudo de control de desplazamientos. La curva de capacidad de la estructura para el sismo aplicado en la dirección X se muestra a continuación en la figura 3.2.

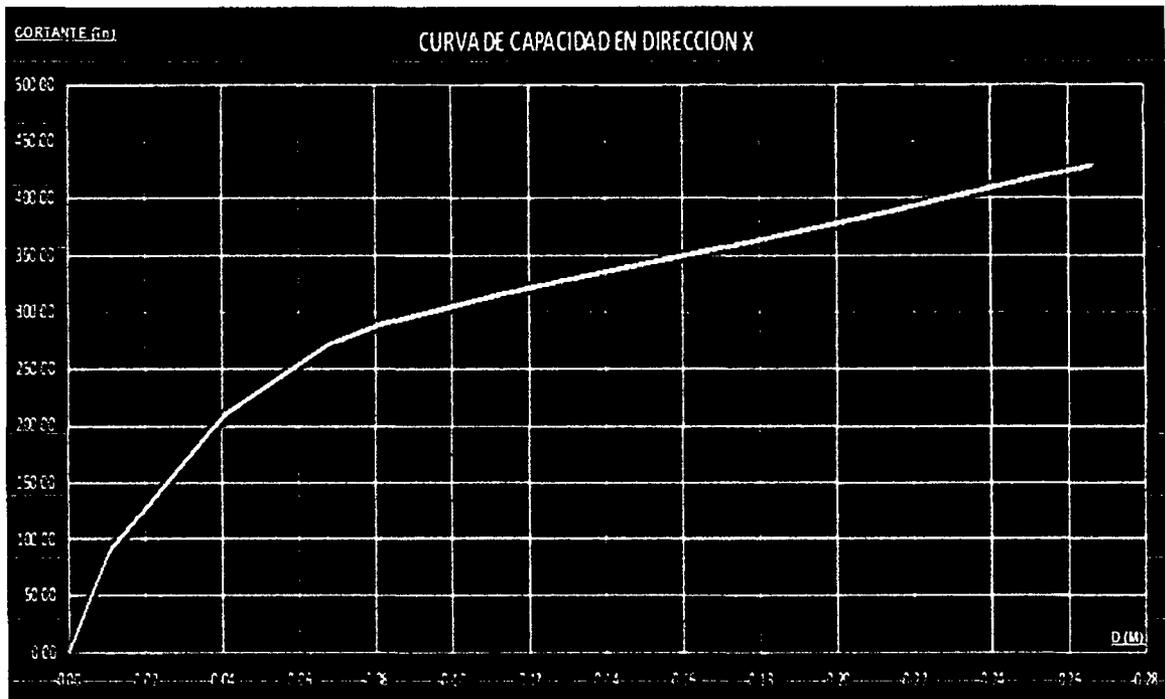


FIGURA 3. 2. Curva de Capacidad (Sismo en X).

Formación de rótulas (Sismo X)

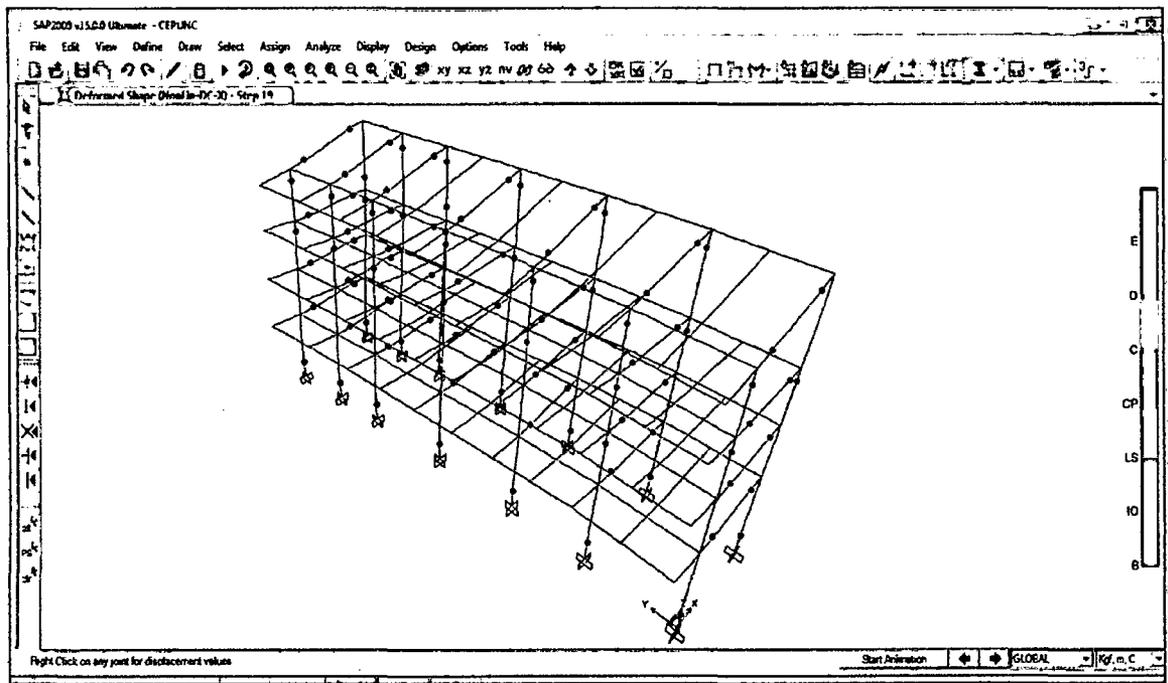


FIGURA 3. 3. Formación de rótulas en SAP 2000 (Sismo en X)

3.2.4.1.1 Sectorización de la Curva de Capacidad en dirección X

Para determinar los cinco niveles de desempeño propuestos por la SEAOC en su documento VISION 2000 es necesario sectorizar la curva de capacidad para así poder limitar a cada nivel de desempeño, asignándole a cada uno un rango con respecto al desplazamiento del nudo de control.

La sectorización de la curva de capacidad es necesaria para poder determinar el nivel de desempeño que desarrolla una estructura frente a un determinado sismo.

El procedimiento a seguir para realizar la sectorización de la curva de capacidad inicia con la obtención de la representación bilineal de la curva de capacidad, para lo que se usó el criterio de las rigideces tangentes, y la determinación del punto de fluencia efectiva que es el punto que separa el rango elástico del rango plástico.

La figura 3.4 muestra la representación bilineal y las coordenadas del punto de fluencia efectiva.

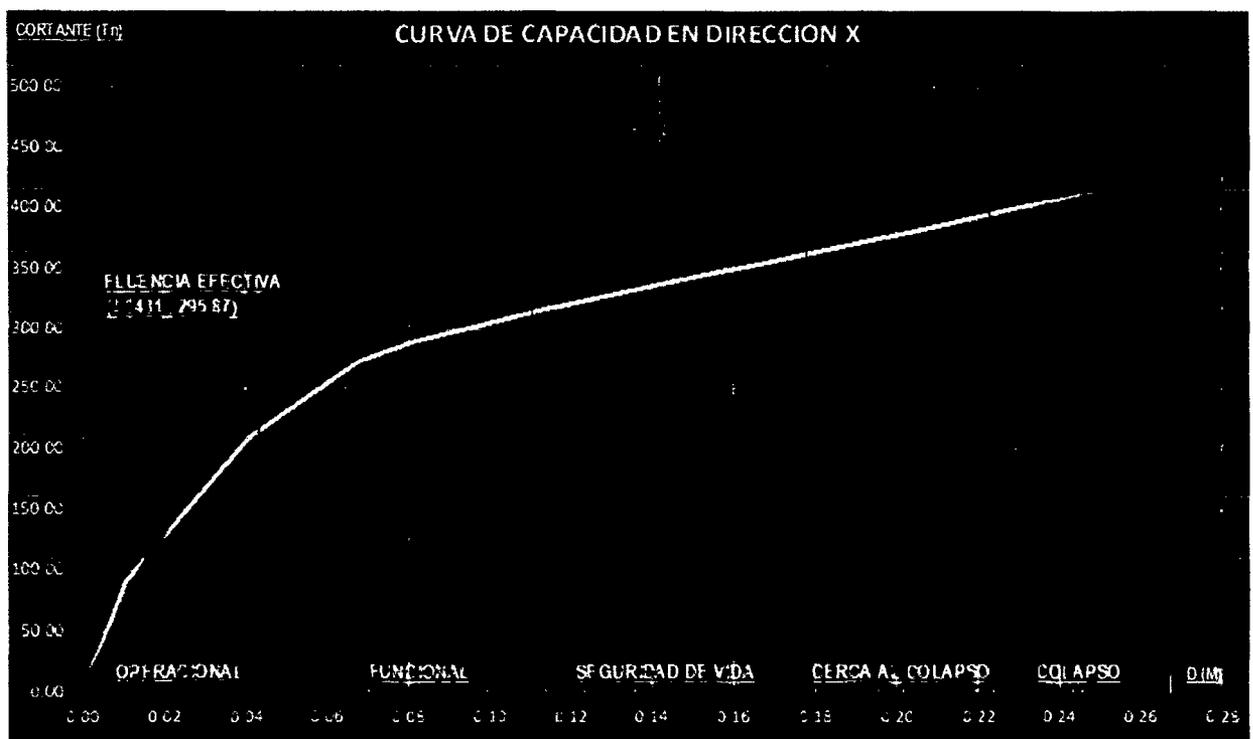


FIGURA 3. 4. Sectorización de la Curva de Capacidad para el Sismo en X.

En la figura se muestra el punto de fluencia efectiva hallado mediante la aplicación del criterio de rigideces tangentes. Las coordenadas del punto de fluencia efectiva son las siguientes.

$$PFE: (0.0431 \text{ m.}, 295.87 \text{ Tn.})$$

Por lo tanto los rangos elástico y plástico quedan delimitados de la siguiente manera en la Tabla 3.5

RANGO	DESPLAZAMIENTO	
	Límite Inferior	Límite Superior
Rango Elástico	0.0000	0.0431
Rango Plástico	0.0431	0.2667

TABLA 3. 5. Límites de los rangos elástico y plástico según la curva de capacidad.

La sectorización de la curva de capacidad en el rango plástico se realizará según el criterio propuesto por la SEAOC conforme a lo que indica la tabla 3.6.

NIVEL DE DESEMPEÑO	DESPLAZAMIENTO	
	Límite Inferior	Límite Superior
Operacional	0	ΔFE
Funcional	ΔFE	$\Delta FE + 0.30\Delta p$
Seguridad de Vida	$\Delta FE + 0.30\Delta p$	$\Delta FE + 0.60\Delta p$
Cerca del Colapso	$\Delta FE + 0.60\Delta p$	$\Delta FE + 0.80\Delta p$
Colapso	$\Delta FE + 0.80\Delta p$	$\Delta FE + \Delta p$

ΔFE : Desplazamiento correspondiente al punto de Fluencia Efectiva. Es el desplazamiento en el rango elástico de la estructura.
 Δp : Rango Plástico

TABLA 3. 6. Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño

Los valores del desplazamiento del nudo de control asociados a cada nivel de desempeño calculado según la tabla 3.6 determinan los valores límites para cada uno de los cinco niveles de desempeño propuestos por la SEAOC. Los resultados del cálculo de los desplazamientos asociados a cada nivel de desempeño se muestran en la tabla 3.7.

NIVEL DE DESEMPEÑO	DESPLAZAMIENTO	
	Límite Inferior (m)	Límite Superior (m)
Operacional	0	0.0431
Funcional	0.0431	0.1102
Seguridad de Vida	0.1102	0.1772
Cerca del Colapso	0.1772	0.2220
Colapso	0.2220	0.2667

TABLA 3. 7. Valores de desplazamiento para cada nivel de desempeño

Los valores obtenidos son importantes para poder determinar en qué nivel de desempeño se encuentra la estructura de acuerdo a punto de desempeño que se evaluará más adelante para cada sismo de diseño.

3.2.4.2 CURVA DE CAPACIDAD PARA EL SISMO EN DIRECCIÓN DEL EJE Y

Al someter a la estructura en estudio al análisis incremental de cargas laterales inducidas por el sismo en dirección del eje Y se obtuvieron los valores del desplazamiento en el nudo de control ubicado en el punto más alto del techo generados por los correspondientes valores de cortantes basales. A continuación se muestra la tabla 3.8 que contiene dichos valores obtenidos.

PASO	DESPLAZAMIENTO EN EL TECHO (M)	CORTANTE BASAL (TN)
0.00	0.000	0.000
1.00	0.030	201.505
2.00	0.033	222.486
3.00	0.039	255.466
4.00	0.044	269.284
5.00	0.052	279.241
6.00	0.086	313.861
7.00	0.117	344.773
8.00	0.122	348.971

TABLA 3. 8. Valores de los representativos de la curva de capacidad

La Gráfica 3.5 muestra la curva de capacidad estructural cuando el sismo es aplicado en la dirección Y, la cual fue obtenida con los datos de la Tabla 3.8.

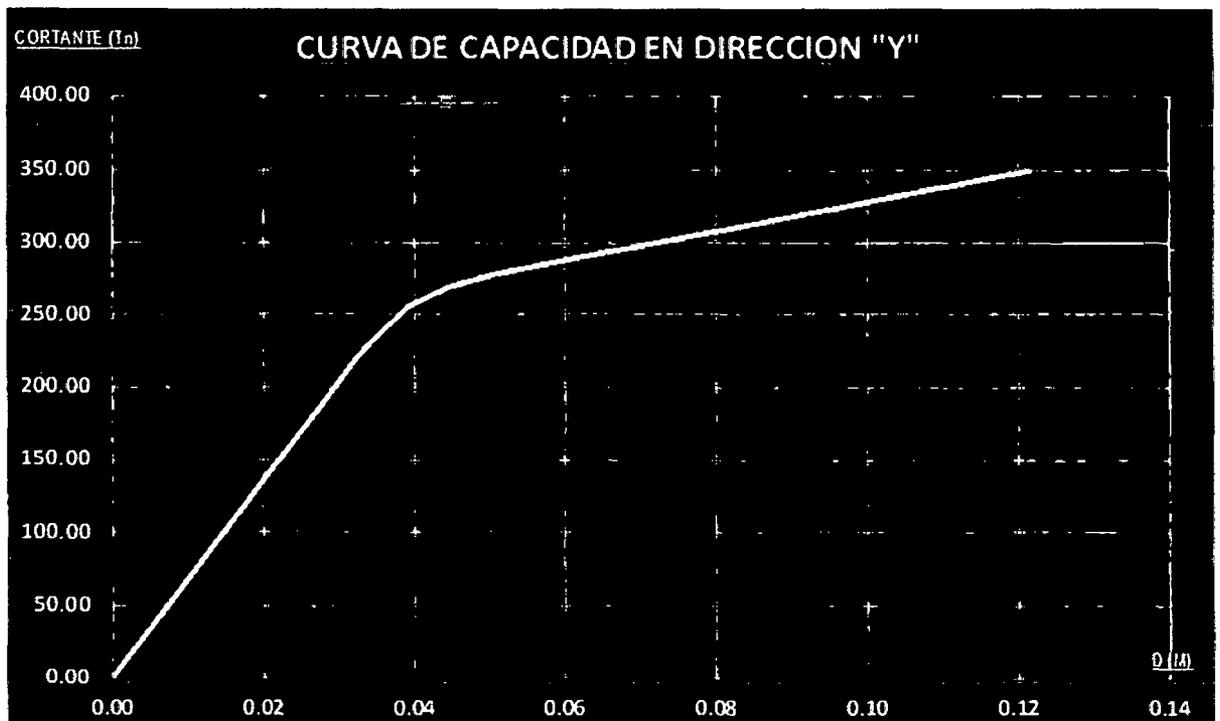


FIGURA 3. 5. Curva de Capacidad (Sismo en Y).

Formación de rótulas (Sismo Y)

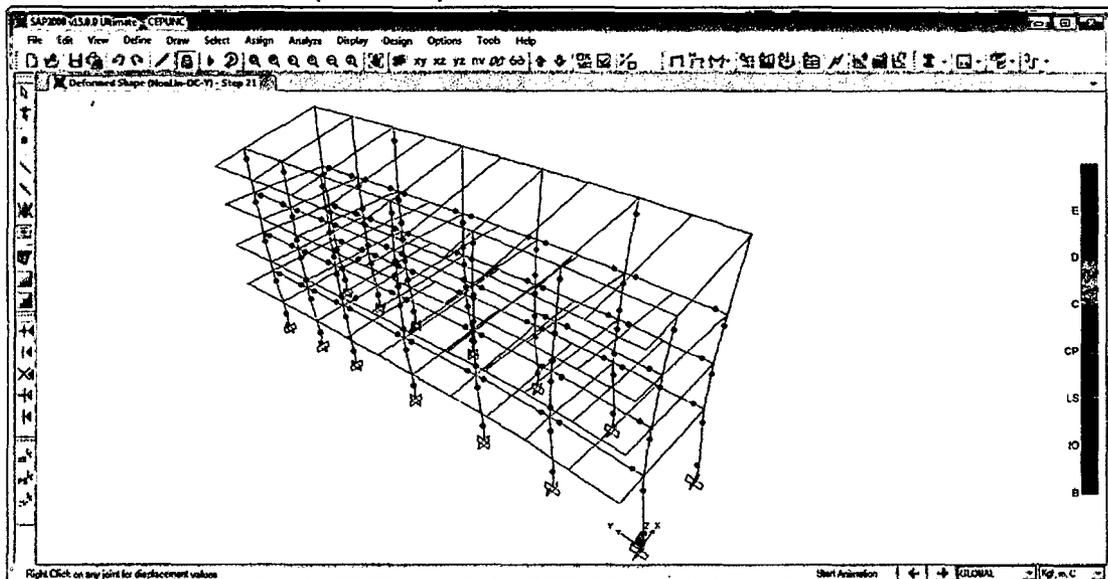


FIGURA 3. 6. Formación de rótulas en SAP 2000 (Sismo Y)

3.2.4.2.1 Sectorización de la Curva de Capacidad en la dirección Y

El procedimiento a seguir para realizar la sectorización de la curva de capacidad estructuras para el sismo aplicado en dirección al eje Y será el mismo que el aplicado para la dirección X.

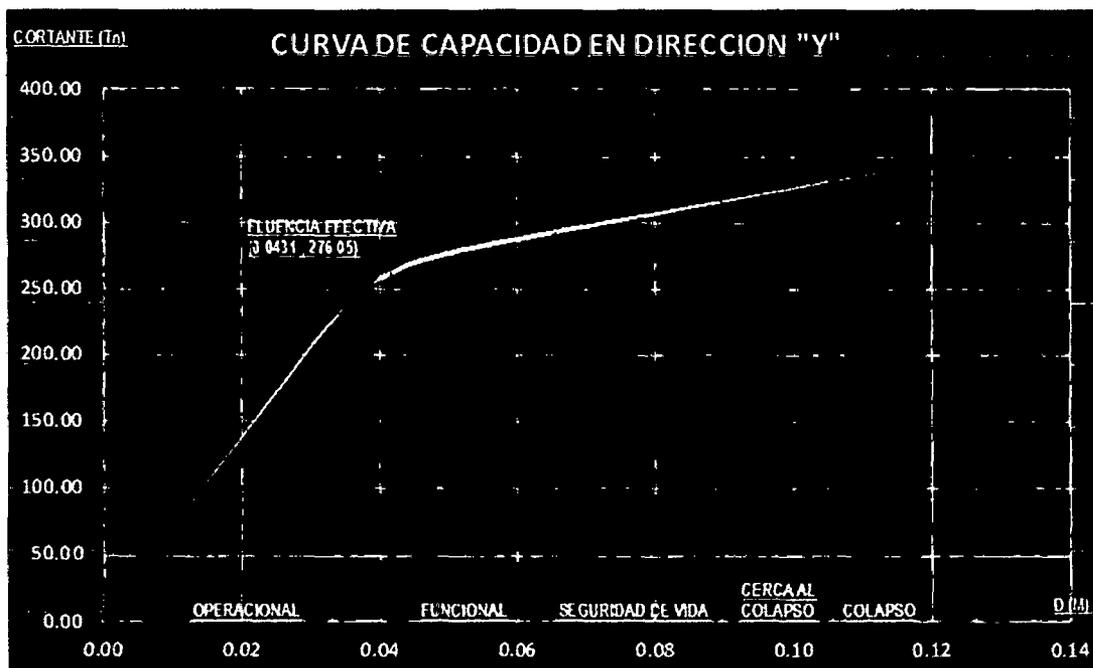


FIGURA 3. 7. Sectorización de la Curva de Capacidad para el Sismo en Y.

En la figura 3.7 se muestra el punto de fluencia efectiva de coordenadas:

$$PFE: (0.0431 \text{ m.}, 276.05 \text{ Tn.})$$

Por lo tanto los rangos elástico y plástico quedan delimitados de la siguiente manera en la Tabla 3.9:

RANGO	DESPLAZAMIENTO	
	Límite Inferior	Límite Superior
Rango Elástico	0.0000	0.0431
Rango Plástico	0.0431	0.1216

TABLA 3. 9. Límites de los rangos elástico y plástico según la curva de capacidad.

La sectorización de la curva de capacidad se realizará según el criterio propuesto por la SEAOC conforme a lo que indica la tabla 3.6.

Los valores del desplazamiento del nudo de control asociados a cada nivel de desempeño calculado según la tabla 3.6 determinan los valores límites para cada uno de los cinco niveles de desempeño propuestos por la SEAOC. Los resultados del cálculo de los desplazamientos asociados a cada nivel de desempeño se muestran en la tabla 3.10.

NIVEL DE DESEMPEÑO	DESPLAZAMIENTO	
	Límite Inferior (m)	Límite Superior (m)
Operacional	0	0.0431
Funcional	0.0431	0.0666
Seguridad de Vida	0.0666	0.0902
Cerca del Colapso	0.0902	0.1059
Colapso	0.1059	0.1216

TABLA 3. 10. Valores de desplazamiento para cada nivel de desempeño

3.2.5 DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE DESEMPEÑO SÍSMICO

Como ya se indicó, la estructura en estudio corresponde a la categoría A (Edificación Esencial) de la Norma Técnica de Diseño Sismorresistente E-030, por lo que para determinar sus puntos de desempeño, se evaluará para los cuatro sismos de diseño que indica la SEAOC en su documento VISION 2000

1: Instalaciones Básicas 2: Instalaciones Esenciales 3: Instalaciones de Seguridad Crítica 0: Desempeño Inaceptable		Nivel de Desempeño Sísmico			
		Operacional	Funcional	Seguridad de Vida	Cerca al Colapso
Nivel del Movimiento Sísmico	Frecuente (T=43 años)	1	0	0	0
	Ocasional (T=72 años)	I. Esencial	1	0	0
	Raro (T=475 años)	3	I. Esencial	1	0
	Muy Raro (T=970 años)	-	3	I. Esencial	1

TABLA 3. 11. Niveles de Desempeño Alcanzados por Edificaciones Esenciales para los sismos indicados

Se calculó los puntos de desempeño para los sismos frecuente, ocasional, raro y muy raro, para el caso del sismo aplicado en la dirección X y para el sismo

aplicado en la dirección Y. Para esto se usaron los coeficientes sísmicos C_a y C_v indicados a continuación para cada tipo de sismo.

Sismo de Diseño	C_a	C_v
Frecuente	0.20	0.20
Ocasional	0.25	0.25
Raro	0.40	0.40
Muy Raro	0.50	0.50

TABLA 3. 12. Coeficientes sísmicos para cada sismo

3.2.5.1 PUNTOS DE DESEMPEÑO DE LA ESTRUCTURA PARA SISMO EN X

En la Tabla 3.13 se muestran los puntos de desempeño estructural para los sismos indicados aplicados en la dirección X, los cuales están representados en dos tipos de coordenadas que son los de desplazamiento del nudo de control Δ versus la cortante basal V y también en coordenadas ADRS, representados como el desplazamiento espectral S_D versus la aceleración espectral S_A . Para nuestro análisis del nivel de desempeño de la estructura usaremos el par correspondiente a (Δ, V) , debido a que la curva de capacidad se encuentra graficada en estas coordenadas y la sectorización de los niveles de desempeño sísmico se realizó en dichas curvas de capacidad.

DIRECCIÓN	SISMO	V (Tn)	Δ (m)	S_A (g)	S_D (m)	T (seg)
X	E-0.30	230.682	0.027	0.223	0.030	0.732
	Ocasional	263.368	0.041	0.255	0.037	0.766
	Raro	313.912	0.088	0.305	0.060	0.890
	Muy Raro	339.312	0.122	0.327	0.078	0.978

TABLA 3. 13. Puntos de desempeño (dirección X) para los sismos indicados

3.2.5.2 PUNTOS DE DESEMPEÑO DE LA ESTRUCTURA PARA SISMO EN Y

En la Tabla 3.14 se muestran los puntos de desempeño estructural para los sismos indicados aplicados en la dirección Y, representados en dos tipos de coordenadas como ya se indicó en el ítem anterior.

DIRECCIÓN	SISMO	V (Tn)	Δ (m)	S_A (g)	S_D (m)	T (seg)
Y	E-0.30	260.225	0.036	0.243	0.033	0.740
	Ocasional	273.054	0.041	0.254	0.039	0.783
	Raro	299.062	0.072	0.279	0.062	0.934
	Muy Raro	318.287	0.087	0.298	0.080	1.039

TABLA 3. 14. Puntos de desempeño (dirección Y) para los sismos indicado.

3.2.5.3 NIVELES DE DESEMPEÑO PARA LOS SISMOS APLICADOS EN LA DIRECCIÓN X

Los desplazamientos de los puntos de desempeño para los sismos en dirección X se muestran en la tabla 3.15.

DIRECCIÓN	SISMO	Δ (m)
X	E-0.30	0.027
	Ocasional	0.041
	Raro	0.088
	Muy Raro	0.122

TABLA 3. 15. Desplazamiento de los puntos de desempeño

Estos valores se compararán con los valores de la sectorización de la curva de capacidad para el sismo en dirección en X, mostrados en la tabla 3.16.

NIVEL DE DESEMPEÑO	DESPLAZAMIENTO	
	Límite Inferior (m)	Límite Superior (m)
Operacional	0	0.0431
Funcional	0.0431	0.1102
Seguridad de Vida	0.1102	0.1772
Cerca del Colapso	0.1772	0.2220
Colapso	0.2220	0.2667

TABLA 3. 16. Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño (Sismo en X)

**a. Nivel de desempeño para el espectro de respuesta calculado
según norma E-030**

Para este espectro se halló que el desplazamiento del punto de desempeño es de:

$$\Delta = 0.027 \text{ m}$$

De acuerdo a esto, el desplazamiento obtenido se encuentra dentro del rango del **nivel operacional** que varía entre los valores siguientes

$$0.000 < \Delta = 0.027 \text{ m} < 0.0431 \text{ m}$$

b. Nivel de desempeño para el sismo ocasional

Para este sismo se halló que el desplazamiento del punto de desempeño es de:

$$\Delta = 0.041 \text{ m}$$

De acuerdo a esto, el desplazamiento obtenido se encuentra dentro del rango del **nivel operacional** que varía entre los valores siguientes

$$0.000 < \Delta = 0.041 \text{ m} < 0.0431 \text{ m}$$

c. Nivel de desempeño para el sismo raro

Para este sismo se halló que el desplazamiento del punto de desempeño es de:

$$\Delta = 0.088 \text{ m}$$

De acuerdo a esto, el desplazamiento obtenido se encuentra dentro del rango del **Nivel funcional** que varía entre los valores siguientes

$$0.0431 \text{ m} < \Delta = 0.088 \text{ m} < 0.1102 \text{ m}$$

d. Nivel de desempeño para el sismo muy raro

Para este sismo se halló que el desplazamiento del punto de desempeño es de:

$$\Delta = 0.122 \text{ m}$$

De acuerdo a esto, el desplazamiento obtenido se encuentra dentro del rango del **Nivel seguridad de vida** que varía entre los valores siguientes

$$0.1102 \text{ m} < \Delta = 0.122 \text{ m} < 0.1772 \text{ m}$$

La tabla 3.17 muestra con un **aspa** el desempeño alcanzado y muestra también como la casilla sombreada de color verde los niveles de desempeño sísmico que debería alcanzar la estructura.

INSTALACIÓN ESENCIAL		Nivel de Desempeño Sísmico			
		Operacional	Funcional	Seguridad de Vida	Cerca al Colapso
Nivel del Movimiento Sísmico	E-0.30	X			
	Ocasional (T=72 años)	X			
	Raro (T=475 años)		X		
	Muy Raro (T=970 años)			X	

TABLA 3. 17. Comparación entre los niveles alcanzados para sismos en X y los niveles según la SEAOC

3.2.5.4 NIVELES DE DESEMPEÑO PARA LOS SISMOS APLICADOS EN LA DIRECCIÓN Y

Los desplazamiento de los puntos de desempeño para los sismo en dirección Y se muestran en la tabla 3.18.

DIRECCIÓN	SISMO	Δ (m)
Y	E-030	0.036
	Ocasional	0.041
	Raro	0.072
	Muy Raro	0.087

TABLA 3. 18. Desplazamiento de los puntos de desempeño alcanzados para cada sismo

Estos valores se compararán con los valores de la sectorización de la curva de capacidad para el sismo en dirección en Y, mostrados en la tabla 3.19.

NIVEL DE DESEMPEÑO	DESPLAZAMIENTO	
	Límite Inferior (m)	Límite Superior (m)
Operacional	0	0.0431
Funcional	0.0431	0.0666
Seguridad de Vida	0.0666	0.0902
Cerca del Colapso	0.0902	0.1059
Colapso	0.1059	0.1216

TABLA 3. 19. Rangos de desplazamiento para cada nivel de desempeño (Sismo en Y)

a. Nivel de desempeño para el espectro de respuesta calculado según norma E-030

Para este espectro se halló que el desplazamiento del punto de desempeño es de:

$$\Delta = 0.036 \text{ m}$$

De acuerdo a esto, el desplazamiento obtenido se encuentra dentro del rango del **Nivel operacional** que varía entre los valores siguientes

$$0.000 \text{ m} < \Delta = 0.036 \text{ m} < 0.0431 \text{ m}$$

b. Nivel de desempeño para el sismo ocasional

Para este sismo se halló que el desplazamiento del punto de desempeño es de:

$$\Delta = 0.041 \text{ m}$$

De acuerdo a esto, el desplazamiento obtenido se encuentra dentro del rango del **Nivel operacional** que varía entre los valores siguientes

$$0.0000 \text{ m} < \Delta = 0.041 \text{ m} < 0.0431 \text{ m}$$

c. Nivel de desempeño para el sismo raro

Para este sismo se halló que el desplazamiento del punto de desempeño es de:

$$\Delta = 0.072 \text{ m}$$

De acuerdo a esto, el desplazamiento obtenido se encuentra dentro del rango del **Nivel seguridad de vida** que varía entre los valores siguientes

$$0.0666 \text{ m} < \Delta = 0.072 \text{ m} < 0.0902 \text{ m}$$

d. Nivel de desempeño para el sismo muy raro

Para este sismo se halló que el desplazamiento del punto de desempeño es de:

$$\Delta = 0.087 \text{ m}$$

De acuerdo a esto, el desplazamiento obtenido se encuentra dentro del rango del **Nivel de seguridad de vida** que varía entre los valores siguientes

$$0.0666 \text{ m} < \Delta = 0.087 \text{ m} < 0.0902$$

La grafica 3.20 muestra con un aspa el desempeño alcanzado y muestra también como la casilla sombreada de color verde los niveles de desempeño sísmico que debería alcanzar la estructura.

INSTALACIÓN ESENCIAL		Nivel de Desempeño Sísmico			
		Operacional	Funcional	Seguridad de Vida	Cerca al Colapso
Nivel del Movimiento Sísmico	E-0.30	X			
	Ocasional (T=72 años)	X			
	Raro (T=475 años)			X	
	Muy Raro (T=970 años)			X	

TABLA 3. 20. Comparación entre los niveles alcanzados para sismos en Y y los niveles según la SEAOC

La Norma Técnica de Diseño Sismorresistente E-030, establece que para estructuras de concreto armado la deriva (desplazamiento de entrepiso dividido entre la altura del entrepiso) no debe exceder el 0.007, o su equivalente en porcentaje, el 0.7 %.

$$\frac{\Delta}{h_e} \leq 0.007$$

A continuación se muestran los resultados obtenidos del análisis estático no lineal para los desplazamientos laterales de la estructura para los sismos en la dirección X y Y.

3.2.6 DESPLAZAMIENTOS LATERALES Y DERIVAS

3.2.6.1 DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS PARA SISMOS DIRECCIÓN X

a. Desplazamientos y derivas para el espectro de respuesta calculado según norma E-030

A continuación se muestran los valores obtenidos del desplazamiento lateral y sus correspondientes valores calculados de deriva.

N° PISO	DESPLAZAMIENTO (M)	ALTURA (M)	DERIVA	DERIVA %
PISO 01	0.0160	4.8500	0.0033	0.3299
PISO 02	0.0290	7.9000	0.0043	0.4262
PISO 03	0.0430	10.9500	0.0046	0.4590
PISO 04	0.0500	15.3000	0.0016	0.1609

TABLA 3. 21. Deriva para el espectro calculado según norma E-030 en dirección X

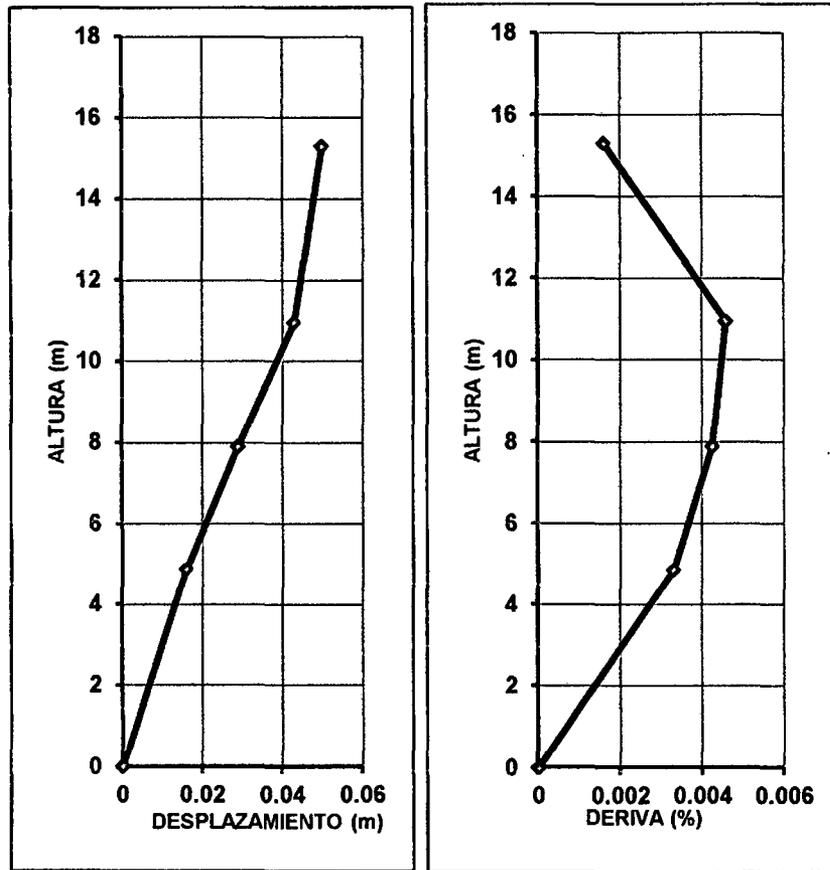


FIGURA 3. 8. Desplazamientos laterales y derivas de entre piso para el espectro de respuesta según E-030 (Dirección X)

b. Desplazamientos y derivas para el sismo ocasional en dirección X

N° PISO	DESPLAZAMIENTO (M)	ALTURA (M)	DERIVA	DERIVA %
PISO 01	0.0190	4.8500	0.0039	0.3918
PISO 02	0.0370	7.9000	0.0059	0.5902
PISO 03	0.0540	10.9500	0.0056	0.5574
PISO 04	0.0640	15.3000	0.0023	0.2299

TABLA 3. 22. Deriva para sismo ocasional en dirección X

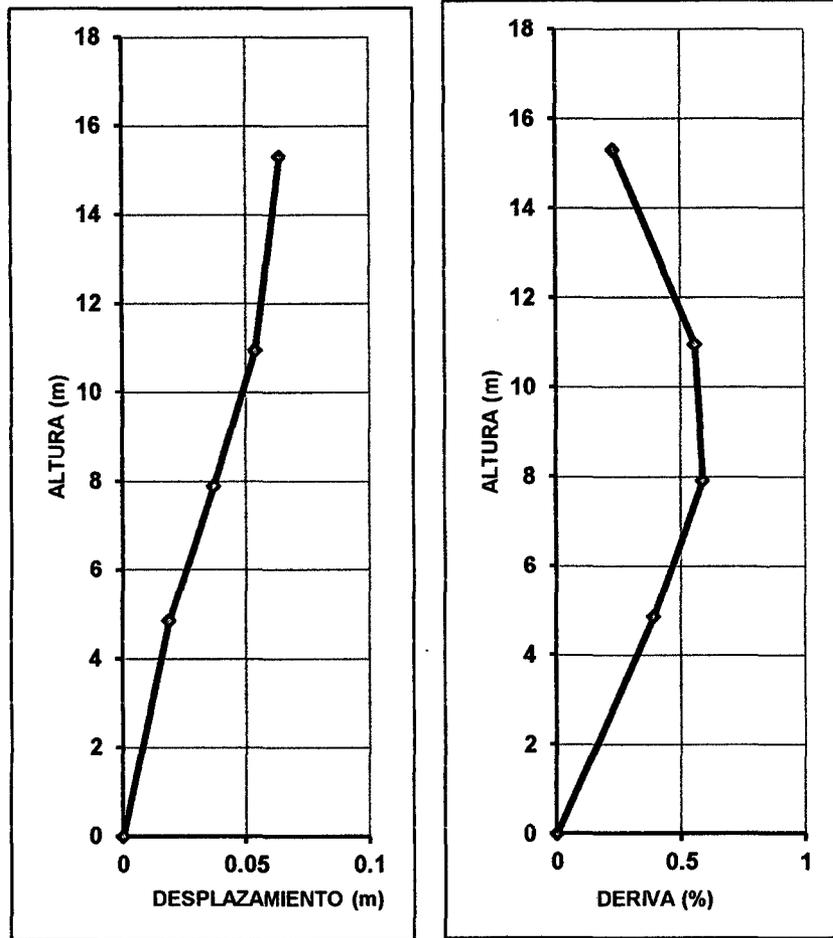


FIGURA 3. 9. Desplazamientos laterales y derivas de entre piso sismo ocasional (Dirección X)

c. Desplazamientos y derivas para el sismo raro en dirección X

N° PISO	DESPLAZAMIENTO (M)	ALTURA (M)	DERIVA	DERIVA %
PISO 01	0.0350	4.8500	0.0072	0.7216
PISO 02	0.0640	7.9000	0.0095	0.9508
PISO 03	0.0910	10.9500	0.0089	0.8852
PISO 04	0.1110	15.3000	0.0046	0.4598

TABLA 3. 23. Deriva para sismo raro en dirección X

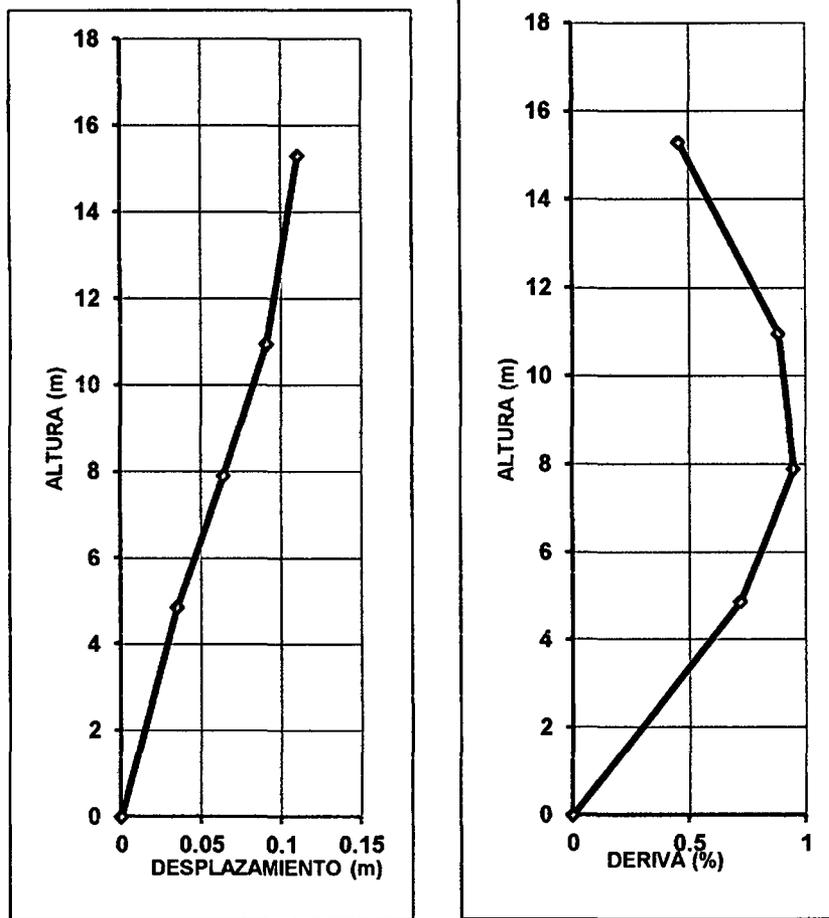


FIGURA 3. 10. Desplazamientos laterales y derivas de entre piso sismo raro (Dirección X)

d. Desplazamientos y derivas para el sismo muy raro en dirección X

N° PISO	DESPLAZAMIENTO (M)	ALTURA (M)	DERIVA	DERIVA %
PISO 01	0.0470	4.8500	0.0097	0.9691
PISO 02	0.0840	7.9000	0.0121	1.2131
PISO 03	0.1190	10.9500	0.0115	1.1475
PISO 04	0.1450	15.3000	0.0060	0.5977

TABLA 3. 24. Deriva para sismo muy raro en dirección X

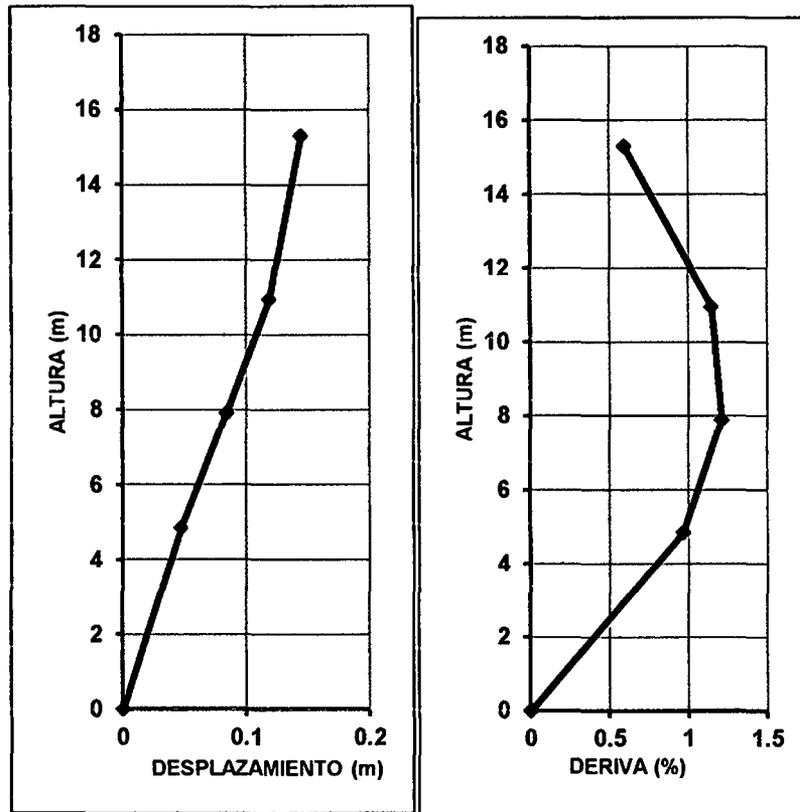


FIGURA 3. 11. Desplazamientos laterales y derivas de entre piso sismo muy raro (Dirección X)

3.2.6.2 DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS PARA SISMOS DIRECCIÓN Y

a. Desplazamientos y Derivas para Sismo espectro de respuesta
calculado según norma E-030

N° PISO	DESPLAZAMIENTO (M)	ALTURA (M)	DERIVA	DERIVA %
PISO 01	0.0220	4.8500	0.0045	0.4536
PISO 02	0.0310	7.9000	0.0030	0.2951
PISO 03	0.0370	10.9500	0.0020	0.1967
PISO 04	0.0410	15.3000	0.0009	0.0920

TABLA 3. 25. Deriva para sismo calculado según norma E-030 en dirección X

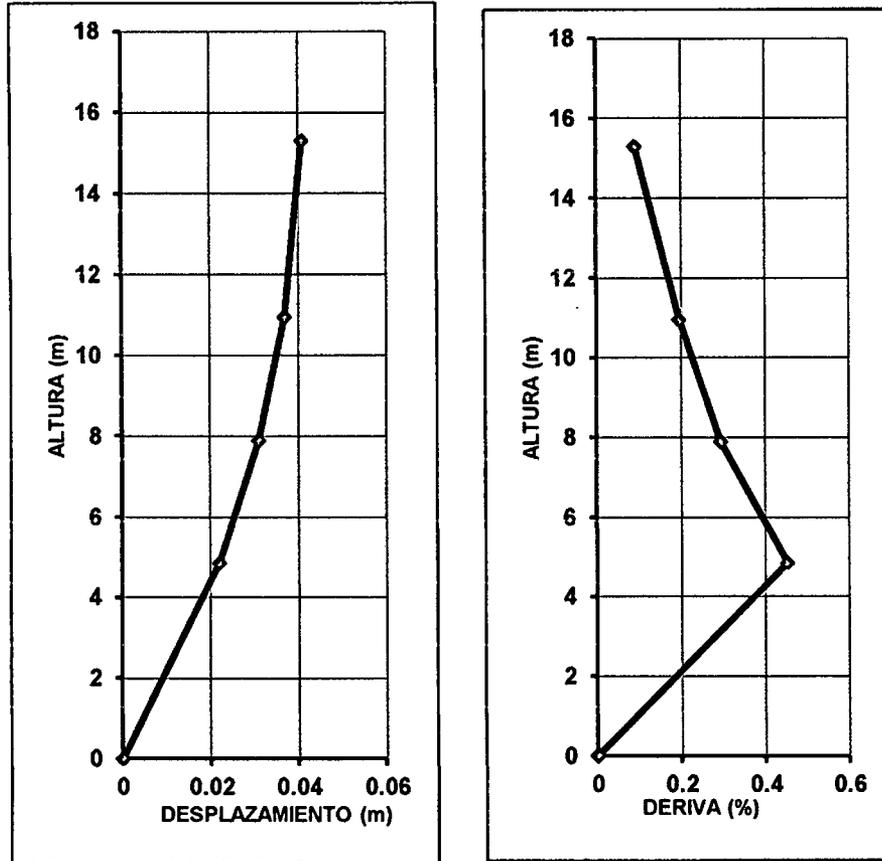


FIGURA 3. 12. Desplazamientos laterales y derivas de entre piso para el espectro de respuesta según E-030 (Dirección Y)

b. Desplazamientos y derivas para sismo ocasional en dirección Y

N° PISO	DESPLAZAMIENTO (M)	ALTURA (M)	DERIVA	DERIVA %
PISO 01	0.0280	4.8500	0.0058	0.5773
PISO 02	0.0370	7.9000	0.0030	0.2951
PISO 03	0.0430	10.9500	0.0020	0.1967
PISO 04	0.0470	15.3000	0.0009	0.0920

TABLA 3. 26. Deriva para sismo ocasional en dirección Y

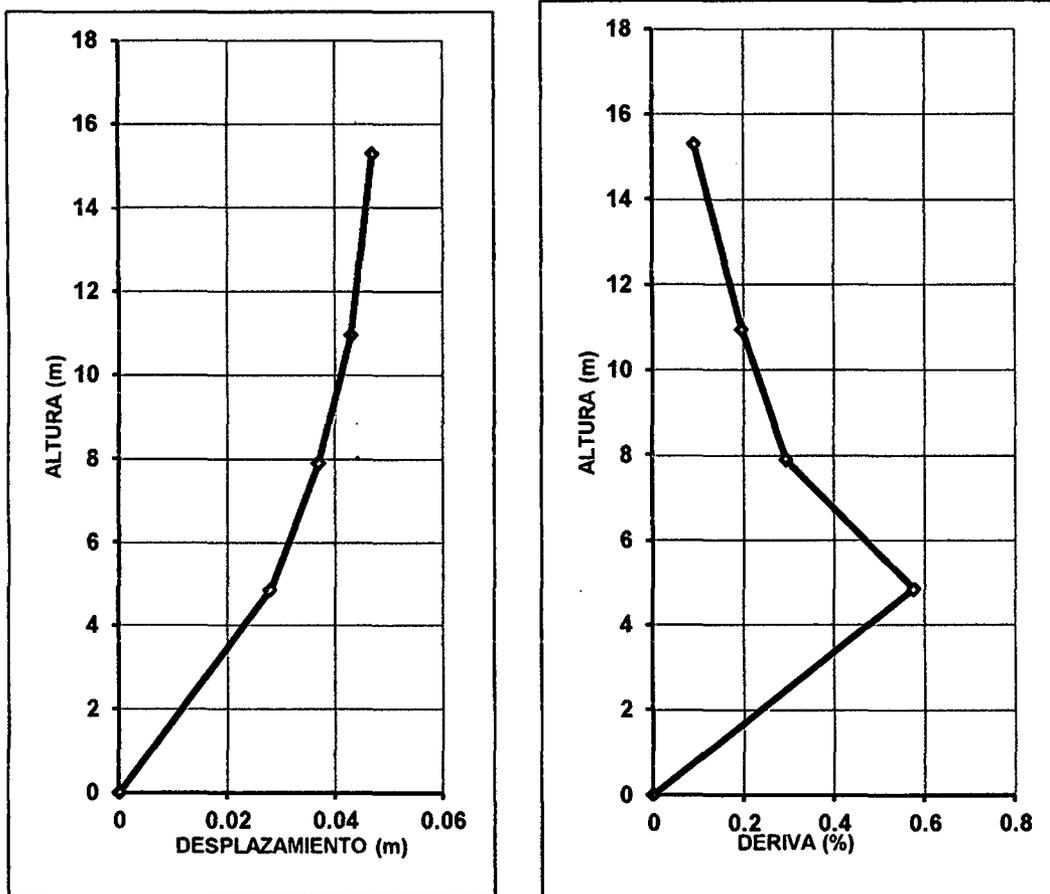


FIGURA 3. 13. Desplazamientos laterales y derivas de entre piso para sismo ocasional (Dirección Y)

c. Desplazamientos y derivas para sismo raro en dirección Y

N° PISO	DESPLAZAMIENTO (M)	ALTURA (M)	DERIVA	DERIVA %
PISO 01	0.0480	4.8500	0.0099	0.9897
PISO 02	0.0590	7.9000	0.0036	0.3607
PISO 03	0.0670	10.9500	0.0026	0.2623
PISO 04	0.0720	15.3000	0.0011	0.1149

TABLA 3. 27. Deriva para sismo raro en dirección Y

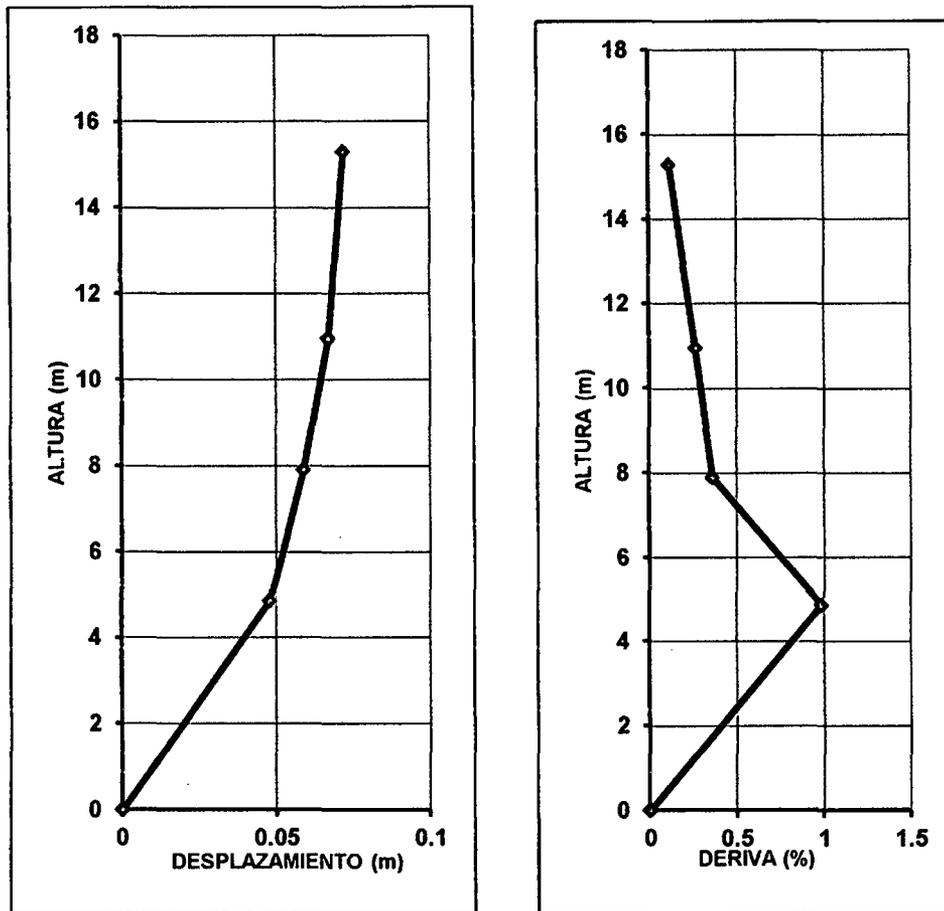


FIGURA 3. 14. Desplazamientos laterales y derivas de entre piso para sismo raro (Dirección Y)

d. Desplazamientos y derivas para sismo muy raro en dirección Y

N° PISO	DESPLAZAMIENTO (M)	ALTURA (M)	DERIVA	DERIVA %
PISO 01	0.0670	4.8500	0.0138	1.3814
PISO 02	0.0790	7.9000	0.0039	0.3934
PISO 03	0.0860	10.9500	0.0023	0.2295
PISO 04	0.0910	15.3000	0.0011	0.1149

TABLA 3. 28. Deriva para sismo muy raro en dirección Y

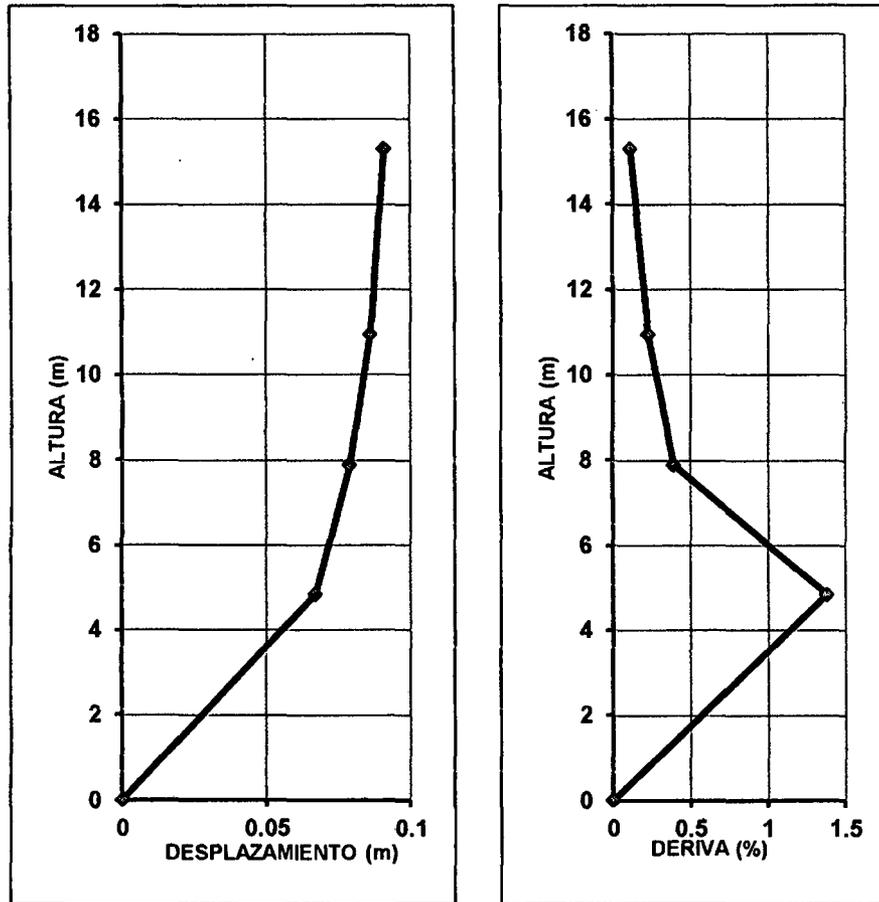


FIGURA 3. 15. Desplazamientos laterales y derivas de entre piso para sismo muy raro (Dirección Y)

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. NIVELES DE DESEMPEÑO ALCANZADO

a. NIVELES DE DESEMPEÑO ALCANZADOS PARA LOS SISMOS APLICADOS EN X

Los resultados que muestran la tabla 3.17 indican que para el espectro de respuesta calculado según la norma E-030 y el sismo ocasional, la estructura alcanza el nivel de desempeño operacional; es el nivel de desempeño en el cual no ocurren daños. Las consecuencias sobre los usuarios de las instalaciones son despreciables. La edificación permanece totalmente segura para sus ocupantes. Todo el contenido y los servicios de la edificación permanecen funcionales y disponibles para su uso. En general no se requieren reparaciones. Por lo tanto alcanzan el nivel de desempeño sugerido por la SEAOC ya que al tratarse de un sismo ocasional el límite permisible es el nivel de desempeño operacional.

Para el sismo raro, la estructura alcanza el nivel funcional. Este es el nivel de desempeño en el cual ocurren daños moderados en elementos no estructurales y en el contenido de la edificación, e incluso algunos daños ligeros en elementos estructurales. El daño es limitado y no compromete la seguridad de la edificación que debería permanecer disponible para cumplir con sus funciones normales inmediatamente después del sismo, aunque los daños en elementos no estructurales y contenido, puede interrumpir parcialmente algunas funciones. En general, se requieren algunas reparaciones menores necesarias para el reinicio de las actividades que se puedan llevar a cabo en la estructura. Esto indica que la estructura se desempeña de manera correcta para un sismo de este nivel, ya que cumple con lo indicado por la SEAOC.

Para el sismo muy raro la estructura alcanza el de seguridad de vida. Este es el nivel de desempeño en el cual ocurren daños moderados en elementos estructurales, no estructurales y en el contenido de la edificación, degradación de la rigidez lateral y la capacidad resistente

del sistema, interrupción de servicios eléctricos, mecánicos y perturbación de las vías de escape de la edificación. Las instalaciones quedan fuera de servicio y el edificio probablemente requerirá reparaciones importantes. Esto indica que la estructura se desempeña lo esperado, ya que para este sismo la SEAOC considera que la estructura podría alcanzar el nivel de desempeño alcanzado.

b. NIVELES DE DESEMPEÑO ALCANZADOS PARA LOS SISMOS APLICADOS EN Y

Los resultados que muestran la tabla 3.20 indican que para el espectro de respuesta calculado según la norma E-030 y el sismo ocasional, la estructura alcanza el nivel de desempeño operacional; es el nivel de desempeño en el cual no ocurren daños. Las consecuencias sobre los usuarios de las instalaciones son despreciables. La edificación permanece totalmente segura para sus ocupantes. Todo el contenido y los servicios de la edificación permanecen funcionales y disponibles para su uso. En general no se requieren reparaciones. Por lo tanto alcanzan el nivel de desempeño sugerido por la SEAOC ya que al tratarse de un sismo ocasional el límite permisible es el nivel de desempeño operacional.

Para el sismo raro, la estructura alcanza el nivel de seguridad de vida, lo que indica que la estructura no se desempeña de manera correcta para un sismo de este nivel, ya que no cumple con lo indicado por la SEAOC. Para este tipo de sismo le corresponde el nivel de desempeño funcional. Este es el nivel de desempeño alcanzado por el sismo raro es en el cual ocurren daños moderados en elementos estructurales, no estructurales y en el contenido de la edificación, degradación de la rigidez lateral y la capacidad resistente del sistema, interrupción de servicios eléctricos, mecánicos y perturbación de las vías de escape de la edificación. Las instalaciones quedan fuera de servicio y el edificio probablemente requerirá reparaciones importantes.

Para el sismo muy raro la estructura alcanza el nivel de desempeño de seguridad de vida, lo que indica que la estructura se desempeña de

manera correcta para un sismo de este nivel, ya que cumple con lo indicado por la SEAOC.

4.2. DERIVAS DE ENTREPISO DE LA ESTRUCTURA

a. DERIVAS DE ENTREPISO PARA LOS SISMOS EN DIRECCIÓN X

Las derivas de entrepiso para el espectro de respuesta calculado según la norma E-030 y sismo ocasional presentan derivas menores al 0.7 %, que recomienda la norma. Como podemos ver en las tablas 3.21, 3.22.

Para el sismo raro las derivas de los pisos 01, piso 02 y piso 03 no cumplen con lo establecido en la norma E-0.30, de lo contrario el piso 04 cumple con las derivas tal como lo indica la tabla 3.23.

Para el sismo muy raro las derivas de los pisos 01, piso 02 y piso 03 no cumplen con lo establecido en la norma E-0.30, de lo contrario el piso 04 cumple con las derivas tal como lo indica la tabla 3.24.

b. DERIVAS DE ENTREPISO PARA LOS SISMOS EN DIRECCIÓN Y

Las derivas de entrepiso para el espectro de respuesta calculado según la norma E-030 y sismo ocasional presentan derivas menor al 0.7 %, que recomienda la norma. Como podemos ver en las tablas 3.25, 3.26.

Para el sismo raro las derivas el piso 01 no cumplen con lo establecido en la norma E-0.30, de lo contrario los pisos 02, 03 y 04 cumple con las derivas tal como lo indica la tabla 3.27.

Para el sismo muy raro las derivas el piso 01 no cumplen con lo establecido en la norma E-0.30, de lo contrario los pisos 02, 03 y 04 cumple con las derivas tal como lo indica la tabla 3.28.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- a) Se evaluó el desempeño sismorresistente del edificio del centro preuniversitario de la Universidad Nacional de Cajamarca, esta estructura en la dirección X los resultados tenemos que los niveles de desempeño alcanzados por el espectro de respuesta calculado según la norma E-030, el sismo ocasional, el sismo raro y el sismo muy raro, aplicados en la dirección X, cumplen con los parámetros establecidos en la SEAOC; Siendo el punto de fluencia efectiva según la curva de capacidad del sismo aplicado en la dirección X; (0.0431 Metros, 295.87 Toneladas). Los niveles de desempeño alcanzados por el espectro de respuesta calculado según la norma E-030, el sismo ocasional y el sismo muy raro, aplicados en la dirección Y, cumplen con los parámetros establecidos en la SEAOC; De lo contrario pasa con el sismo raro el cual no cumple con los parámetros establecidos en la SEAOC; Siendo el punto de fluencia efectiva según la curva de capacidad del sismo aplicado en la dirección Y; (0.0431 Metros, 295.87 Toneladas).
- b) Se determinaron los puntos de desempeño en las direcciones X y Y; Para los sismos en la dirección X para el espectro de respuesta calculado según la norma E-030 el punto de desempeño es (260.225 Ton, 0.036 Mts), para el sismo ocasional el punto de desempeño es (273.054 Ton, 0.041 Mts); para el sismo raro el punto de desempeño es (299.062 Ton, 0.072 Mts) y para el sismo muy raro el punto de desempeño es (318.287 Ton, 0.087 Mts). Para los sismos en la dirección Y para el espectro de respuesta calculado según la norma E-030 el punto de desempeño es (230.682 Ton, 0.030 Mts), para el sismo ocasional el punto de desempeño es (263.368Ton, 0.044 Mts); para el sismo raro el punto de desempeño es (313.912 Ton, 0.091 Mts) y para el sismo muy raro el punto de desempeño es (339.312 Ton, 0.125 Mts).

- c) Se verificó los desplazamientos de entrepisos. Para los sismos en la dirección X para el espectro de respuesta calculado según la norma E-030 las derivas varía entre 0.1609% y 0.4590%; para el sismo ocasional las derivas varían entre 0.2299% y 0.5902; para el sismo raro las derivas varían entre 0.4598% y 0.9508% y para el sismo muy raro las derivas varían entre 0.5977% y 1.2131%. Para sismos aplicados en la dirección Y según la norma E-030 las derivas varían entre 0.0920% y 0.4536%; para el sismo ocasional las derivas varían entre 0.0920% y 0.5773; para el sismo raro las derivas varían entre 0.115% y 0.990% y para el sismo muy raro las derivas varían entre 0.1149% y 1.3814%.

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio del desempeño sismorresistente de las estructuras más antiguas y por lo tanto más vulnerables de la universidad Nacional de Cajamarca, con el fin de determinar si son seguras para los ocupantes.
- Considerar como parte del diseño de cualquier edificación el análisis del desempeño sismorresistente, esto de acuerdo al tipo de uso que a la que esté destinada.
- Realizar estudios sismorresistentes en edificaciones de la forma en que la estructura interactúe con el terreno de fundación, ya que el análisis a realizar no contempla este importante concepto.

BIBLIOGRAFÍA

- SEAOC (1995). A Framework for Performance Based Design. Vision 2000 Committee. Structural Engineers Association of California, Sacramento California.
- ATC (1996). “Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings”. Technical report, ATC-40. Applied Technology Council, Redwood City, California.
- FEMA 356 (2000). “Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings”. Federal Emergency Management Agency (FEMA), Washington, D.C.
- Bazán, E-Meli, R. (2003). “Diseño Sísmico de Edificios”. Editorial Limusa. México.
- Bardales, W. (2010). “Desempeño Sismorresistente del Edificio 2B de la Universidad Nacional de Cajamarca”. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca.
- Bonett, R. (2003). “Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada”. Universidad politécnica de Cataluña. Barcelona, España.
- Carrillo, J. (2007). “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de estructuras utilizando un diseño por desempeño”. Universidad Militar Nueva Granada.
- Castillo, J.; Alva, J. (1993). “Peligro Sísmico en el Perú”, VII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Lima, Perú.

- Chunque, J. (2013). “Nivel de Desempeño Sísmico del Edificio “A” de la Universidad Privada del Norte – Sede Cajamarca”. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca.
- FEMA 274 (1997). “NEHRP Guidelines for the seismic rehabilitation of buildings”. Federal Emergency Management Agency (FEMA), Washington, D.C.
- López, O; Del Re Ruíz, G (2008). “Evaluación de los métodos de análisis estático no lineal para determinar la demanda sísmica en estructuras aporticadas de concreto armado”. Boletín Técnico IMME volumen 46 N° 3. Venezuela.
- Muñoz, A. (1999). “Ingeniería Sismorresistente”. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.
- Muñoz, A. (2001). “Vulnerabilidad Sísmica de los Colegios Peruanos Modernos”. XIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil.
- Paulay, T; Priestley, M. (1992). “Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings”. Estados Unidos.
- PRIESTLEY, M. J. N. Performance based seismic design. 12th World Conference on Earthquake Engineering. Paper No. 2831. Nueva Zelanda, 2000.
- RNE. 2006. Reglamento Nacional de Edificaciones, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Decreto Supremo N° 011–2006 – Vivienda. Lima.
- Safina, S. (2002). “Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones Esenciales”. Universidad politécnica de Cataluña, Barcelona.

ANEXOS

ANEXO 01

ENSAYOS DE ESCLEROMETRIA

1.1. Descripción:

Los ensayos esclerométricos son ensayos no destructivos que permiten evaluar la calidad del concreto en elementos de concreto armado. Este ensayo utiliza el esclerómetro de Schmidt, que mide la dureza superficial del concreto a partir del rebote de una masa incidente después de impactar contra la superficie de estudio. Este rebote es entonces convertido en un valor de resistencia a compresión a través de ábacos. El ensayo debe realizarse en superficies de hormigón homogéneas, debiéndose efectuar previamente la eliminación de la capa superficial carbonatada mediante raspado.

1.2. Equipo Empleado

El equipo empleado es el Esclerómetro o Martillo de Concreto "Original Schmidt" modelo "L", perteneciente al laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca.

1.3. Procedimiento

- a) Prepare la superficie de la prueba quitando el tarrajeo y en caso que sea necesario la lechada que cubre la superficie con la piedra del carborundo provista con el martillo de concreto.
- b) El área de ensayo debe ser aproximadamente de 30 cm x 30cm.
- c) Distancia entre los puntos de ensayo tienen que ser mayores a 2.5 cm.
- d) Esclerómetro en posición perpendicular a la superficie de ensayo, $\alpha=0^\circ$.
- e) Mínimo número de lecturas 10.
- f) La cabeza del émbolo está prácticamente siempre dentro de la cubierta, para expulsar el émbolo en cualquier superficie dura hasta que salga.
- g) Recline la cabeza del émbolo perpendicularmente a la superficie y presione el martillo de concreto continuamente contra la superficie hasta que el martillo interno sea pulsado. No presione el pulsador bajo ninguna circunstancia al momento de tomar las lecturas. El pulsador se presiona

para conservar el embolo en el interior de la cubierta al momento de la terminación de la prueba.

- h) Después del impacto, el martillo rebota moviendo un indicador de referencia entre más duro sea el concreto, mayor será la escala que alcance el martillo con el indicador.
- i) Se descartan las lecturas que difieran en más de 6 unidades de la media. Más de dos lecturas que cumplan esto, se descarta el conjunto.

1.4. CRITERIOS PARA SELECCIONAR LOS PUNTOS DE IMPACTO Y SUPERFICIE DE PREPARACIÓN

1.4.1. Selección

Seleccione el punto de impacto. Si es posible pruebe las superficies verticales, se deben evitar empalmes, panales y áreas porosas para el punto de impacto. También se debe tener gran cuidado con las paredes que sean menores a 10 cm de grosor y las columnas que sean menores a 12 cm de grosor, ya que el martillo podría dar lecturas erróneas a causa de su resistencia.

1.4.2. Preparación de la superficie

Cualquier yeso o capa que se encuentre cubriendo el concreto se debe quitar. Las superficies levemente desiguales se deben quitar con la piedra de carborundo. Se debe considerar siempre, por lo tanto, que la superficie de la prueba puede ser utilizada solamente cuando toda la lechada se haya quitado con una amoladora y el concreto haya sido expuesto.

Una vez que la superficie de prueba haya sido preparada, se procede a pulsar la superficie en mínimo 10 lugares.

1.5. Elementos a Ensayar

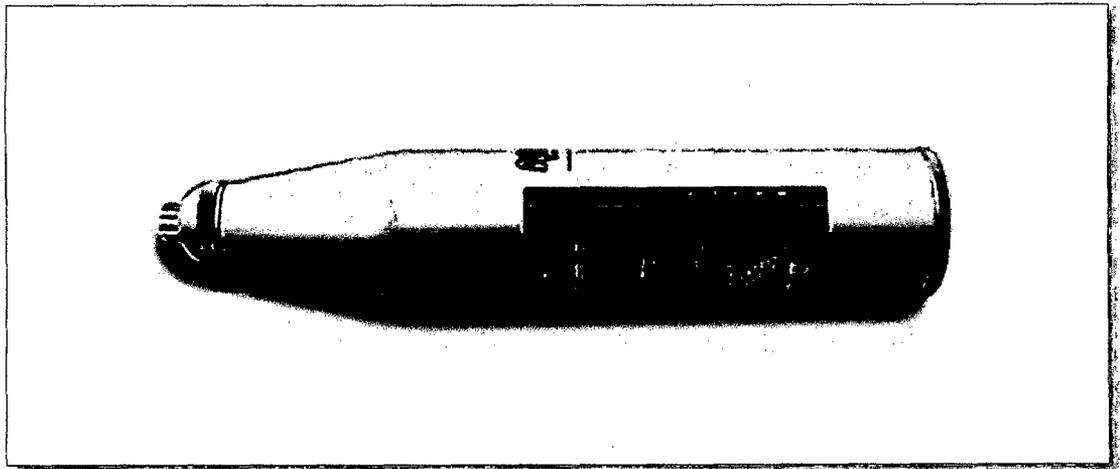
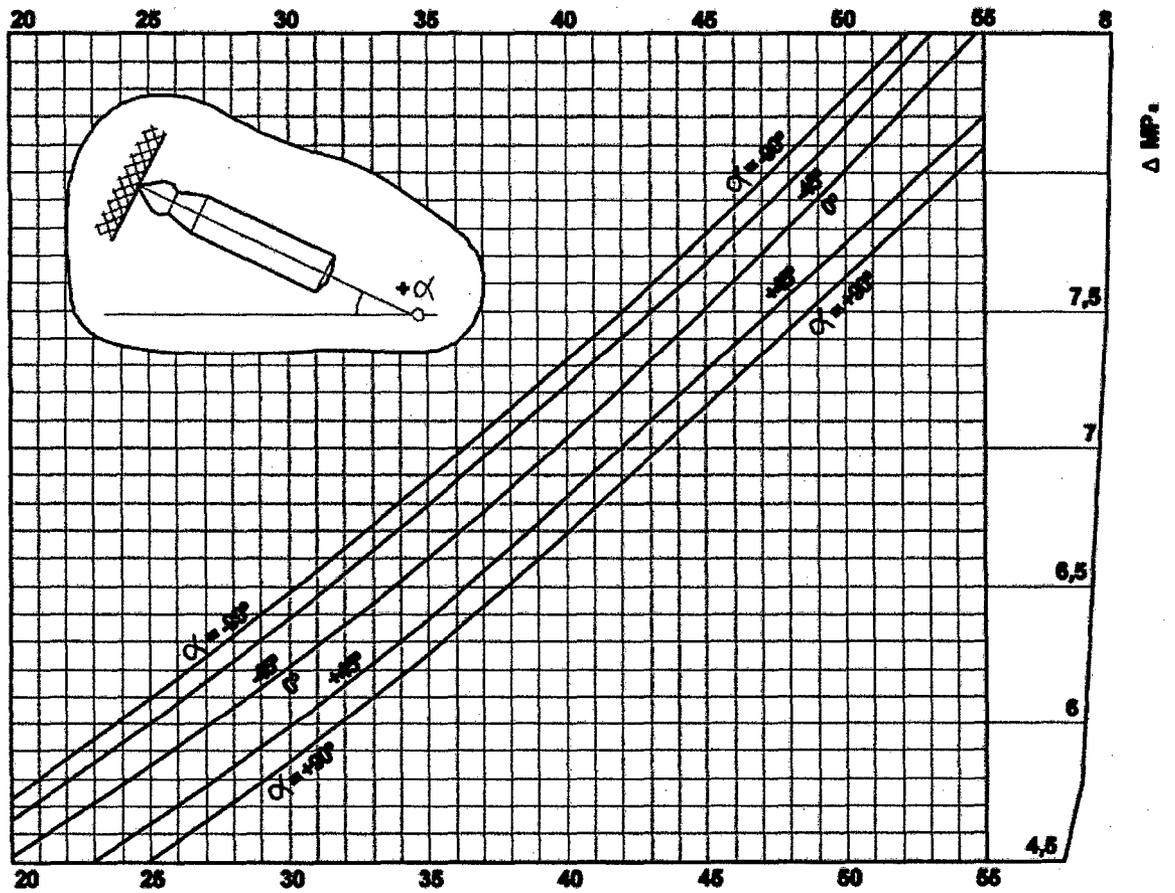
Columnas : En sus 2/3 de altura (inferior y superior).

Vigas : A la mitad de una de sus caras encofradas.

- ✓ Datos sacados de esclerómetro o Martillo de Concreto "Original Schmidt" modelo "L", perteneciente al laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca.

R (lectura en esclerómetro)	$\alpha=-90^\circ$ (Kg/Cm2)	$\alpha=-45^\circ$ (Kg/Cm2)	$\alpha=0^\circ$ (Kg/Cm2)	$\alpha=+45^\circ$ (Kg/Cm2)	$\alpha=+90^\circ$ (Kg/Cm2)
20	125	115			
21	135	125			
22	145	135	110		
23	160	145	120		
24	170	160	130		
25	180	170	140	100	
26	198	185	158	115	
27	210	200	165	130	105
28	220	210	180	140	120
29	238	220	190	150	138
30	250	238	210	170	145
31	260	250	220	180	160
32	280	265	238	190	170
33	290	280	250	210	190
34	310	290	260	220	200
35	320	310	280	238	218
36	340	320	290	250	230
37	350	340	310	265	245
38	370	350	320	280	260
39	380	370	340	300	280
40	400	380	350	310	295
41	410	400	370	330	310
42	425	415	380	345	325
43	440	430	400	360	340
44	460	450	420	380	360
45	470	460	430	395	375
46	490	480	450	410	390
47	500	495	465	430	410
48	520	510	480	445	430
49	540	525	500	460	445
50	550	540	515	480	460
51	570	560	530	500	480
52	580	570	550	515	500
53	600	590	565	530	520
54	POR ENCIMA 600	POR ENCIMA 600	580	550	530
55	POR ENCIMA 600	POR ENCIMA 600	600	570	550

- ✓ El siguiente ábaco muestra el error medio, grafico sacado de manual de esclerómetro o Martillo de Concreto "Original Schmidt" modelo "L"



1.6. Toma de datos

1.6.1. Columnas

1.6.1.1. Muestra 01 (C-01)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²



Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 28.67
- ✓ Resistencia Compresión: 186.70 Kg/cm²

MUESTRA 01		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	30.00	VÁLIDO
2.00	30.00	VÁLIDO
3.00	31.00	VÁLIDO
4.00	29.00	VÁLIDO
5.00	27.00	VÁLIDO
6.00	29.00	VÁLIDO
7.00	26.00	VÁLIDO
8.00	30.00	VÁLIDO
9.00	28.00	VÁLIDO
10.00	28.00	VÁLIDO
11.00	30.00	VÁLIDO
12.00	26.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	28.67
DESVIACION ESTANDAR :	1.7
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	5.0

OK

1.6.1.2. Muestra 02 (C-02)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²



Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 29.00
- ✓ Resistencia Compresión: 190.00 Kg/cm²

MUESTRA 02		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	28.00	VÁLIDO
2.00	28.00	VÁLIDO
3.00	30.00	VÁLIDO
4.00	30.00	VÁLIDO
5.00	29.00	VÁLIDO
6.00	29.00	VÁLIDO
7.00	27.00	VÁLIDO
8.00	28.00	VÁLIDO
9.00	29.00	VÁLIDO
10.00	31.00	VÁLIDO
11.00	29.00	VÁLIDO
12.00	30.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	29.00
DESVIACION ESTANDAR :	1.13
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	4.00

OK

1.6.1.3. Muestra 03 (V-01)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²

Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 29.00
- ✓ Resistencia Compresión: 190.00 Kg/cm²



MUESTRA 03 (V-01)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	29.00	VÁLIDO
2.00	30.00	VÁLIDO
3.00	31.00	VÁLIDO
4.00	28.00	VÁLIDO
5.00	29.00	VÁLIDO
6.00	30.00	VÁLIDO
7.00	27.00	VÁLIDO
8.00	28.00	VÁLIDO
9.00	30.00	VÁLIDO
10.00	28.00	VÁLIDO
11.00	30.00	VÁLIDO
12.00	28.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	29.00
DESVIACION ESTANDAR :	1.21
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	4.00

OK

1.6.1.4. Muestra 04 (C-03)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²

Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 28.83
- ✓ Resistencia Compresión: 188.33 Kg/cm²



MUESTRA 04 (C-03)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	28.00	VÁLIDO
2.00	30.00	VÁLIDO
3.00	28.00	VÁLIDO
4.00	28.00	VÁLIDO
5.00	29.00	VÁLIDO
6.00	29.00	VÁLIDO
7.00	29.00	VÁLIDO
8.00	27.00	VÁLIDO
9.00	27.00	VÁLIDO
10.00	30.00	VÁLIDO
11.00	31.00	VÁLIDO
12.00	30.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	28.83
DESVIACION ESTANDAR :	1.27
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	4.00

OK

1.6.1.5. Muestra 05 (C-04)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²

Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 29.58
- ✓ Resistencia Compresión: 201.67 Kg/cm²



MUESTRA 05 (C-04)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	29.00	VÁLIDO
2.00	28.00	VÁLIDO
3.00	30.00	VÁLIDO
4.00	31.00	VÁLIDO
5.00	29.00	VÁLIDO
6.00	32.00	VÁLIDO
7.00	29.00	VÁLIDO
8.00	28.00	VÁLIDO
9.00	30.00	VÁLIDO
10.00	30.00	VÁLIDO
11.00	29.00	VÁLIDO
12.00	30.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	29.58
DESVIACION ESTANDAR :	1.16
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	4.00

OK

1.6.1.6. Muestra 06 (V-02)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²

Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 29.75
- ✓ Resistencia Compresión: 205.00 Kg/cm²



MUESTRA 06 (V-02)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	30.00	VÁLIDO
2.00	30.00	VÁLIDO
3.00	29.00	VÁLIDO
4.00	31.00	VÁLIDO
5.00	29.00	VÁLIDO
6.00	30.00	VÁLIDO
7.00	31.00	VÁLIDO
8.00	30.00	VÁLIDO
9.00	32.00	VÁLIDO
10.00	31.00	VÁLIDO
11.00	27.00	VÁLIDO
12.00	27.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	29.75
DESVIACION ESTANDAR :	1.54
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	5.00

OK

1.6.1.7. Muestra 07 (C-05)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²



Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 29.33
- ✓ Resistencia Compresión: 196.67 Kg/cm²

MUESTRA 07 (C-05)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	26.00	VÁLIDO
2.00	30.00	VÁLIDO
3.00	31.00	VÁLIDO
4.00	29.00	VÁLIDO
5.00	28.00	VÁLIDO
6.00	30.00	VÁLIDO
7.00	29.00	VÁLIDO
8.00	29.00	VÁLIDO
9.00	30.00	VÁLIDO
10.00	28.00	VÁLIDO
11.00	31.00	VÁLIDO
12.00	31.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	29.33
DESVIACION ESTANDAR :	1.50
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	5.00

OK

1.6.1.8. Muestra 08 (C-06)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²



Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 29.75
- ✓ Resistencia Compresión: 205.00 Kg/cm²

MUESTRA 08 (C-06)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	30.00	VÁLIDO
2.00	31.00	VÁLIDO
3.00	30.00	VÁLIDO
4.00	31.00	VÁLIDO
5.00	28.00	VÁLIDO
6.00	30.00	VÁLIDO
7.00	29.00	VÁLIDO
8.00	30.00	VÁLIDO
9.00	31.00	VÁLIDO
10.00	28.00	VÁLIDO
11.00	29.00	VÁLIDO
12.00	30.00	VÁLIDO

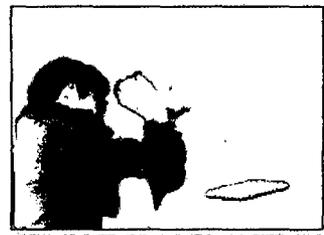
DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	29.75
DESVIACION ESTANDAR :	1.06
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	3.00

OK

1.6.1.9. Muestra 09 (V-03)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²



Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 29.83
- ✓ Resistencia Compresión: 206.67 g/cm²

MUESTRA 09 (V-03)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	28.00	VÁLIDO
2.00	30.00	VÁLIDO
3.00	29.00	VÁLIDO
4.00	28.00	VÁLIDO
5.00	33.00	VÁLIDO
6.00	29.00	VÁLIDO
7.00	30.00	VÁLIDO
8.00	31.00	VÁLIDO
9.00	33.00	VÁLIDO
10.00	30.00	VÁLIDO
11.00	29.00	VÁLIDO
12.00	28.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	29.83
DESVIACION ESTANDAR :	1.75
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	5.00

OK

1.6.1.10. Muestra 10 (C-07)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²



Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 29.25
- ✓ Resistencia Compresión: 195.00 kg/cm²

MUESTRA 10 (C-07)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	28.00	VÁLIDO
2.00	29.00	VÁLIDO
3.00	27.00	VÁLIDO
4.00	32.00	VÁLIDO
5.00	31.00	VÁLIDO
6.00	30.00	VÁLIDO
7.00	28.00	VÁLIDO
8.00	29.00	VÁLIDO
9.00	29.00	VÁLIDO
10.00	28.00	VÁLIDO
11.00	29.00	VÁLIDO
12.00	31.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	29.25
DESVIACION ESTANDAR :	1.48
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	5.00

OK

1.6.1.11. Muestra 11 (C-08)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²



Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 29.83
- ✓ Resistencia Compresión: 206.67 Kg/cm²

MUESTRA 11 (C-08)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	31.00	VÁLIDO
2.00	30.00	VÁLIDO
3.00	30.00	VÁLIDO
4.00	29.00	VÁLIDO
5.00	31.00	VÁLIDO
6.00	30.00	VÁLIDO
7.00	32.00	VÁLIDO
8.00	29.00	VÁLIDO
9.00	30.00	VÁLIDO
10.00	28.00	VÁLIDO
11.00	30.00	VÁLIDO
12.00	28.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	29.83
DESVIACION ESTANDAR :	1.19
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	4.00

OK

1.6.1.12. Muestra 12 (V-04)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²



Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 29.58
- ✓ Resistencia Compresión: 201.67 Kg/cm²

MUESTRA 12 (V-04)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	28.00	VÁLIDO
2.00	31.00	VÁLIDO
3.00	31.00	VÁLIDO
4.00	28.00	VÁLIDO
5.00	29.00	VÁLIDO
6.00	31.00	VÁLIDO
7.00	30.00	VÁLIDO
8.00	28.00	VÁLIDO
9.00	29.00	VÁLIDO
10.00	29.00	VÁLIDO
11.00	31.00	VÁLIDO
12.00	30.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	29.58
DESVIACION ESTANDAR :	1.24
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	3.00

OK

1.6.1.13. Muestra 13 (C-09)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²



Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 29.25
- ✓ Resistencia Compresión: 195.00 Kg/cm²

MUESTRA 13 (C-09)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	30.00	VÁLIDO
2.00	31.00	VÁLIDO
3.00	32.00	VÁLIDO
4.00	29.00	VÁLIDO
5.00	28.00	VÁLIDO
6.00	27.00	VÁLIDO
7.00	30.00	VÁLIDO
8.00	31.00	VÁLIDO
9.00	26.00	VÁLIDO
10.00	28.00	VÁLIDO
11.00	30.00	VÁLIDO
12.00	29.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	29.25
DESVIACION ESTANDAR :	1.76
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	6.00

OK

1.6.1.14. Muestra 14 (C-10)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²



Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 30.83
- ✓ Resistencia Compresión: 218.33 Kg/cm²

MUESTRA 14 (C-10)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	30.00	VÁLIDO
2.00	33.00	VÁLIDO
3.00	30.00	VÁLIDO
4.00	33.00	VÁLIDO
5.00	31.00	VÁLIDO
6.00	32.00	VÁLIDO
7.00	33.00	VÁLIDO
8.00	29.00	VÁLIDO
9.00	31.00	VÁLIDO
10.00	30.00	VÁLIDO
11.00	30.00	VÁLIDO
12.00	28.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	30.83
DESVIACION ESTANDAR :	1.64
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	5.00

OK

1.6.1.15. Muestra 15 (V-05)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²

Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 29.67
- ✓ Resistencia Compresión: 203.33 Kg/cm²



MUESTRA 15 (V-05)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	31.00	VÁLIDO
2.00	30.00	VÁLIDO
3.00	29.00	VÁLIDO
4.00	31.00	VÁLIDO
5.00	28.00	VÁLIDO
6.00	31.00	VÁLIDO
7.00	29.00	VÁLIDO
8.00	28.00	VÁLIDO
9.00	29.00	VÁLIDO
10.00	31.00	VÁLIDO
11.00	30.00	VÁLIDO
12.00	29.00	VÁLIDO

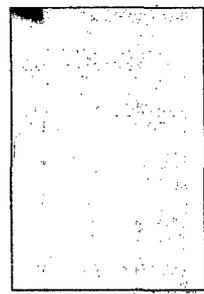
DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	29.67
DESVIACION ESTANDAR :	1.15
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	3.00

OK

1.6.1.16. Muestra 16 (C-11)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²



Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 27.92
- ✓ Resistencia Compresión: 178.75 Kg/cm²

MUESTRA 16 (C-11)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	29.00	VÁLIDO
2.00	28.00	VÁLIDO
3.00	28.00	VÁLIDO
4.00	27.00	VÁLIDO
5.00	29.00	VÁLIDO
6.00	28.00	VÁLIDO
7.00	29.00	VÁLIDO
8.00	30.00	VÁLIDO
9.00	26.00	VÁLIDO
10.00	28.00	VÁLIDO
11.00	27.00	VÁLIDO
12.00	26.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	27.92
DESVIACION ESTANDAR :	1.24
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	4.00

OK

1.6.1.17. Muestra 17 (C-12)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²



Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 30.00
- ✓ Resistencia Compresión: 210.00 Kg/cm²

MUESTRA 17 (C-12)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	30.00	VÁLIDO
2.00	29.00	VÁLIDO
3.00	29.00	VÁLIDO
4.00	32.00	VÁLIDO
5.00	33.00	VÁLIDO
6.00	31.00	VÁLIDO
7.00	30.00	VÁLIDO
8.00	31.00	VÁLIDO
9.00	29.00	VÁLIDO
10.00	28.00	VÁLIDO
11.00	28.00	VÁLIDO
12.00	30.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	30.00
DESVIACION ESTANDAR :	1.54
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	5.00

OK

1.6.1.18. Muestra 18 (V-06)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²



Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 29.17
- ✓ Resistencia Compresión: 193.33 Kg/cm²

MUESTRA 18 (V-06)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	28.00	VÁLIDO
2.00	29.00	VÁLIDO
3.00	27.00	VÁLIDO
4.00	31.00	VÁLIDO
5.00	28.00	VÁLIDO
6.00	30.00	VÁLIDO
7.00	29.00	VÁLIDO
8.00	30.00	VÁLIDO
9.00	29.00	VÁLIDO
10.00	30.00	VÁLIDO
11.00	31.00	VÁLIDO
12.00	28.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	29.17
DESVIACION ESTANDAR :	1.27
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	4.00

OK

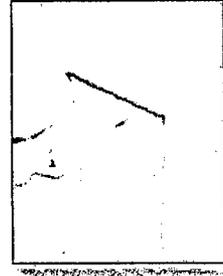
1.6.1.19. Muestra 19 (C-13)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²

Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 28.33
- ✓ Resistencia Compresión: 183.33 Kg/cm²



MUESTRA 19 (C-13)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	29.00	VÁLIDO
2.00	30.00	VÁLIDO
3.00	27.00	VÁLIDO
4.00	28.00	VÁLIDO
5.00	29.00	VÁLIDO
6.00	27.00	VÁLIDO
7.00	31.00	VÁLIDO
8.00	29.00	VÁLIDO
9.00	26.00	VÁLIDO
10.00	28.00	VÁLIDO
11.00	30.00	VÁLIDO
12.00	26.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	28.33
DESVIACION ESTANDAR :	1.61
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	5.00

OK

1.6.1.20. Muestra 20 (C-14)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²

Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 29.83
- ✓ Resistencia Compresión: 206.67 Kg/cm²



MUESTRA 20 (C-14)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	30.00	VÁLIDO
2.00	28.00	VÁLIDO
3.00	29.00	VÁLIDO
4.00	30.00	VÁLIDO
5.00	30.00	VÁLIDO
6.00	30.00	VÁLIDO
7.00	29.00	VÁLIDO
8.00	30.00	VÁLIDO
9.00	29.00	VÁLIDO
10.00	32.00	VÁLIDO
11.00	29.00	VÁLIDO
12.00	32.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	29.83
DESVIACION ESTANDAR :	1.19
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	4.00

OK

1.6.1.21. Muestra 21 (V-07)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²



Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 29.42
- ✓ Resistencia Compresión: 198.33 Kg/cm²

MUESTRA 21 (V-07)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	29.00	VÁLIDO
2.00	32.00	VÁLIDO
3.00	30.00	VÁLIDO
4.00	31.00	VÁLIDO
5.00	27.00	VÁLIDO
6.00	29.00	VÁLIDO
7.00	27.00	VÁLIDO
8.00	30.00	VÁLIDO
9.00	28.00	VÁLIDO
10.00	27.00	VÁLIDO
11.00	31.00	VÁLIDO
12.00	32.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	29.42
DESVIACION ESTANDAR :	1.88
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	5.00

OK

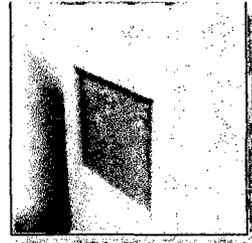
1.6.1.22. Muestra 22 (C-15)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²

Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 30.08
- ✓ Resistencia Compresión: 210.83 Kg/cm²



MUESTRA 22 (C-15)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	30.00	VÁLIDO
2.00	29.00	VÁLIDO
3.00	32.00	VÁLIDO
4.00	30.00	VÁLIDO
5.00	30.00	VÁLIDO
6.00	29.00	VÁLIDO
7.00	32.00	VÁLIDO
8.00	31.00	VÁLIDO
9.00	28.00	VÁLIDO
10.00	30.00	VÁLIDO
11.00	29.00	VÁLIDO
12.00	31.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	30.08
DESVIACION ESTANDAR :	1.24
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	4.00

OK

1.6.1.23. Muestra 23 (C-16)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²

Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 29.25
- ✓ Resistencia Compresión: 195.00 Kg/cm²



MUESTRA 23 (C-16)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	30.00	VÁLIDO
2.00	29.00	VÁLIDO
3.00	27.00	VÁLIDO
4.00	28.00	VÁLIDO
5.00	31.00	VÁLIDO
6.00	30.00	VÁLIDO
7.00	31.00	VÁLIDO
8.00	29.00	VÁLIDO
9.00	27.00	VÁLIDO
10.00	30.00	VÁLIDO
11.00	30.00	VÁLIDO
12.00	29.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	29.25
DESVIACION ESTANDAR :	1.36
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	4.00

OK

1.6.1.24. Muestra 24 (V-08)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²



Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 30.25
- ✓ Resistencia Compresión: 212.50 Kg/cm²

MUESTRA 24 (V-08)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	31.00	VÁLIDO
2.00	29.00	VÁLIDO
3.00	32.00	VÁLIDO
4.00	30.00	VÁLIDO
5.00	32.00	VÁLIDO
6.00	33.00	VÁLIDO
7.00	29.00	VÁLIDO
8.00	31.00	VÁLIDO
9.00	27.00	VÁLIDO
10.00	28.00	VÁLIDO
11.00	29.00	VÁLIDO
12.00	32.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	30.25
DESVIACION ESTANDAR :	1.86
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	6.00

OK

1.6.1.25. Muestra 25 (C-17)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²



Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 29.58
- ✓ Resistencia Compresión: 201.67 Kg/cm²

MUESTRA 25 (C-17)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	28.00	VÁLIDO
2.00	30.00	VÁLIDO
3.00	29.00	VÁLIDO
4.00	30.00	VÁLIDO
5.00	30.00	VÁLIDO
6.00	29.00	VÁLIDO
7.00	31.00	VÁLIDO
8.00	31.00	VÁLIDO
9.00	28.00	VÁLIDO
10.00	31.00	VÁLIDO
11.00	28.00	VÁLIDO
12.00	30.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	29.58
DESVIACION ESTANDAR :	1.16
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	3.00

OK

1.6.1.26. Muestra 26 (C-18)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²

Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 28.42
- ✓ Resistencia Compresión: 184.17 Kg/cm²

MUESTRA 26 (C-18)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	27.00	VÁLIDO
2.00	28.00	VÁLIDO
3.00	27.00	VÁLIDO
4.00	26.00	VÁLIDO
5.00	29.00	VÁLIDO
6.00	29.00	VÁLIDO
7.00	27.00	VÁLIDO
8.00	29.00	VÁLIDO
9.00	29.00	VÁLIDO
10.00	30.00	VÁLIDO
11.00	30.00	VÁLIDO
12.00	30.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	28.42
DESVIACION ESTANDAR :	1.38
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	4.00

OK

1.6.1.27. Muestra 27 (V-09)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²



Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 29.50
- ✓ Resistencia Compresión: 200.00 Kg/cm²

MUESTRA 27 (V-09)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	28.00	VÁLIDO
2.00	29.00	VÁLIDO
3.00	30.00	VÁLIDO
4.00	31.00	VÁLIDO
5.00	32.00	VÁLIDO
6.00	33.00	VÁLIDO
7.00	28.00	VÁLIDO
8.00	30.00	VÁLIDO
9.00	28.00	VÁLIDO
10.00	28.00	VÁLIDO
11.00	29.00	VÁLIDO
12.00	28.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	29.50
DESVIACION ESTANDAR :	1.73
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	5.00

OK

1.6.1.28. Muestra 28 (C-19)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²



Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 30.25
- ✓ Resistencia Compresión: 212.50 Kg/cm²

MUESTRA 28 (C-19)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	31.00	VÁLIDO
2.00	32.00	VÁLIDO
3.00	28.00	VÁLIDO
4.00	31.00	VÁLIDO
5.00	30.00	VÁLIDO
6.00	32.00	VÁLIDO
7.00	31.00	VÁLIDO
8.00	30.00	VÁLIDO
9.00	30.00	VÁLIDO
10.00	29.00	VÁLIDO
11.00	29.00	VÁLIDO
12.00	30.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	30.25
DESVIACION ESTANDAR :	1.22
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	4.00

OK

1.6.1.29. Muestra 29 (C-20)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²



Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 28.92
- ✓ Resistencia Compresión: 189.17 Kg/cm²

MUESTRA 29 (C-20)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	27.00	VÁLIDO
2.00	27.00	VÁLIDO
3.00	30.00	VÁLIDO
4.00	29.00	VÁLIDO
5.00	29.00	VÁLIDO
6.00	30.00	VÁLIDO
7.00	28.00	VÁLIDO
8.00	29.00	VÁLIDO
9.00	29.00	VÁLIDO
10.00	28.00	VÁLIDO
11.00	31.00	VÁLIDO
12.00	30.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	28.92
DESVIACION ESTANDAR :	1.24
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	4.00

OK

1.6.1.30. Muestra 30 (V-10)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²

Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 29.33
- ✓ Resistencia Compresión: 196.67 Kg/cm²



MUESTRA 30 (V-10)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	30.00	VÁLIDO
2.00	30.00	VÁLIDO
3.00	28.00	VÁLIDO
4.00	30.00	VÁLIDO
5.00	32.00	VÁLIDO
6.00	30.00	VÁLIDO
7.00	29.00	VÁLIDO
8.00	28.00	VÁLIDO
9.00	27.00	VÁLIDO
10.00	27.00	VÁLIDO
11.00	30.00	VÁLIDO
12.00	31.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	29.33
DESVIACION ESTANDAR :	1.56
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	5.00

OK

1.6.1.31. Muestra 31 (C-21)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²



Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 28.67
- ✓ Resistencia Compresión: 186.67 Kg/cm²

MUESTRA 31 (C-21)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	28.00	VÁLIDO
2.00	30.00	VÁLIDO
3.00	26.00	VÁLIDO
4.00	31.00	VÁLIDO
5.00	29.00	VÁLIDO
6.00	31.00	VÁLIDO
7.00	27.00	VÁLIDO
8.00	28.00	VÁLIDO
9.00	29.00	VÁLIDO
10.00	26.00	VÁLIDO
11.00	31.00	VÁLIDO
12.00	28.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	28.67
DESVIACION ESTANDAR :	1.83
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	5.00

OK

1.6.1.32. Muestra 32 (C-22)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²



Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 30.00
- ✓ Resistencia Compresión: 210.00 Kg/cm²

MUESTRA 32 (C-22)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	31.00	VÁLIDO
2.00	32.00	VÁLIDO
3.00	30.00	VÁLIDO
4.00	31.00	VÁLIDO
5.00	32.00	VÁLIDO
6.00	30.00	VÁLIDO
7.00	30.00	VÁLIDO
8.00	29.00	VÁLIDO
9.00	28.00	VÁLIDO
10.00	29.00	VÁLIDO
11.00	30.00	VÁLIDO
12.00	28.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	30.00
DESVIACION ESTANDAR :	1.35
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	4.00

OK

1.6.1.33. Muestra 33 (V-11)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²



Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 29.25
- ✓ Resistencia Compresión: 195.00 Kg/cm²

MUESTRA 33 (V-11)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	28.00	VÁLIDO
2.00	28.00	VÁLIDO
3.00	29.00	VÁLIDO
4.00	30.00	VÁLIDO
5.00	27.00	VÁLIDO
6.00	29.00	VÁLIDO
7.00	32.00	VÁLIDO
8.00	30.00	VÁLIDO
9.00	31.00	VÁLIDO
10.00	28.00	VÁLIDO
11.00	29.00	VÁLIDO
12.00	30.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	29.25
DESVIACION ESTANDAR :	1.42
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	5.00

OK

1.6.1.34. Muestra 34 (C-23)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²



Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 29.42
- ✓ Resistencia Compresión: 198.33 Kg/cm²

MUESTRA 34 (C-23)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	30.00	VÁLIDO
2.00	30.00	VÁLIDO
3.00	26.00	VÁLIDO
4.00	31.00	VÁLIDO
5.00	32.00	VÁLIDO
6.00	31.00	VÁLIDO
7.00	27.00	VÁLIDO
8.00	30.00	VÁLIDO
9.00	29.00	VÁLIDO
10.00	29.00	VÁLIDO
11.00	31.00	VÁLIDO
12.00	27.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	29.42
DESVIACION ESTANDAR :	1.88
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	6.00

OK

1.6.1.35. Muestra 35 (C-24)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²



Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 30.42
- ✓ Resistencia Compresión: 214.17 Kg/cm²

MUESTRA 35 (C-24)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	32.00	VÁLIDO
2.00	33.00	VÁLIDO
3.00	33.00	VÁLIDO
4.00	29.00	VÁLIDO
5.00	31.00	VÁLIDO
6.00	29.00	VÁLIDO
7.00	31.00	VÁLIDO
8.00	31.00	VÁLIDO
9.00	30.00	VÁLIDO
10.00	30.00	VÁLIDO
11.00	29.00	VÁLIDO
12.00	27.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	30.42
DESVIACION ESTANDAR :	1.78
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	6.00

OK

1.6.1.36. Muestra 36 (V-12)

Información obtenida de expediente técnico

- ✓ Edad del concreto : 11 años
- ✓ Resistencia a la compresión : 210 Kg/cm²



Datos Obtenidos

- ✓ Orientación del equipo: 0 grados
- ✓ N° de Rebote Promedio: 29.75
- ✓ Resistencia Compresión: 205.00 Kg/cm²

MUESTRA 36 (V-12)		
N° DE LECTURA	N° DE REBOTE	ACEPTACION
1.00	29.00	VÁLIDO
2.00	29.00	VÁLIDO
3.00	28.00	VÁLIDO
4.00	30.00	VÁLIDO
5.00	27.00	VÁLIDO
6.00	30.00	VÁLIDO
7.00	32.00	VÁLIDO
8.00	31.00	VÁLIDO
9.00	32.00	VÁLIDO
10.00	29.00	VÁLIDO
11.00	29.00	VÁLIDO
12.00	31.00	VÁLIDO

DATOS DEL ENSAYO DE ESCLEROMETRIA	
PROMEDIO :	29.75
DESVIACION ESTANDAR :	1.54
REBOTE MAX-REBOTE MIM :	5.00

OK

1.7. RESULTADOS DE ENSAYOS CON ESCLERÓMETRO

ELEMENTO	N° MUESTRA	RESISTENCIA COMPRESION
COLUMNAS	1.00	186.70
	2.00	190.00
	4.00	188.33
	5.00	201.67
	7.00	196.67
	8.00	205.00
	10.00	195.00
	11.00	206.67
	13.00	195.00
	14.00	218.33
	16.00	178.75
	17.00	210.00
	19.00	183.33
	20.00	206.67
	22.00	210.83
	23.00	195.00
	25.00	201.67
	26.00	184.17
	28.00	212.50
	29.00	189.17
31.00	186.67	
32.00	210.00	
34.00	198.33	
35.00	214.17	
PROMEDIO :		198.53 Kg/Cm ²
DESVIACION ESTANDAR :		11.14
ERROR MEDIO:		±61.84 Kg/Cm ²

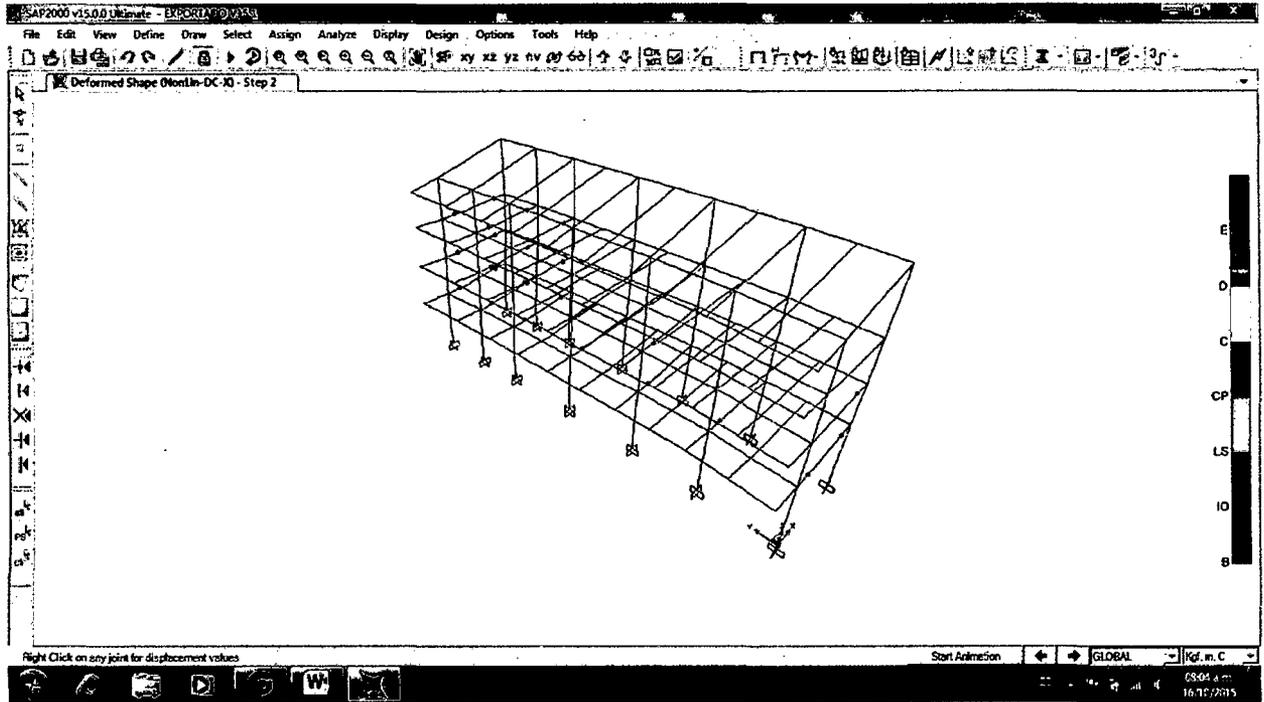
ELEMENTO	N° MUESTRA	RESISTENCIA COMPRESION
VIGAS	3.00	190.00
	6.00	205.00
	9.00	206.67
	12.00	201.67
	15.00	203.33
	18.00	193.33
	21.00	198.33
	24.00	212.50
	27.00	200.00
	30.00	196.67
	33.00	195.00
	36.00	205.00
PROMEDIO :		200.63 Kg/Cm ²
DESVIACION ESTANDAR :		6.35
ERROR MEDIO:		±61.98 Kg/Cm ²

ANEXO 02
FORMACIÓN DE ROTULAS PLÁSTICAS

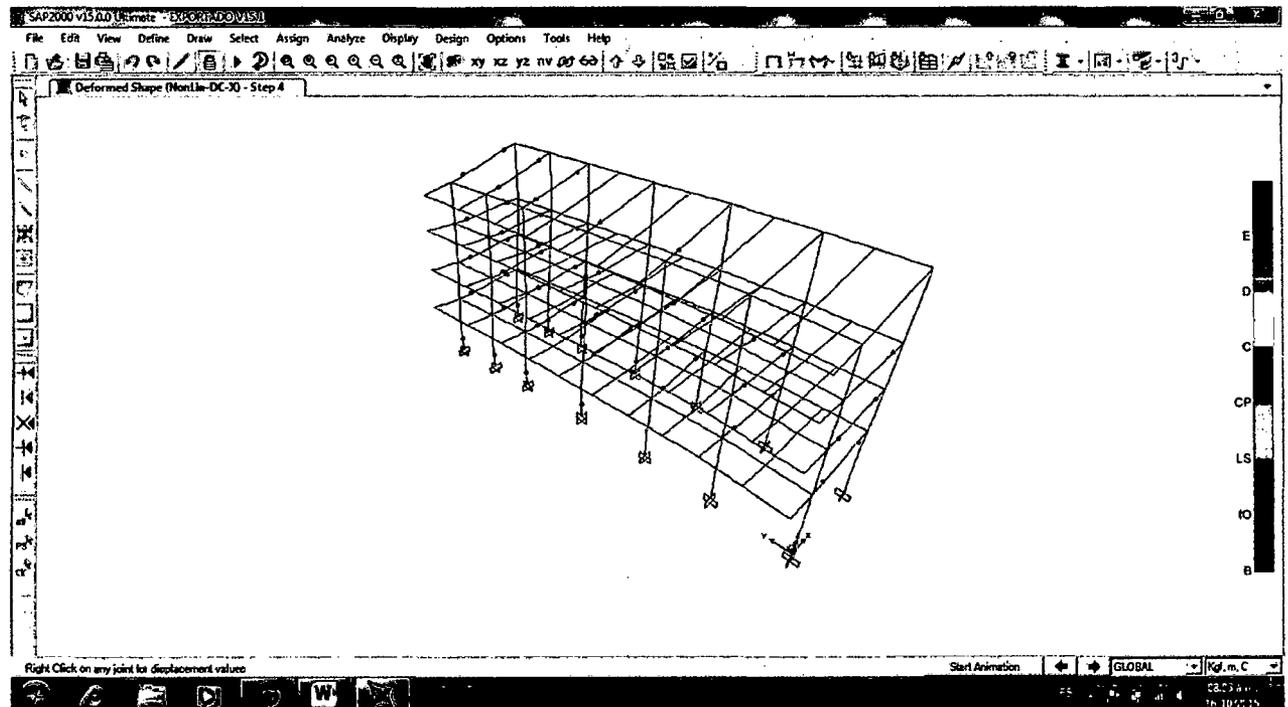
1. FORMACIÓN DE RÓTULAS PLÁSTICAS

(SISMO DIRECCION X)

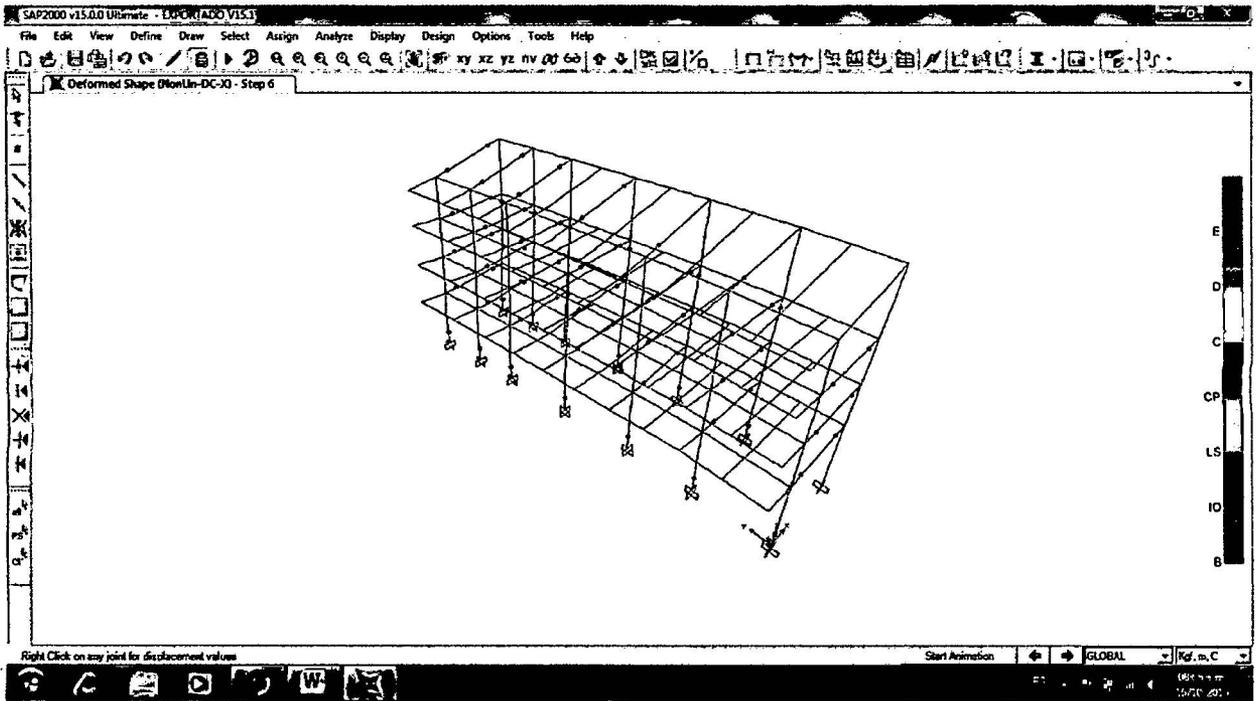
1.1. PASO 02



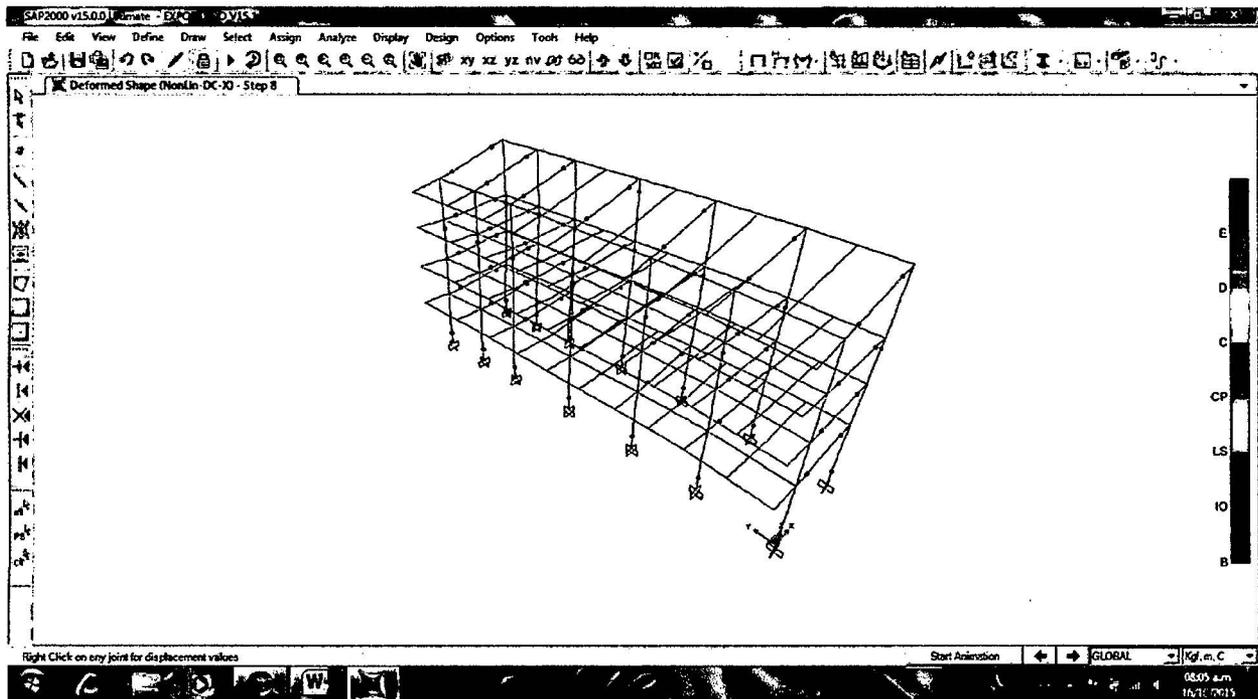
1.2. PASO 04



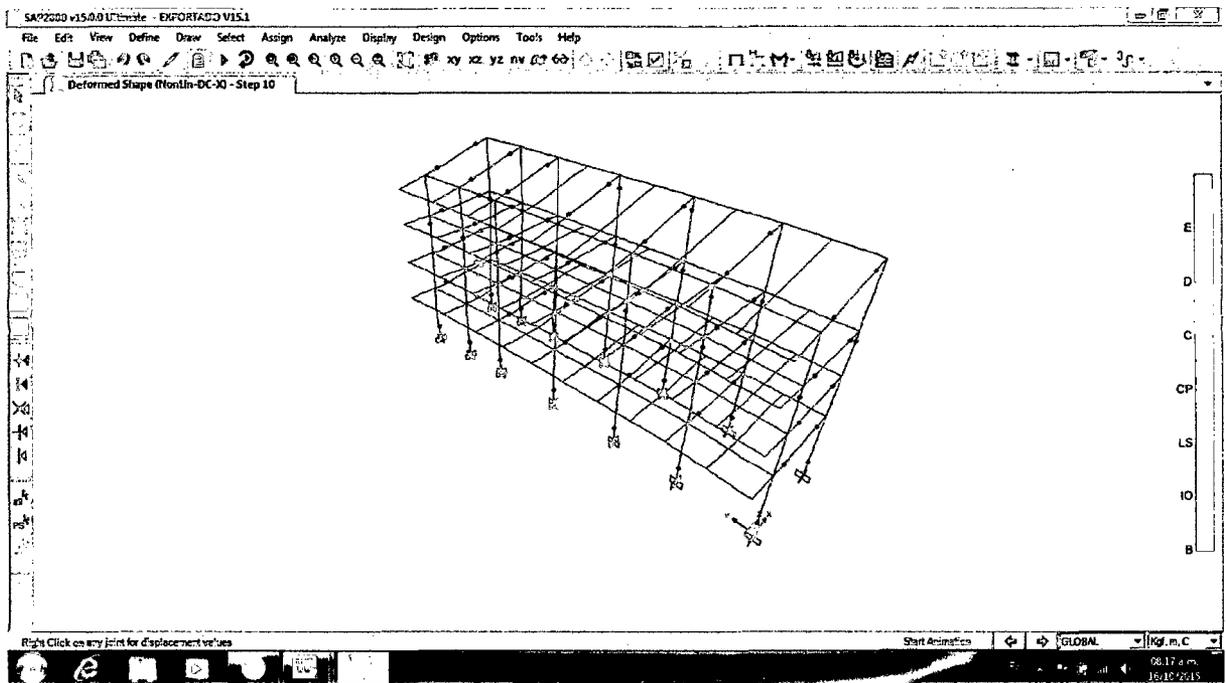
1.3. PASO 06



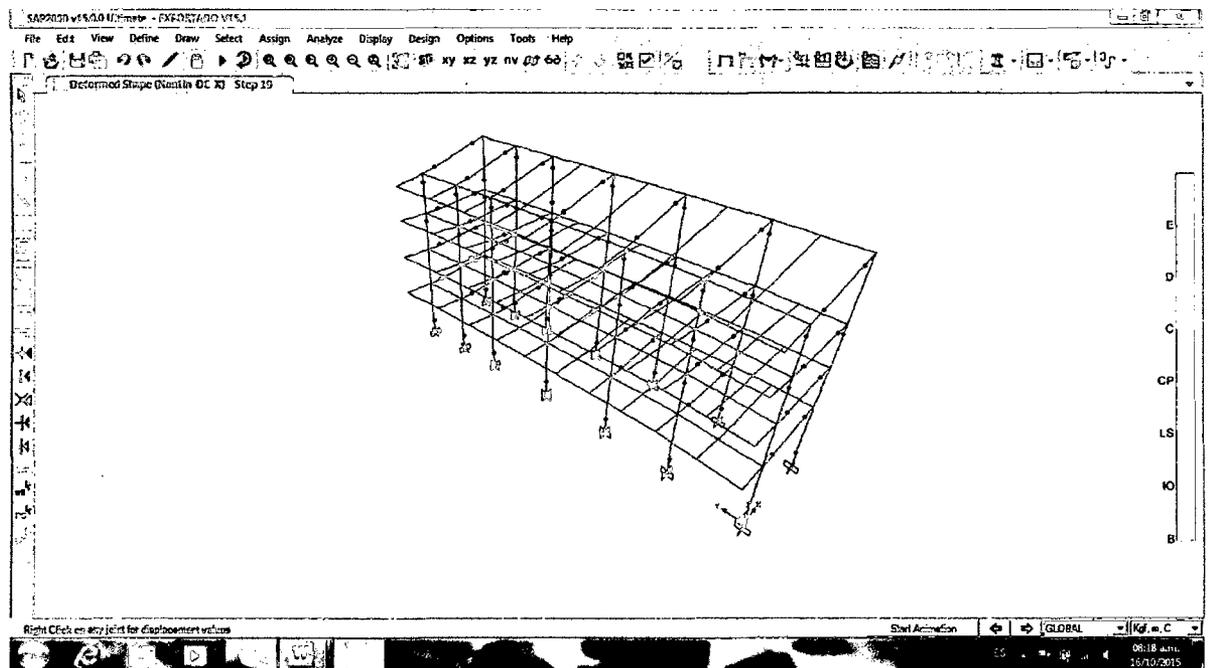
1.4. PASO 08



1.5. PASO 10

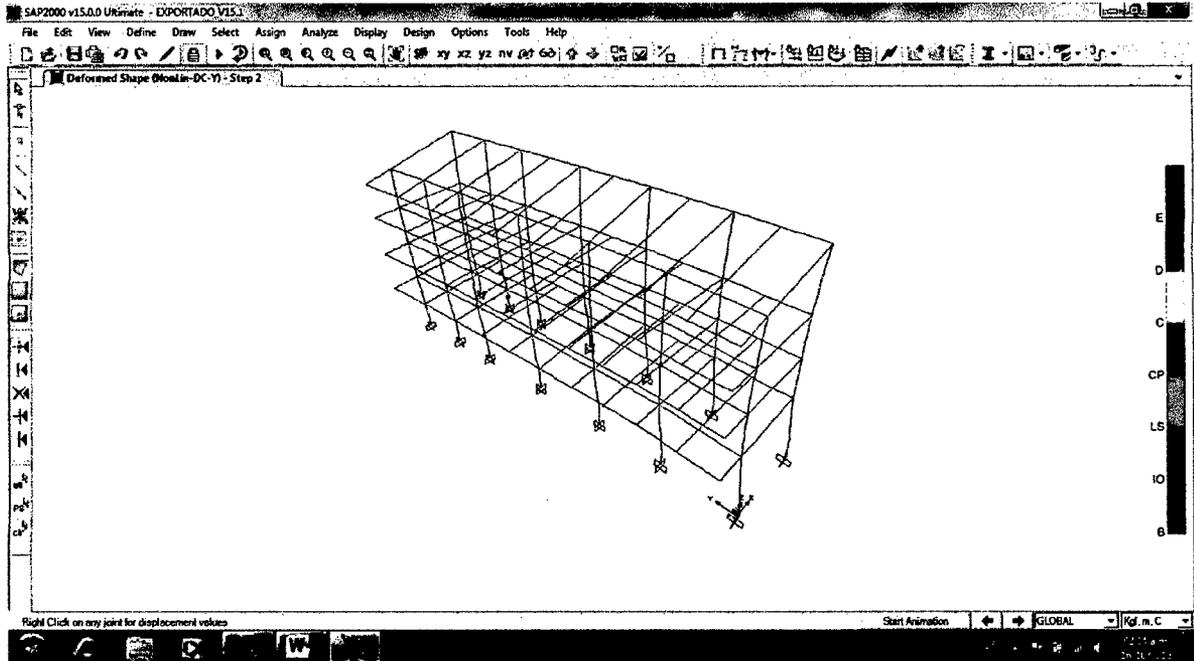


1.1. PASO ULTIMO

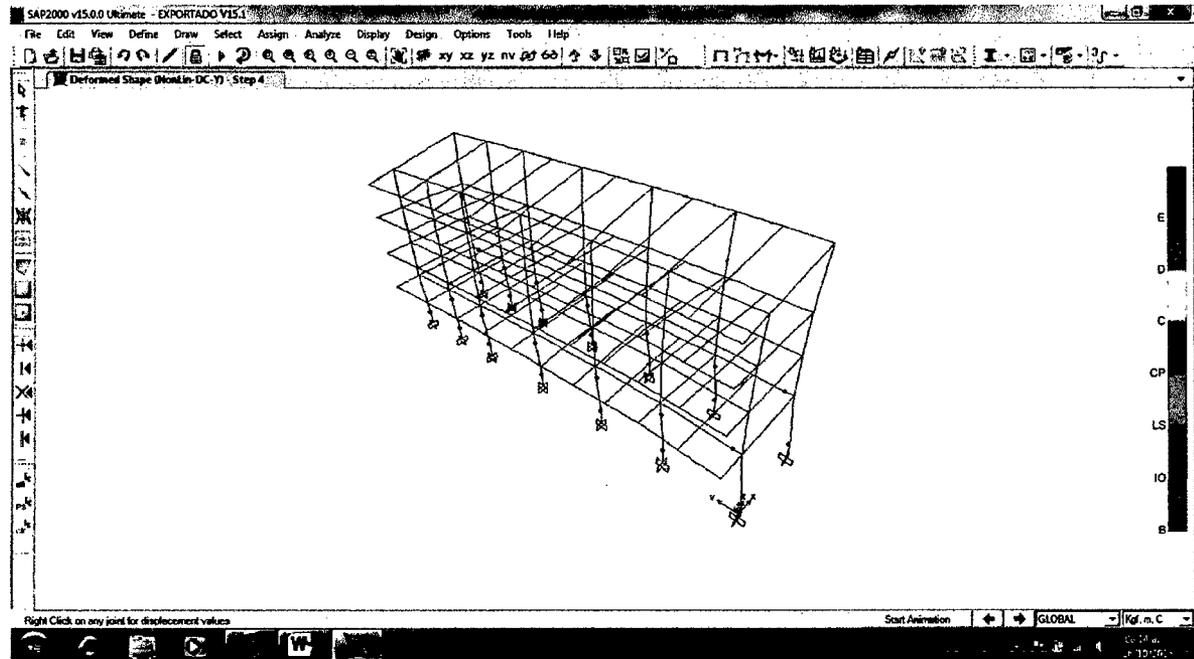


2. FORMACIÓN DE RÓTULAS PLÁSTICAS (SISMO DIRECCION Y)

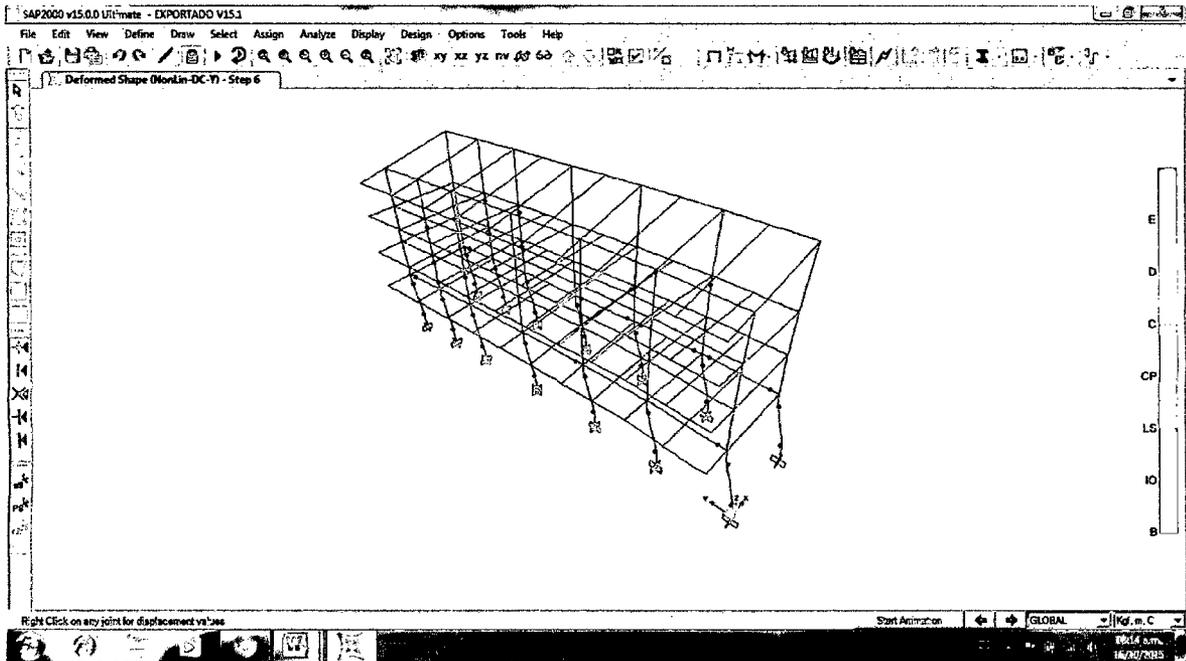
2.1. PASO 02



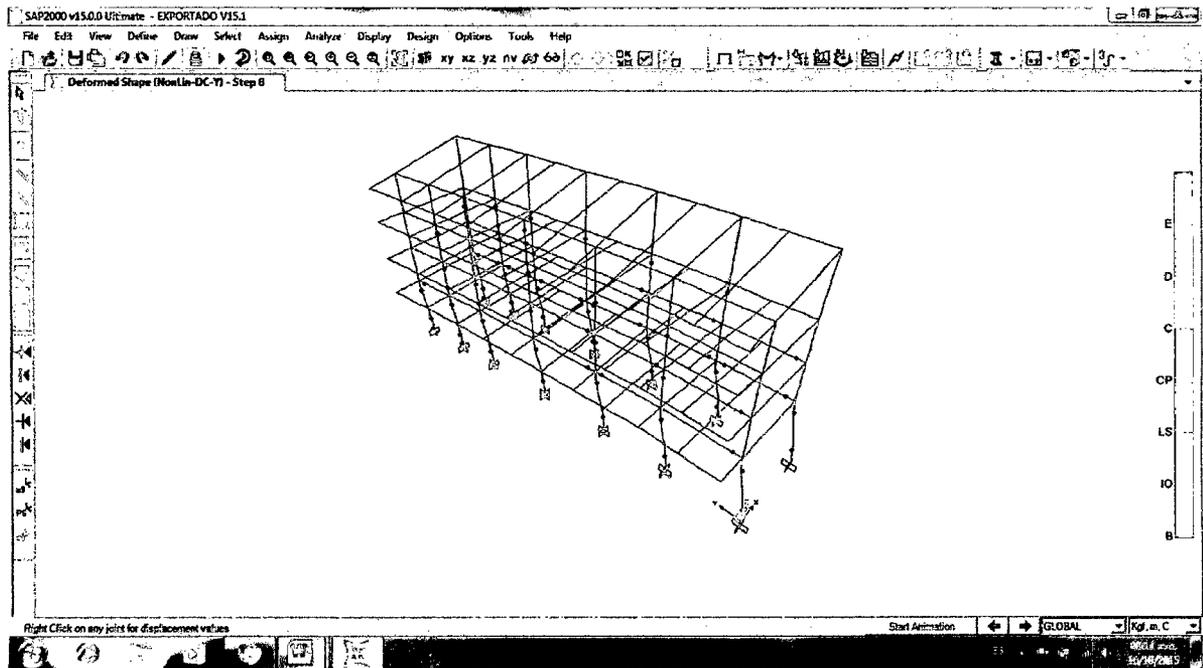
2.2. PASO 04



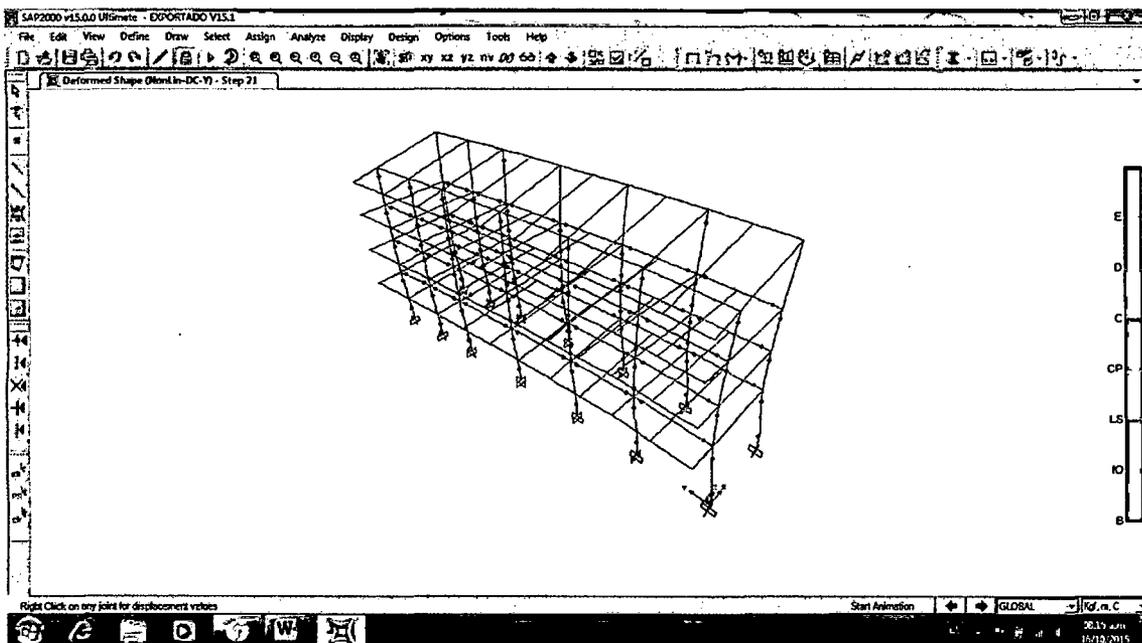
2.3. PASO 06



2.4. PASO 08



2.5. PASO ULTIMO



PLANOS