CICIT 1834



Vicerrectorado Académico
Dirección General de los Estudios de Postgrado
Área de Ingeniería
Programa en Ingeniería Estructural

Trabajo Especial de Grado como requisito para optar al Título ESPECIALISTA EN INGENIERIA ESTRUCTURAL

EVALUACIÓN DE LOS FACTORES DE DESEMPEÑO DE EDIFICACIONES APORTICADAS REGULARES EN ACERO ESTRUCTURAL, PROYECTADAS DE ACUERDO CON LA NORMA COVENIN 1756:2001

> Autor: Ing. FIGUERA, ALBA LUZ

> > Asesor: Prof. Eduardo López

> > > **Junio 2015**

TABLA DE CONTENIDO

		Pag.
INDICE D	E TABLAS	111
TABLA DE	FIGURAS	V
CARTA DI	E APROBACIÓN DEL ASESOR	VII
INTRODU	CCIÓN	
	O1	
	EMA	
LL PRODE		
1.1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2.	JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.3.	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.3.1.	OBJETIVO GENERAL	3
1.3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	
1.4.	ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.5.	LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	5
CAPITULO	O II	6
MARCO	METODOLÓGICO	6
2.1.	TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	6
2.1.1.	TIPO	6
2.1.2.	NIVEL	
2.1.3.	Diseño	
2.2.	OPERACIONALIZACIÓN DE LOS OBJETIVOS	
2.3.	FASES DE LA INVESTIGACIÓN	
2.4.	Población y Muestra	
2.1.4.	Población	
2.1.5.	Muestra	
2.5.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	
2.6.	TÉCNICAS PARA EL ANÁLISIS DE LOS DATOS	
CAPÍTULO		
MARCO	reórico	15
3.1.	ANTECEDENTES	
3.2.	BASES TEÓRICAS	
3.3.	NUEVAS CONSIDERACIONES PARA DETERMINAR EL FACTOR DE REDUCCIÓN	18
3.3.1.	FACTOR DE REDUCCIÓN DE RESPUESTA	19
3.3.2.	Factor de Reducción de Resistencia por Ductilidad $R\mu$	19
3.3.3.	FACTOR DE REDUCCIÓN POR REDUNDANCIA R ρ	20
334	FACTOR DE RESISTENCIA POR SOBRE RESISTENCIA RO	23

TABLA DE CONTENIDO

3.3.5.	FACTOR DE REDUCCIÓN DE RESPUESTA SEGÚN FEMA 450, DEL 2003	24
3.3.6.	FACTOR DE REDUCCIÓN DE RESPUESTA SEGÚN NEWMARK Y HALL, 1973	25
3.3.7.	Análisis lineal-elástico	27
3.3.8.	Análisis No lineal-elástico	27
3.4.	TÉRMINOS	29
3.5.	CASOS DE ESTUDIO	36
3.6.	BASES LEGALES	42
3.7.	DATOS PARA LA GENERACIÓN DEL ESPECTRO	42
3.8.	COEFICIENTE SÍSMICO PARA LAS EDIFICACIONES	43
3.9.	CONSIDERACIONES DEL ANÁLISIS	44
3.10.	PROCEDIMIENTO UTILIZADO PARA DETERMINAR EL FACTOR DE REDUCCIÓN R	45
CAPÍTULO	O IV	48
DRESENT.	ACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	ЛО
4.1.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA:	
4.2.	APLICACIÓN DEL ANÁLISIS NO-LINEAL DE LAS ESTRUCTURAS	
4.3.	OBTENCIÓN DEL FACTOR DE REDUCCIÓN DE RESPUESTA — MÉTODO DE CÁLCULO	
4.3.1.	CASO DE ESTUDIO CE01-TPI-03P-ND3	
4.3.1.1		
4.3.1.2		
4.3.1.3		
4.3.2.	CASO DE ESTUDIO CE02-TPI-06P-ND3	
4.3.2.1		
4.3.2.2		
4.3.2.3		
4.3.3.	CASO DE ESTUDIO CE03-TPI-09P-ND3	
4.3.3.1 4.3.3.2		
4.3.3.3		
4.3.3.3	RESULTADOS DEL ANÁLISIS	
CONCLUS	SIONES	129
RECOME	NDACIONES	130
REFEREN	CIAS	131
ANEXOS.		
	TRO DE DISEÑO ZONA SISMICA 5	
	TRO DE DISEÑO ZONA SISMICA 5TRO DE DISEÑO ZONA SISMICA 6	
	TRO DE DISEÑO ZONA SISMICA 7	
ESPEC	TRO DE DISENO ZUNA SISIVICA /	140

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de objetivos específicos	9
Tabla 2	Factores de Reducción para Estructuras de Acero	16
Tabla 3	Cargas Sobre Losas de Piso y Techo	44
Tabla 4	Cargas Distribuida Sobre Vigas	45
Tabla 5	Cargas Puntuales Sobre Vigas	45
Tabla 6	Caso de Estudio CE01-TPI-03P-ND3-Z5 - Selección de Perfiles	48
Tabla 7	Caso de Estudio CE01-TPI-03P-ND3-Z6 - Selección de Perfiles	48
Tabla 8	Caso de Estudio CE01-TPI-03P-ND3-Z7 - Selección de Perfiles	48
Tabla 9	Caso de Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z5 - Selección de Perfiles	49
Tabla 10	Caso de Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z6 - Selección de Perfiles	49
Tabla 11	Caso de Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z7 - Selección de Perfiles	49
Tabla 12	Caso de Estudio CE03-TPI-09P-ND3-Z5 - Selección de Perfiles	49
Tabla 13	Caso de Estudio CE03-TPI-09P-ND3-Z6 - Selección de Perfiles	50
Tabla 14	Caso de Estudio CE03-TPI-09P-ND3-Z7 - Selección de Perfiles	50
Tabla 15 CE02-TPI-	Rótulas Plásticas Caso de Estudio 06P-ND3-Z6	57
Tabla 16 Estudio CE	Datos de Curva de Capacidad Caso de E02-TPI-06P-ND3-Z6	61
Tabla 17 Caso de Es	Determinación de Índice de Redundancia por Resistencia $m{r}_s$ studio CE02-TPI-06P-ND3-Z6 – Columnas	63
Tabla 18 Caso de Es	Determinación de Índice de Redundancia por Resistencia $m{r}_s$ studio CE02-TPI-06P-ND3-Z6 — Vigas	64
Tabla 19 Caso en E	Determinación de Índice de Redundancia por Resistencia r_s studio CE02-TPI-06P-ND3-Z6	65
Tabla 20 CE02-TPI-	Cortante en la Base de la Estructura 06P-ND3-Z6	65
Tabla 21	Rótulas de la Estructura CE01-TPI-03P-ND3-Z5	68
Tabla 22 Caso de E	Datos de Curva de Capacidad studio CE01-TPI-03P-ND3-Z5	70
Tabla 23	Rótulas de la Estructura CE01-TPI-03P-ND3-Z6	73

TABLA DE FIGURAS

Figura N° 1	Determinación del R, según NEHRP (FEMA-450, 2003)	24
Figura N° 2 de R en estruc	Principios de igualdad de desplazamientos para determinación cturas con periodos largos	25
Figura N° 3 en estructuras	Principios de igualdad de energías para determinación de R con periodos cortos	
Figura N° 4	Zonificación Sísmica de Venezuela	36
Figura N° 5	Edificaciones Caso de Estudio – Planta	37
_	Edificaciones Caso de Estudio P-ND3 –Elevaciones	38
_	Edificaciones–Elevaciones dio CE02-TPI-06P-ND3	39
	Edificaciones Caso de Estudio P-ND3 –Elevación Este-Oeste	40
	Edificaciones Caso de Estudio ND3 –Elevaciones Norte-Sur	41
•	Secuencia de Plastificación de Caso de Estudio 02-TPI-06P-ND3-Z6	56
-	Identificación de vigas y columnas 02-TPI-03P-ND3-Z6	. 60
~	Curva de Capacidad de la estructura dio CE02-TPI-06P-ND3-Z6	62
_	Secuencia de Plastificación dio CE01-TPI-03P-ND3-Z5	68
_	Curva de Capacidad de la estructura io CE01-TPI-03P-ND3-Z5	70
_	Secuencia de Plastificación de Caso de io CE01-TPI-03P-ND3-Z6	72
_	Curva de Capacidad dio CE01-TPI-03P-ND3-Z6	74
_	17 Secuencia de Plastificación de dio CE01-TPI-03P-ND3-Z7	76

Figura N° 18 Curva de Capacidad Caso de Estudio CE01-TPI-03P-ND3-Z778
Figura N° 19 Secuencia de Plastificación Caso de Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z5
Figura N° 20 Curva de Capacidad Caso en Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z5
Figura N° 21 Secuencia de Plastificación Caso de Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z789
Figura N° 22 Curva de Capacidad Caso en Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z7
Figura N° 23 Secuencia de Plastificación de Caso de Estudio CE03-TPI-09P-ND3-Z5
Figura N° 24 Curva de Capacidad Caso en Estudio CE03-TPI-09P-ND3-Z5
Figura N° 25 Secuencia de Plastificación Caso de Estudio CE03-TPI-09P-ND3-Z6
Figura N° 26 Curva de Capacidad Caso en Estudio CE03-TPI-09P-ND3-Z6
Figura N° 27 Secuencia de Plastificación de Caso de Estudio CE03-TPI-09P-ND3
Figura N° 28 Curva de Capacidad Caso en Estudio CE03-TPI-09P-ND3-Z7
Figura N° 29 Gráfica de valores R Reducción por Ductilidad Calculados Vs R Tabulados por COVENIN
Figura N° 30 Gráfica de valores R Reducción por Sobre Resistencia Calculados Vs R Tabulados por COVENIN
Figura N° 31 Gráfica de valores R Reducción por Redundancia Calculados Vs R Tabulados por COVENIN
Figura N° 32 Gráfica de valores R Reducción Totales Calculados Vs R Tabulados por COVENIN
Figura N° 33 Gráfica de Factores Reducción de Ductilidad, Sobre Resistencia, Redundancia y Totales Calculados Vs R Tabulados por COVENIN

CARTA DE APROBACIÓN DEL ASESOR

Caracas, 03 de Junio de 2015

Señores

Directores

Consejo de Área de Ingeniería

UCAB

Presente.-

Referencia: Carta de Aprobación del Asesor

Estimados señores:

Por medio de la presente hago constar que he leído y revisado el Trabajo Especial de Grado titulado: "EVALUACIÓN DE LOS FACTORES DE DESEMPEÑO DE EDIFICACIONES APORTICADAS REGULARES EN ACERO ESTRUCTURAL, PROYECTADAS DE ACUERDO CON LA NORMA COVENIN 1756:2001" desarrollado por la ingeniera ALBA LUZ FIGUERA, titular de la cedula de identidad 8.301.253, como requisito parcial para optar al título de Especialista en Ingeniería Estructural.

A partir de dicha lectura y revisión considero que el mencionado **Trabajo Especial de Grado** cumple con los requisitos y reúne los méritos suficientes para su evaluación por parte del distinguido **Jurado Evaluador** que tengan a bien designar.

Sin otro particular, quedo de ustedes con un cordial saludo,

Atentamente.

Suardo D

Ing. EDUARDO LÓPEZ

C.I. N° 4.849.487

INTRODUCCIÓN

El uso del acero estructural para la construcción de edificios es un concepto relativamente novel. Son muchos los aspectos que han redundado para contribuir con el crecimiento de este mercado a nivel mundial, especialmente el comportamiento favorable de los edificios de acero en los terremotos anteriores a 1994. Básicamente, la ocurrencia de cuatro terremotos en California y Japón (San Francisco, Kanto, Santa Bárbara y Long Beach) en la primera parte del siglo XX, determinó la confianza de los ingenieros sobre el acero como un material confiable para el diseño sismorresistente, ya que presentaron menos problemas estructurales en comparación con edificios de concreto similares en tamaño y escala.

Debido a la variabilidad de las solicitaciones sísmicas, es económicamente imposible construir una estructura que se comporte elásticamente para el sismo más grande que se pueda esperar en una región. Por lo tanto, todas las estructuras en zonas sísmicas deben incorporar algún grado de ductilidad, el cual se representa a través del factor de reducción de la respuesta R. Conceptualmente, el efecto de este factor es reducir las solicitaciones de diseño a expensas de la disipación de energía representada mediante el daño estructural. Mientras mayor es el factor R, mayor ductilidad se requiere de la estructura; es decir, mayor capacidad de resistir daño sin colapsar; mientras que un factor R igual a 1 implica una estructura con comportamiento elástico. La definición de este factor, y su aplicación a la determinación de las solicitaciones sísmicas, varía según las normas sísmicas de cada país.

La mayor parte de las normativas sísmicas especifican un espectro de diseño inelástico obtenido dividiendo el espectro de diseño elástico entre el factor de reducción de fuerzas sísmicas. Este factor es función del factor de reducción de las fuerzas sísmicas por ductilidad, del factor por sobrerresistencia y del factor de redundancia. Las disposiciones sísmicas contenidas en la Norma COVENIN 1756:2001, para la asignación de estos factores de desempeño, relacionados con las diferentes tipologías estructurales y para diferentes niveles de diseño sísmico, establecen valores tabulados, basados en la experiencia y en estudios estadísticos, que no representan la totalidad de las variables que afectan el comportamiento de las estructuras ante una excitación sísmica.

El estudio a realizar pretende, a través de la aplicación de los programas de cálculo estructural comerciales, determinar los factores de desempeño, lo más ajustado a la realidad posible, de edificaciones aporticadas regulares de acero estructural, que caractericen más fehacientemente su comportamiento real ante las solicitaciones sísmicas y realizar un análisis comparativo contra los valores de dichos factores propuestos en la Norma COVENIN 1756:2001.

La estructuración del documento objeto de la presente investigación se configuró de la siguiente manera: Capítulo I "El Problema"; en él se conceptualizó el Planteamiento del Problema, formulándose además los objetivos general y específicos del estudio, los cuales canalizaron el enfoque de la investigación. Adicionalmente, se indicó la justificación, el alcance y las limitaciones previstas. Capítulo II "Marco Metodológico"; en este aparte se definió el tipo y diseño de la Investigación, el grado o nivel de profundidad con que se abordó el tema, la operacionalización de los objetivos y se establecieron las fases de la investigación en función de los objetivos trazados; así como también, se delimitó la muestra a estudiar y se definió las técnicas e instrumentos para la recolección y el análisis de los datos. Capítulo III "Marco Teórico", se orientó a enmarcar la investigación dentro de un contexto teórico apropiado para el desarrollo del problema planteado, estableciendo los antecedentes y bases teóricas que sirvieron de apoyo al estudio.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema

En la mayor parte de las normativas sismorresistentes se presentan factores de reducción de las fuerzas sísmicas con los cuales se transforma el espectro elástico en espectro inelástico, para las diferentes configuraciones estructurales y para distintos niveles de diseño sísmico. Este factor de reducción se ve afectado por los factores de reducción por ductilidad, reducción por redundancia y reducción por sobrerresistencia.

Hoy en día existen serias dudas sobre la validez de diseñar las estructuras de edificaciones ubicadas en sitios geográficos de mediana o alta sismicidad, que incluyan solicitaciones generadas por fuerzas sísmicas, calculadas con las acciones del sismo de diseño, las cuales han sido afectadas por el factor de reducción, R, tomado como un valor fijo, teóricamente válido para cada tipo genérico de estructura, lo que conlleva a estructuras inseguras y en todo caso, con un grado de confiabilidad estructural totalmente incierto (Montaña, 2010).

En la medida en que las variables que intervienen en el cálculo del factor de reducción representen apropiadamente el comportamiento estructural de las edificaciones ante las solicitaciones sísmicas, los modelos matemáticos se aproximarán más a la realidad del problema planteado, logrando de este modo, reducir la incertidumbre asociada al diseño sismorresistente y garantizando la seguridad de las edificaciones en cuanto a su función de proteger las vidas, aminorar los daños esperados y mantener operativas aquellas de carácter esencial sometidas a la acción de tales eventos. Siendo estos factores de suma importancia para los procedimientos de cálculo estructural.

Existen dos caminos para hallar el factor de reducción por ductilidad, uno a partir de la relación entre desplazamiento máximo inelástico con respecto al desplazamiento máximo elástico (Aguiar 2006) y el otro es mediante un análisis lineal elástico de las estructuras o en sistemas de un grado de libertad, en el que se determina el cortante basal y la curva de capacidad sísmica de la estructura aplicando la técnica del "pushover" (Aguiar 2003).

El factor de reducción depende de los materiales, la configuración y la ductilidad presentes en la estructura. Para el diseño; se da una estimación inicial de este valor establecido por los códigos actuales, pero debería verificarse a

posteriori el nivel de reducción que es realmente capaz de alcanzar la estructura y chequear el diseño en función de ello. La determinación de este valor ha estado supeditada, desde sus inicios, al criterio de expertos, a análisis estadísticos o al juicio del ingeniero y se presenta en las normas que rigen la práctica común del diseño estructural en forma tabulada, provocando graves errores en la evaluación de las solicitaciones de diseño, tanto de la estructura como de los miembros de soporte (Valencia Restrepo y Valencia Clement, 2010).

Por otro lado, ciertos aspectos del diseño de estructuras de acero contenidos en la norma Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, versión 2002, de AISC, refuerzan el postulado de que el uso del factor R en el diseño de estructuras de acero, en zonas de alta sismicidad genera serias inconsistencias, y en muchos casos, estructuras inseguras (Montaña, 2010).

Hoy en día, usando otro enfoque de diseño, es posible, mediante la aplicación de modelos matemáticos y herramientas computarizadas actualizadas, tener una estimación más acertada de dicho comportamiento, permitiendo, en la mayoría de los casos, disminuir o eliminar tales incertidumbres con lo que se pueden determinar los factores de reducción en forma más precisa.

Como un aporte para reducir las implicaciones que asume el proyectista estructural, cuando selecciona determinados valores de R que puedan llevar a subestimar o a sobreestimar las fuerzas sísmicas, y con miras a lograr mejoras en los métodos de diseño que garanticen edificaciones más seguras, el presente estudio se enfoca en el diseño y análisis de tres edificaciones regulares aporticadas en acero estructural, proyectadas conforme a la norma venezolana COVENIN 1756:2001, para posteriormente determinar, mediante la aplicación de modelos matemáticos y herramientas computarizadas que reflejen de forma precisa el comportamiento de la estructura, los factores de desempeño reales de: Ductilidad, Sobre-resistencia y Redundancia, a fin de evaluarlos en forma comparativa con los valores establecidos en la norma.

1.2. Justificación de la Investigación

Las normas COVENIN, para el diseño de edificaciones sismorresistentes en acero estructural, al igual que la mayoría de los códigos a nivel mundial, basan sus estudios en el espectro elástico de diseño, los cuales consideran un número de registros y obtienen de éste el seudoespectro de aceleración, considerando un espectro promedio más una cierta desviación estándar de los anteriores.

Diseñar directamente con este espectro de diseño conllevaría a que la estructura, para alcanzar este nivel de fuerzas, se comportara elásticamente. A manera de obtener estructuras más económicas y aprovechar la capacidad de deformación no lineal de los materiales, se utiliza un factor de reducción el cual está relacionado con la capacidad de deformarse la estructura en forma no lineal.

Los criterios establecidos en las normas venezolanas COVENIN 1756:2001, para la asignación de los valores a los factores de desempeño, según las diferentes tipologías estructurales y niveles de diseño no reflejan adecuadamente el comportamiento sísmico de las estructuras, y en líneas generales se presentan sobrevaluados; con el agravante de que dicha norma tiene más de una década sin actualizar, lo que pone de manifiesto la necesidad de mejorar las metodologías de diseño sísmico de estructuras que refuercen la confiabilidad estructural e incorporen el surgimiento de las nuevas tecnologías como las poderosas herramientas de cálculo y los nuevos sistemas estructurales que no han sido incluidos en la norma COVENIN 1756:2001.

Este proyecto de investigación se enfoca en la determinación de los factores de desempeño basados en el comportamiento real de estructuras en acero ante solicitaciones sísmicas, mediante la aplicación de metodologías de cálculo que permitan incorporar programas de computación actualizados y simuladores matemáticos capaces lograr la modelización adecuada del desempeño estructural.

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Evaluar los factores de desempeño de edificaciones aporticadas regulares de acero estructural, diseñados aplicando los requerimientos sismorresistentes de la Norma COVENIN 1756:2001.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Proyectar tres edificios aporticados regulares de acero estructural de 4, 7 y 10 niveles, mediante análisis lineal-elástico, conforme a las normas Venezolanas COVENIN 2002:88 y 1756:2001, y diseñados en base a la norma COVENIN 1618:1998.
- Realizar, a las tres edificaciones previstas, el análisis no lineal empleando los método de análisis no lineal con empuje incremental

convencional (pushover analysis) e incremental adaptativo (adaptive pushover analysis).

- Determinar los factores reales de desempeño estructural de los tres edificios estudiados.
- Evaluar en forma comparativa, los resultados obtenidos mediante los programas de computación de las estructuras en acero de configuración regular analizadas, a fin de observar el comportamiento de los factores de reducción de respuesta, reserva de resistencia, ductilidad y redundancia estructural obtenidos, con los aspectos y las disposiciones establecidas en la Norma COVENIN 1756:2001.

1.4. Alcance de la Investigación

Este estudio se fundamenta en el uso de las normas COVENIN 1756:2001, para la determinación de los factores de reducción reales de tres edificaciones en acero estructural de 4, 7 y 10 niveles, utilizando inicialmente valores de R preestablecidos en la misma; y posteriormente, mediante la aplicación de un software comercial, encontrar la curva de capacidad sísmica de la estructura aplicando la técnica del pushover de las diferentes edificaciones y, por medio de ellas, obtener los diferentes factores de desempeño estructural expresados por la ductilidad, el factor por sobrerresistencia y el factor de redundancia, con la finalidad de hacer conclusiones del comportamiento de las estructuras. Las estructuras son aporticadas regulares y están formadas por pisos con diafragmas rígidos y un sistema de fundación que garantice la integridad estructural.

Los edificios objeto de este análisis están conformados por pórticos ortogonales, regulares, con sistemas de piso rígido, a fin de garantizar la capacidad de deformación no lineal de la estructura impidiendo la formación del mecanismo de pisos blandos, a fin de minimizar concentraciones de demandas inelásticas. Estas edificaciones fueron proyectadas durante el desarrollo del presente estudio, con la finalidad de comparar el comportamiento no lineal de las estructuras con los parámetros de proyecto indicados en las normas COVENIN.

Se utilizó la norma COVENIN 2002:88, Criterios y Acciones Mínimas para el Proyecto de Edificaciones, para determinar las cargas permanentes y variables, asumiendo que las estructuras son de uso residencial. Para la definición de las acciones sísmicas se aplicó la norma COVENIN 1756:2001, Edificaciones

Sismorresistentes, tomando en cuenta el sitio de emplazamiento de las estructuras asumido, para clasificarla dentro de una zona sísmica especifica.

Las estructuras se proyectaron mediante un análisis lineal-elástico, siguiendo los principios de la mecánica y de la teoría estructural. Para este análisis se utilizó el programa STAAD PRO versión 8i. El diseño y análisis estructural se realizó en función a los lineamientos establecidos en la norma COVENIN 1618:98, Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites.

Para determinar la respuesta sísmica se realizó el análisis no lineal con empuje incremental (*pushover analysis*) y análisis no lineal con empuje incremental adaptativo (*adaptive pushover analysis*). Este análisis se efectuó mediante el uso de los programas ETABS, SAP 2000 y STAAD PRO.

El presente estudio se limitó a la evaluación teórica mediante modelos matemáticos y la aplicación de software comerciales especializados en la materia; excluyéndose del alcance del mismo la evaluación y comprobación experimental.

Asimismo, el estudio se enfocó en la determinación de factores de desempeño estructural expresados por el factor de reducción de respuesta de las fuerzas sísmicas por ductilidad, el factor por sobrerresistencia y del factor de redundancia. Aunque bien, estos no son todos los parámetros normativos utilizados para la cuantificación de las acciones sísmicas, son los característicos del comportamiento de las estructuras ante este tipo de acciones, y son aplicados en el proyecto elástico de estructuras en forma sustituta de la respuesta inelástica.

Por otro lado, se restringió al estudio de tres (3) edificios aporticados regulares en acero estructural. Por último, no es alcance de este estudio el análisis del conexionado, el sistema de fundaciones, ni se considera otra solicitación accidental que no sea el sismo.

1.5. Limitaciones de la Investigación

La principal limitación radicó en la poca disponibilidad de bibliografía que trate sobre el tema y sirva de soporte al desarrollo de la investigación en los términos planteados, aplicables a estructura en acero.

CAPITULO II

MARCO METODOLÓGICO

2.1. Tipo y Diseño de la Investigación

2.1.1. Tipo

Se realizó un enfoque de la investigación tendiente a analizar el comportamiento estructural ante acciones sísmicas mediante el modelaje de tres (3) edificaciones, valorando sus factores de desempeño, a fin de lograr minimizar el grado de incertidumbre asociado a las prácticas de diseño sismorresistente, trabajando con modelos matemáticos que representen de un modo más realista el comportamiento de las estructuras ante estas solicitaciones sísmicas.

El Estudio objeto del presente trabajo se sitúa dentro del contexto de una *Investigación Evaluativa*, con base a lo establecido por Hurtado (1998, págs. 365-366), citando a Briones (1991) en relación a que:

La investigación evaluativa es aquella que analiza la estructura, el funcionamiento y los resultados de un programa con el fin de proporcionar información de la cual se puedan derivar criterios útiles para la toma de decisiones con respecto a la administración y desarrollo del programa evaluado. En otras palabras, la investigación evaluativa permite estimar la efectividad de uno o varios programas, propuestas, planes de acción o diseños, los cuales han sido aplicados anteriormente con la intención de resolver o modificar una situación determinada.

2.1.2. Nivel

En función al grado de profundidad con que se abordó el fenómeno o problema en estudio, el nivel presente del tipo de investigación se define como una *Investigación Descriptiva*. En cuanto al carácter descriptivo de una investigación, Sabino (1992) explica que:

Las investigaciones descriptivas utilizan criterios sistemáticos que permiten poner de manifiesto la estructura o el comportamiento de los fenómenos en estudio, proporcionando de ese modo información sistemática y comparable con la de otras fuentes. Los estudios de esta índole tratan de obtener información acerca del estado actual de los fenómenos. Con ello se pretende precisar la naturaleza de una situación tal como existe en el momento del estudio. (p. 308).

2.1.3. Diseño

El diseño del presente estudio se puede enmarcar como un Diseño Descriptivo, No experimental, Transeccional y apoyado en una investigación documental.

En primer término, este estudio requirió de la recopilación de información basada en la revisión bibliográfica existente relativa a las variables y conceptos sísmicos involucrados y de los posibles modelos matemáticos a ser utilizados para el análisis estructural de las edificaciones planteadas que conllevaron a la obtención y valoración de los datos, de allí que se pueda enmarcar dentro de la categorización de *Investigación Documental* realizada por Fidias G. Arias (1999), quien la caracteriza como:

En atención al diseño, la Investigación Documental es aquella que se basa en la obtención y análisis de datos provenientes de materiales impresos u otros tipos de documentos (p 21).

Esta investigación es no experimental, ya que estudia el problema sin realizar deliberadamente algún tipo de manipulación de las variables y sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para un análisis posterior. Este tipo de *Diseño no Experimental* está bien tipificado por Hernández, Fernández y Baptista (1997):

La investigación no experimental es aquella que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, es investigación donde no hacemos variar intencionalmente las variables independientes. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos. (p. 155).

En relación al *Diseño Transeccional*, este proyecto de investigación se realizó en un período de tiempo determinado, ajustándose a la catalogación reseñada por los mismos autores (Ob.cit.):

Los diseños de Investigación Transeccional o Transversal recolectan datos en un solo momento en un tiempo único. Su propósito es describir variables, y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. Es como tomar una fotografía de algo que sucede" (p. 157).

2.2. Operacionalización de los objetivos

Según Rigel Blanco (1994), el diseño operacional constituye la fase de concreción del diseño. Tiene su punto de partida en los objetivos de la investigación e indica la forma en que se va a cumplir cada objetivo. Comprende las partes siguientes: la operacionalización de objetivos y la especificación del universo - muestra.

Uno de los aspectos más importantes para conocer el proceso de diseño de una investigación y su naturaleza, es identificar la realidad objeto de estudio y reconocer las dimensiones dentro de su contexto, antecedentes y desarrollo, por lo que establecer adecuadamente el objetivo general y realizar la estructura de partición del trabajo en función de los objetivos específicos, es una pieza clave.

En esta fase se desarrolló el momento metodológico correspondiente al diseño operacional y programación de la investigación, conocido como el proceso Operacionalización de los Objetivos y se realizó mediante la identificación y definición de variables, selección de las fuentes de información e instrumentos, técnicas y procedimientos necesarios para la recolección de la información. En este proceso se elaboró un cuadro donde se muestra, a través de sucesivos pasos de concretización, los aspectos siguientes: variable en estudio, indicadores posibles para cada variable, preguntas directrices para cada indicador, fuentes de información, instrumentos o técnicas que se utilizaron para recopilar información.

Tabla 1 Operacionalización de objetivos específicos

OBJETIVO ESPECÍFICO	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	HERRAMIENTAS
Proyectar tres edificaciones en acero estructural, tipo aporticadas regulares, de 4, 7 y 10 niveles realizando un análisis lineal-elástico aplicando los requerimientos de la norma COVENIN 2002-88 y 1756-2001, y diseñadas en base a la norma COVENIN 1618-98.	Clasificación arquitectónica Clasificación sísmica. Clasificación espectral. Clasificación estructural. Métodos de análisis.	 Uso de las edificaciones. Cargas variables y permanentes. Ubicación geográfica de las Edificaciones. Zonificación sísmica. Coeficiente de aceleración horizontal. Formas espectrales del terreno y factor de corrección del coeficiente de aceleración horizontal. Clasificación de la estructura según el uso. Factor de importancia. Clasificación según el nivel de diseño, tipo de estructura y regularidad de la estructura. Factor de reducción de respuesta. Coeficiente sísmico y espectros de diseño. Métodos de análisis. 	 Zona Sísmica asignada Espectros de Diseño y respuesta Tipo de Edificación Estático, Dinámico 	Norma Venezolana COVENIN 2002:88 "Criterios de Acciones Mínimas para el Proyecto de Edificaciones" Norma Venezolana COVENIN 1756:2001 "Edificaciones Sismorresistentes" Norma Venezolana COVENIN 1618:98 "Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites." Hojas de cálculo
Realizar, a las tres edificaciones previstas, el análisis no lineal empleando métodos de análisis no lineal con empuje incremental convencional (pushover analysis) e incremental adaptativo (adaptive pushover analysis), empleando el enfoque de Inelasticidad distribuida.	Modelo Matemático o Programa de Cálculo Método de Inelasticidad Distribuida Leyes de comportamiento no lineales.	 Características propias de los materiales. Miembros prismáticos constituyentes de marcos y pórticos Acciones permanentes, variables y sísmicas 	Resultados Obtenidos de la aplicación de métodos y programas	Programas especializados en diseño estructural STAAD PRO v8i, ETABS versión 9 y SAP 2000 versión 17.

Tabla 1. Operacionalización de objetivos específicos (Continuación)

OBJETIVO ESPECÍFICO	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	HERRAMIENTAS
 Relación entre corta basales. Relación entre los desplazamientos de desempeño estructural de los tres edificios estudiados. Relación entre la rigactual y la rigidez ini Relación con la duct desplazamiento. 		 Corte basal de diseño, para primera cedencia local, idealizado y elástico. Desplazamiento lateral elástico y máximo. Ductilidad de desplazamiento. Rigidez elástica y última. 	 Coeficiente Sísmico Magnitud de los efectos Derivas Factores de Desempeño 	 Programas especializados en diseño estructural STAAD PRO v8i, ETABS versión 9 y SAP 2000 versión 17. Hojas de cálculo
Evaluar en forma comparativa, en base a las disposiciones de la norma COVENIN 1756:2001, el factor de reducción de respuesta, reserva de resistencia, ductilidad y redundancia estructural de los edificios estudiados.	 Factores de Desempeño de acuerdo a los requisitos de la norma Factores de Desempeño reales obtenidos de los cálculos 	 Disposiciones sísmicas Factor de reducción por ductilidad Factor de reducción por sobrerresistencia Factor de reducción por redundancia 	Resultados Obtenidos de la aplicación de métodos y programas	Norma Venezolana COVENIN 1756:2001 "Edificaciones Sismorresistentes"

2.3. Fases de la investigación

En función del alcance, tipo y diseño del estudio, y delineado por los objetivos propuestos, el ciclo de vida de este proyecto de investigación se estructuró en cinco fases, las cuales se describen a continuación:

Fase 1: abarcó la aplicación de las disposiciones contenidas en las normas COVENIN 2002-88 y COVENIN 1756:2001, a fin de establecer los criterios para el análisis y diseño de las edificaciones objeto de este estudio, de acuerdo con la zona geográfica de implantación, tipología, factor de importancia y configuración estructural, así como la determinación de las acciones variables, permanentes y sísmicas a las que estarán sometidas dichas edificaciones durante su vida.

Incluye además, el proyecto de las tres edificaciones aporticadas regulares en acero estructural mediante análisis lineal-elástico, conforme a lo establecido a la norma venezolana COVENIN 1618-1998, con la aplicación de software especializado en diseño estructural: STAAD PRO versión v8i.

Fase 2: se fundamenta en la evaluación del proyecto estructural para determinar la respuesta sísmica de las estructuras ante las disposiciones de la normativa Venezolana, mediante el desarrollo de modelos estructurales matemáticos, considerando la plasticidad distribuida y la no linealidad geométrica. Este análisis se realizó mediante el uso del programa ETABS, SAP 2000 Y STAAD PRO.

En esta etapa se realizaron los análisis no lineal con empuje incremental (pushover analysis) y análisis no lineal con empuje incremental adaptativo (adaptive pushover analysis), con la finalidad de obtener las curvas de capacidad de las estructuras.

Fase 3: se determinaron y estudiaron los parámetros inherentes al comportamiento de los sistemas estructurales, expresados por los factores de desempeño reales de las estructuras estudiadas, de acuerdo a los valores resultantes para los factores de reducción de respuesta, reserva de resistencia, ductilidad y redundancia estructural de cada una de las edificaciones.

Fase 4: en ésta se emitieron las conclusiones y recomendaciones basadas en la comparación de los factores de desempeño obtenidos en función del comportamiento real de las estructuras, en contraposición con los factores de

desempeño originalmente asignados en la Fase 1, de acuerdo a la disposiciones establecidas en la norma COVENIN 1756:2001.

2.4. Población y Muestra

2.1.4. Población

Tamayo y Tamayo, M. (1998) establecen que "La población es la totalidad del fenómeno de estudio, en donde las unidades de la población poseen una característica común, cuyo estudio da origen a los datos de la investigación" (p. 96).

Este concepto se complementa con lo expresado por Morles, V. (1994) quien plantea que "la población o universo se refiere al conjunto de miembros o unidades para el cual serán válidas las conclusiones que se obtengan (personas, instituciones o cosas) a los cuales se refiere la investigación" (p. 17).

2.1.5. Muestra

La delimitación de la población a proporciones factibles de investigar restringiéndola sólo al conjunto de las unidades que nos interesan evaluar, de forma tal de obtener la información relevante sin necesidad de acudir a la medición de todo el universo posible de datos, es un aspecto clave en el proyecto de investigación.

En cuanto a la muestra Sabino, C. (1996) la define como:

La Muestra es parte de todo lo que llamamos universo y que sirve para representarlo, es decir, consiste en un número de sujetos que reúnen las mismas características de la población estudiada y, por lo tanto, son representativos de la misma. Cuando la muestra cumple con las condiciones anteriores, es decir, cuando nos refleja en sus unidades lo que ocurre en el universo, la llamamos muestra representativa (p. 104)

No obstante, en esta investigación al ser de carácter documental, su universo equivale al tema de estudio. Por otra parte, los estudios de casos que se concentran en uno o pocos miembros, se asumen no como un conjunto sino como una sola **Unidad de Análisis** (Fidias, 1999, p 22).

Para el presente estudio, el tamaño de la muestra se ha definido como una unidad de análisis, delimitada a un conjunto de tres edificaciones aporticadas, de configuración regular en acero estructural, y proyectadas de acuerdo a la norma COVENIN 1756-2001.

2.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

De acuerdo a lo establecido por Hernández, Fernández y Baptista (1997), recolectar los datos implica tres actividades estrechamente vinculadas entre sí:

"Seleccionar un instrumento de medición de los disponibles en el estudio del comportamiento o desarrollar uno. Este instrumento debe ser válido y confiable, de lo contrario no podemos basarnos en sus resultados.

Aplicar ese instrumento de medición. Es decir, obtener las observaciones y mediciones de las variables que son de interés para nuestro estudio (medir variables).

Preparar las mediciones obtenidas para que puedan analizarse correctamente" (p. 194).

En ese mismo orden de ideas, explican que "esa medición es efectiva cuando el instrumento de recolección de los datos realmente representa a las variables que tenemos en mente. Si no es así nuestra medición es deficiente y por lo tanto la investigación no es digna de tomarse en cuenta" (p. 195).

En función de la naturaleza del estudio y de los datos que se requieren, en primer lugar se sitúa la técnica de la investigación documental la cual permitió, mediante la recopilación y revisión de fuentes bibliográfica asociadas con el tema propuesto, abordar el estudio en función de los objetivos definidos. Dentro de este ámbito, se usaron una serie de técnicas operacionales para manejar las fuentes documentales: subrayado, fichaje, notas de referencia bibliográficas, presentación de índices, cuadros, etc. En segundo lugar se usó la técnica de observación directa no participante y sistemática, a través de lo cual se obtuvieron observaciones directas de manera neutral sin interferir en el medio o realidad en la que se realiza el estudio.

Para Hernández, Fernández y Baptista (1997), observación documental consiste en:

"Detectar, obtener y consultar la bibliografía y otros materiales que parten de otros conocimientos y/o informaciones recogidas moderadamente de cualquier realidad, de manera selectiva, de modo que puedan ser útiles para los propósitos del estudio." (p.33).

Para Arias (1999), "los instrumentos para la recolección de datos son los medios materiales que se emplean para recoger y almacenar la información".

Los instrumentos para esta recolección están representados por el uso de computador y sus unidades de almacenaje (internet), conjuntamente con modelos matemáticos computarizados o programa de cálculo con simuladores numéricos.

2.6. Técnicas para el análisis de los datos

Para que los datos recolectados fuesen de utilidad, toda la información obtenida, se organizó, catalogó y procesó para profundizar el análisis e interpretación de los hallazgos encontrados, a fin de enmarcar dentro del problema en estudio, lo que conllevó a la consecución de los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación. Para ello fue necesario recurrir a las técnicas del análisis tanto cualitativo como cuantitativo.

El análisis de contenido, según Arias, F. (1999) "es la técnica dirigida a la cuantificación y clasificación de las ideas de un texto, mediante categorías preestablecidas" (p. 77).

El análisis cuantitativo se refiere al tratamiento que se le dio a la información recabada, a su procesamiento a través de los modelos matemáticos computarizados o el programa de cálculo estructural con simuladores numéricos y al análisis de las respuestas obtenidas de la aplicación de métodos y programas, todo este proceso se efectuó de manera automatizada con apoyo de la computadora como instrumento básico, utilizando los programas diseño estructural: STAAD PRO versión v8i.

El análisis cualitativo condujo a la interpretación de los resultados, relacionándolos y valorándolos adecuadamente para llegar a conclusiones pertinentes respecto al problema planteado.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

El estudio consistió en realizar un análisis estático lineal para determinar las secciones de los miembros, obtenida la configuración estructural se realizó el análisis pushover estático mediante programas de cálculo para conseguir las curvas de capacidad y punto de desempeño de los pórticos representativos de las edificaciones para diferentes zonas sísmicas, con el objeto de determinar los valores de R producto de estos métodos de cálculo y compararlos con los valores de R establecidos en la Norma COVENIN .

3.1. Antecedentes

A fines de 1990, el Ing. César Hernández organizó la revisión de la Norma COVENIN 1756, Edificaciones Antisísmicas, en vigencia desde 1982. Con posterioridad se continuó con sus revisiones siendo su última actualización en Julio del 2001, lo que deja un enorme vacío en relación a las metodologías de diseño sísmico de estructuras destinadas a garantizar la confiabilidad estructural, especialmente cuando con el transcurrir del tiempo la disciplina se ha visto enriquecida con el surgimiento de nuevas tecnologías como poderosas herramientas de cálculo y nuevos sistemas estructurales los cuales no han sido incorporados en esta norma, a pesar de que ella rige los requerimientos para el diseño sismorresistente de edificaciones.

Según Aguiar (2006), "cuando las normativas sísmicas no están suficientemente documentadas se puede, por un lado, estar subvalorando la acción sísmica, simplemente diseñando para fuerzas sísmicas, que son un tercio menores a las que le corresponden, o por otra parte, al considerar valores altos de R implica diseñar a la estructura para que tenga una gran capacidad de ductilidad, tenga una sobre resistencia apreciable y que el sistema tenga gran redundancia".

Para Daza (2003), "este factor está definido en forma muy general para una determinada tipología estructural y el desconocimiento de su origen o de las implicaciones que asume el proyectista estructural cuando selecciona un determinado valor puede llevar a subestimar las fuerzas sísmicas o a sobreestimarlas".

En el ámbito de las Estructuras de Concreto Armado existen más de catorce estudios de investigación a nivel mundial, enfocados a la determinación del factor

de reducción de las fuerzas sísmicas por ductilidad (Newmark-Riddell (1979), Newmark-Hall (1982), Priestley (1999), Ordaz-Rocha (1998), Aguiar-Guerrero (2006), Aguiar-González (2006), Aguiar-Romo-Aragón (2007) entre otros). Esto demuestra el gran interés que existe en el tema y es justificado ya que es uno de los factores que intervienen en el cálculo de la reducción de las fuerzas sísmicas, con el cual se pasa el espectro elástico al espectro de diseño inelástico. Este mismo interés debe extrapolarse a proyectos de investigación que conduzcan a la determinación de los factores de desempeño ajustados al comportamiento real de estructuras en acero ante solicitaciones sísmicas, con el fin de garantizar el diseño de edificaciones más seguras.

3.2. Bases teóricas

La norma COVENIN 1756:2001 establece específicamente, en forma tabulada, los máximos valores del factor de reducción de respuesta, a ser utilizados en el diseño estructural, en función los distintos tipos de estructuras y niveles de diseño, tal como se muestra en la Tabla 2:

Tabla 2 Factores de Reducción para Estructuras de Acero

NIVEL DE	TIPO DE ESTRUCTURA (SECCIÓN 6.3.1)				
DISEÑO	l (1)	11	111	IIIa	IV
ND3	6.0 (2)	5.0	4.0	6.0 (3)	2.0
ND2	4,5	4.0		-	1.5
ND1	2.5	2.25	2.0	_	1.25

Fuente: norma COVENIN 1756:2001

- Para sistemas con columnas articuladas en su base el valor de R será multiplicado por 0.75
- (2) En pórticos con vigas de celosía se usará 5.0 limitado a edificios de no más de 30 metros de altura
- (3) En aquellos casos donde la conexión viga colectora-columna sea del Tipo PR, según la Norma COVENIN 1618-98, úsese 5.0.

A los fines de la aplicación de esta norma, se distinguen los tres niveles de diseño, los cuales se especifican a continuación:

Nivel de Diseño 1

El diseño en zonas sísmicas no requiere la aplicación de requisitos adicionales a los establecidos para acciones gravitacionales.

Nivel de Diseño 2

Requiere la aplicación de los requisitos adicionales para este Nivel de Diseño, establecidos en las Normas COVENIN-MINDUR.

Nivel de Diseño 3

Requiere la aplicación de todos los requisitos adicionales para el diseño en zonas sísmicas establecidos en las Normas COVENIN-MINDUR.

La norma COVENIN 1756:2001 establece además, los tipos de sistemas estructurales, en función de los componentes del sistema resistentes a sismos. Considerando que una estructura puede clasificar en tipos diferentes, en sus dos direcciones ortogonales de análisis.

Todos los tipos de estructuras, con excepción del Tipo IV, deberán poseer diafragmas con la rigidez y resistencias necesarias para distribuir eficazmente las acciones sísmicas entre los diferentes miembros del sistema resistente a sismos. En las Zonas Sísmicas de la 3 a la 7, ambas incluidas, no se permiten los sistemas de pisos sin vigas, ni pisos donde todas las vigas sean planas del mismo espesor de las losas. A continuación se presenta sus definiciones:

Tipo I: Estructuras capaces de resistir la totalidad de las acciones sísmicas mediante sus vigas y columnas, tales como los sistemas estructurales constituidos por pórticos. Los ejes de columnas deben mantenerse continuos hasta su fundación.

Tipo II: Estructuras constituidas por combinaciones de los Tipos I y III, teniendo ambos el mismo Nivel de Diseño. Su acción conjunta deber ser capaz de resistir la totalidad de las fuerzas sísmicas. Los pórticos por sí solos deberán estar en capacidad de resistir por lo menos el veinticinco por ciento (25%) de esas fuerzas.

Tipo III: Estructuras capaces de resistir la totalidad de las acciones sísmicas mediante pórticos diagonalizados o muros estructurales de concreto armado o de sección mixta acero-concreto, que soportan la totalidad de las cargas permanentes y variables. Los últimos son los sistemas comúnmente llamados de muros. Se considerarán igualmente dentro de este grupo, las combinaciones de los Tipos I y III, cuyos pórticos no sean capaces de resistir por sí solos por lo menos el veinticinco por ciento (25%) de las fuerzas sísmicas totales, respetando en su diseño, el Nivel de Diseño adoptado para toda la estructura. Se distinguen como Tipo IIIa los sistemas conformados por muros de concreto armado acoplados con dinteles o vigas dúctiles, así como los pórticos de acero con diagonales excéntricas acopladas con eslabones dúctiles.

Tipo IV: Estructuras que no posean diafragmas con la rigidez y resistencia necesarias para distribuir eficazmente las fuerzas sísmicas entre los diversos miembros verticales. Estructuras sustentadas por una sola columna. Edificaciones con losas sin vigas.

De acuerdo a lo establecido en esta norma, los efectos de las acciones sísmicas se analizan suponiendo un comportamiento elástico lineal de la estructura, de acuerdo con los principios de la Teoría de Estructuras.

3.3. Nuevas consideraciones para determinar el Factor de Reducción

La norma COVENIN de diseño sismorresistente admite de forma explícita incursión de las estructuras dentro del rango de comportamiento plástico; sin embargo para facilitar el proceso de cálculo, permite la aplicación del análisis elástico, con fuerzas sísmicas reducidas mediante la aplicación de un factor de reducción de respuesta, asociado a tipologías estructurales y a niveles de diseño capaces de garantizar disipación, conocido como factor R. Esta reducción ha sido ampliamente aceptada; sin embargo, su determinación ha estado supeditada, al criterio de expertos, al análisis estadístico o al juicio ingenieril. En esta investigación se estudia la influencia del comportamiento de los modelos no lineales de estructuras de acero regulares de diferentes alturas, y sometidos a distintas zonas de alta sismicidad, sobre los valores del factor de reducción. En comparación con los valores preestablecidos en la norma.

Para ello se aplicaron métodos de cálculos del Factor de Reducción de Respuesta basadas en nuevas propuesta reconocidas en el ámbito de la ingeniería.

3.3.1. Factor de Reducción de Respuesta

El factor de reducción de respuesta divide las ordenadas del espectro de respuesta elástica para obtener el espectro inelástico o el espectro de diseño. En su forma más simple viene expresado por los factores de desempeño a través de la siguiente expresión, ATC-19 (1995):

$$R = R_{\mu} * R_R * R_S \tag{1}$$

Donde:

 $R_{\mu} = Factor de reducción por ductilidad$

 R_R = Factor de reducción por redundancia

 R_S = Factor de reducción por sobre resistencia

3.3.2. Factor de Reducción de Resistencia por Ductilidad R_μ

Hay dos caminos para hallar el factor de reducción R_{μ} , el uno a partir de la relación entre el desplazamiento máximo inelástico Δ_{INE} con respecto al desplazamiento máximo elástico S_d . Aguiar (2006), empleando las siguientes fórmulas en función de la ductilidad:

$$R_{\mu} = \frac{\mu}{C_{\mu}} \tag{2}$$

$$R_{\mu} = \frac{\mu}{C_{\mu}} \tag{2}$$

$$C_{\mu} = \frac{\Delta_{INE}}{S_{d}} \tag{3}$$

La segunda forma de calcular R_u es mediante un análisis lineal elástico de las estructuras o en sistemas de un grado de libertad, en el que se determina el cortante basal V_e y encontrando la Curva de Capacidad Sísmica de la estructura aplicando la técnica del pushover, se obtiene el cortante V_u (Aguiar 2003). Es decir, el factor de reducción por ductilidad R_{μ} resultará de dividir las ordenadas de la respuesta elástica entre la respuesta inelástica para un mismo período estructural, según la Fórmula (4):

$$R_{\mu} = \frac{V_e}{V_{\mu}} \tag{4}$$

Tal vez éste es el factor que más se ha estudiado a nivel mundial. Los primeros trabajos fueron los propuestos por Newmark y Veletsos (1960) en que estos investigadores plantean la regla de igual desplazamientos para los períodos largos con lo que $R=\mu$ siendo μ la ductilidad del sistema.

Además Newmark y Veletsos plantean la regla de igual energía para los períodos intermedios con lo que $R_{\mu} = \sqrt{2\mu - 1}$.

En otro trabajo, Newmark y Hall (1973) definen con mayor precisión los valores de R_{μ} en función de los períodos, los mismos que se obtienen en función de la aceleración, velocidad y desplazamiento máximo del suelo.

El trabajo de Ridell y Newmark (1979) ha sido incorporado en la Normativa Sísmica de Costa Rica (Ulloa y Santana, 2004) y una característica importante es que en su formulación se incorpora el factor de amortiguamiento.

Newmark y Hall (1982) presentaron un trabajo muy similar al propuesto por estos mismos autores en 1973.

En resumen, hay una gran cantidad de trabajos que se han desarrollado sobre este tema y una compilación de los mismos se los puede encontrar en Ulloa y Santana (2004) o en Aguiar (2007).

3.3.3. Factor de Reducción por Redundancia R_{ρ}

La redundancia es la capacidad de respuesta en el rango no lineal que tiene una estructura; mientras más miembros tengan una estructura tendrá mayor redundancia. Hay dos corrientes para determinar el factor de redundancia, la primera en forma determinística y la segunda en forma probabilística (Furata et al., 1985).

En Husain y Tsopelas (2004) se presentan varios trabajos sobre la definición del factor de redundancia y la forma de obtenerlo. Adicionalmente, proponen una forma de calcularlo basado en el índice de resistencia r_s y en el índice de variación de redundancia r_p , los que se obtienen con las siguientes expresiones:

$$r_{\rm S} = \frac{S_u}{S_{NR}} \tag{5}$$

$$r_v = \sqrt{\frac{1 + (n+1)\bar{\rho}}{n}} \tag{6}$$

Donde:

 $S_u = es$ el cortante basal máximo que puede resistir la estructura $S_{NR} = es$ el cortante basal que tendría la estructura en el caso de no tener redundancia

n = es el número de rótulas plásticas para el mecanismo de colapso considerado

ho = es el coeficiente de correlación promedio de las deformaciones

El índice r_v representa los efectos probabilísticos en el factor de redundancia y varía entre 0 y 1. Un valor de r_v = 1 indica que la estructura no tiene redundancia y r_v = 0 corresponde a un sistema con redundancia infinita: aquí se requiere infinito número de rótulas plásticas para que se forme un mecanismo de colapso.

En base a estos dos índices, Tsopelas y Husain (2004) determinaron el factor de redundancia R_{ρ} o R_{R} con la siguiente expresión:

$$R_{\rho} \circ R_{R} = r_{s} \left(\frac{1 + k v_{e} r_{v}}{1 + k v_{e}} \right) \tag{7}$$

Donde v_e es el coeficiente de variación de las fuerzas; k es un factor de forma de la resistencia que varía entre 1.5 y 2.5.

En una forma más específica, el factor de redundancia R_{ρ} depende de qué resistencia adicional tengan los miembros cuando han llegado a la cedencia. En efecto, habrá miembros que han llegado a la cedencia y otros no, pero si los primeros tienen todavía una capacidad de soportar más fuerzas sísmicas o tienen una gran ductilidad, esto obligará a que los miembros que están menos solicitados absorban mayores cargas y deformaciones, de esta forma se disipará la mayor cantidad de energía sísmica.

El factor de redundancia también es función del número de miembros que tenga el pórtico y del número de pórticos que tenga la estructura, ya que a mayor cantidad de miembros se tendrá una mayor cantidad de rótulas plásticas. Pero no es función únicamente del número de rótulas plásticas; sino también, de que tanto permite esa rótula plástica incursionar en el rango no lineal, de tal manera que R_{ρ} se puede calcular en base al número de rótulas plásticas y a la capacidad de los miembros a incursionar en el rango inelástico. Aguiar (2006).

En base al modelo propuesto por Tsopelas y Husain (2004) se trabajó con la siguiente expresión:

$$R_{\rho} \circ R_{R} = r_{S} \left[\frac{1 - 0.12 r_{v}}{0.88} \right]$$
 (8)

Donde:

 r_s = indice de redundancia por resistencia

 $r_v = es \, un \,$ índice de redundancia por formación de rótulas plásticas

El $r_{\rm S}$ es el cociente que se obtiene dividiendo el momento de agotamiento M_{μ} con respecto al momento de cedencia $M_{\rm y}$ en el nodo inicial, centro de luz y nodo final de cada uno de los miembros de la estructura y luego de ello se obtiene el promedio.

$$r_S = \frac{M_{\mu}}{M_{y}}$$
 promedio inicial, medio y final (9)

El segundo índice se obtiene con la siguiente expresión:

$$r_v = \sqrt{\frac{1}{n} \frac{1}{m-1}} \tag{10}$$

Siendo n el número de rótulas plásticas que se forman antes de llegar a un criterio de colapso de un pórtico y m es el número de pórticos en la dirección del análisis sísmico. El número de rótulas plásticas n se puede obtener aplicando la técnica del pushover.

3.3.4. Factor de Resistencia por Sobre Resistencia R_{Ω}

Se define el factor de sobre resistencia R_Ω como la relación entre la capacidad máxima al cortante basal que tiene una estructura V_u con respecto al cortante basal de diseño V_D :

$$R_{\Omega} = \frac{V_u}{V_D} \tag{11}$$

El valor de V_u será mayor que V_D , ya que cuando se diseña se consideran modelos conservadores para el comportamiento del concreto y del acero. En efecto, por ejemplo para flexión las fórmulas de cálculo se deducen en base al bloque rectangular de Whitney (1942) para el comportamiento del concreto, con una resistencia máxima: f_c = 0.85 f_c , siendo f_c , la resistencia máxima a compresión del concreto. Para el acero se diseña con un modelo elasto perfectamente plástico con una tensión máximo f_S = f_y , donde f_y es la cedencia del acero. En realidad, la resistencia del concreto es mayor a 0.85 f_c si se considera el modelo de Park et al. (1982), la resistencia f_c = kf_c , pero el valor de k es mayor a la unidad y depende del confinamiento del refuerzo transversal. Con respecto al acero sucede algo similar, ya que la tensión del acero es mayor a f_y , en la zona de endurecimiento.

Esto y otros factores como los resquerimientos exigidos para tener columna fuerte – viga débil o nudo fuerte – viga débil, conducen a tener sobre resistencia en las estructuras y así como los sistemas constructivos, sobre todo al control de la calidad de la construcción, que también afectan a la sobre resistencia.

En el trabajo de Vielma et al. (2006) se presentan resultados que muestran rangos de variación de R_{Ω} muy grandes: se tienen valores desde 1.23 a 6.5. Por

otra parte, parece ser que los valores tan altos de R_{Ω} , en algunos casos, reflejan el aporte de la losa de piso y de la mampostería y componentes no estructurales que normalmente no se los consideran en el cálculo de R_{Ω} . Otro aspecto para explicar el rango de variación puede ser debido a que ante cargas cíclicas los materiales tienen mayor resistencia que ante cargas estáticas.

3.3.5. Factor de Reducción de Respuesta según FEMA 450, del 2003

La metodología usada para la estimación de R, usada en NEHRP según FEMA 450, del 2003 se explica a continuación (ver Figura N° 1 Determinación del R, según NEHRP (FEMA-450, 2003)):

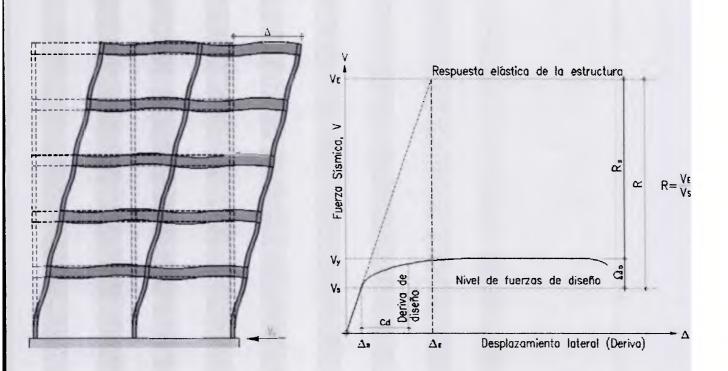


Figura N° 1 Determinación del R, según NEHRP (FEMA-450, 2003) Fuente: FEMA-450, 2003

$$R = \frac{V_E}{V_S} \tag{12}$$

Donde:

 $V_E = Fuerza$ Sismica para la respuesta elástica

 $V_S = Fuerza \, Sismica \, de \, diseño$

3.3.6. Factor de Reducción de Respuesta según Newmark y Hall, 1973

Basado en los comportamientos elástico e idealizado, Newmark y Hall en 1973 presentaron una propuesta de usar la igualdad de desplazamientos como una aproximación para determinar la magnitud de la fuerza sísmica en estructuras con comportamiento inelástico, ver Figura N° 2, basada en analizar la estructura con una fuerza R veces menor que la fuerza sísmica FE teórica, partiendo de que, si la estructura se comportase elásticamente, con la fuerza FE sufriría un desplazamiento igual a Δ_m , mientras que si su comportamiento es plástico idealizado, el mismo desplazamiento se alcanzaría con una fuerza FE/R. Este planteamiento era aplicable solo a estructuras con períodos relativamente largos.

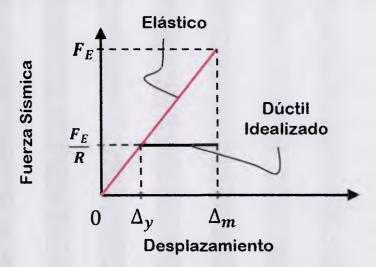


Figura N° 2 Principios de igualdad de desplazamientos para determinación de R en estructuras con periodos largos

Fuente: Newmark y Hall en 1973

En la Figura N° 3¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., la ductilidad definida en función de desplazamientos se define como:

$$\mu = \frac{\Delta_m}{\Delta_v} = R \tag{13}$$

Para períodos cortos sugirieron usar el principio de igualdad de energía que se muestra en la Figura N° 3.

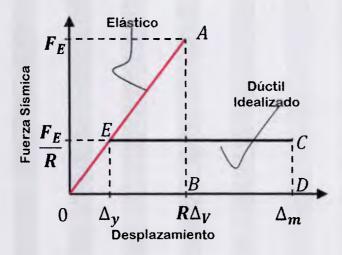


Figura N° 3 Principios de igualdad de energías para determinación de R en estructuras con periodos cortos.

Fuente: Newmark y Hall en 1973

Esta propuesta se basa en la determinación de R a partir de la igualación de las áreas de las figuras OAB y OECD y su aplicabilidad logró influir en las prácticas de diseño mundial en forma trascendental.

Mientras que de la Figura N° 3, igualando las energías, se obtiene:

$$\mu = \frac{\Delta_m}{\Delta_y} = \frac{R^2 + 1}{2} \tag{14}$$

A partir de estas expresiones, Newmark y Hall, 1973, propusieron las conocidas fórmulas:

Períodos largos, T> 0.5 s $R=\mu$ (15)

Períodos cortos, T \leq 0.5 s $R = \sqrt{2\mu - 1}$ (16)

3.3.7. Análisis lineal-elástico

El análisis lineal-elástico considera una correspondencia biunívoca entre cargas aplicadas y desplazamientos producidos; adicionalmente, los ciclos de carga y descarga siguen el mismo patrón de comportamiento, sin producirse

deformaciones permanentes una vez completada la descargada de la estructura. Este tipo de análisis es aplicable a estructuras con pequeños desplazamientos y deformaciones y el equilibrio se alcanza sin tomar en cuenta la configuración deformada de la estructura.

3.3.8. Análisis No lineal-elástico

El análisis elástico global supone que el comportamiento de la estructura es elástico, y consiguientemente el del material. Se funda en la hipótesis de que la deformación del material en carga es lineal, sea cual sea la tensión; así, se supone que la deformación es proporcional a la tensión, o sea, que el material obedece la ley de Hooke con todas las cargas.

Al diseñar el sistema de resistencia sísmico de los edificios de acero para una carga sísmica afectada por el factor de reducción de respuesta, se entiende que cuando el sismo de diseño actúe plenamente en la edificación, en ella se presentarán deformaciones inelásticas y plastificación de algunas secciones; es decir, la estructura deja de comportarse linealmente para presentar un comportamiento no lineal.

Para determinar el comportamiento inelástico de los pórticos de acero (Curva de Capacidad) se requiere realizar un análisis no lineal que tenga en cuenta tanto la no linealidad geométrica (efectos P-Δ) como la no linealidad del material (curva esfuerzo frente a deformación), para así poder predecir el mecanismo de falla del pórtico y determinar su comportamiento bajo la acción del sismo de diseño (desempeño).

En el análisis no-lineal no existe una relación lineal entre cargas y desplazamientos (no linealidad geométrica) y los ciclos de carga y descarga no siguen el mismo patrón, resultando, por lo tanto, deformaciones permanentes una vez descargada la estructura (no linealidad constitutiva). Este análisis es aplicable a estructuras con grandes desplazamientos y deformaciones y el equilibrio se alcanza tomando en cuenta la configuración deformada de la estructura.

Análisis no-lineal toma en cuenta la no linealidad mecánica, esto es, el comportamiento tenso-deformacional no lineal de los materiales y la no linealidad geométrica; es decir, la consideración del equilibrio de la estructura en situación deformada (efectos de segundo orden). El comportamiento no lineal lleva intrínseco la invalidez del principio de superposición. (Este método requiere conocer a priori las secciones de miembros y del acero de refuerzo).

Entre los tipos de análisis no lineal se encuentran:

- Análisis no-lineal con empuje incremental convencional (pushover analysis): en esta metodología de análisis las cargas aplicadas (fuerzas, desplazamientos, o combinación de ambas) se mantienen constante de acuerdo con un patrón predefinido.
- Análisis no-lineal con empuje incremental adaptativo (adaptive pushover analysis): a diferencia del análisis con empuje incremental convencional, en este tipo de análisis las cargas aplicadas no son constantes; sin embargo, son continuamente actualizadas para tomar en cuenta la degradación de rigidez, el alargamiento del período del sistema estructural y el efecto de las formas modales superiores.
- Análisis dinámico incremental (incremental dynamic analysis): método de análisis paramétrico desarrollado para estimar acertadamente la demanda y capacidad sísmica de estructuras. Este enfoque requiere someter una estructura a uno o varios movimientos del terreno.

Las propuestas en el ATC 40 (*Applied Technology Council*,1995) y FEMA 273/356 (Federal Emergency Management Agency, 1996; Federal Emergency Management Agency, 2000), comúnmente conocidas como pushover (plastificación progresiva), consisten en realizar sobre la estructura un análisis seudoestático no lineal, donde se considere el comportamiento de los miembros estructurales una vez que superan su capacidad elástica; estas metodologías son aproximadas y parten de suponer el mecanismo de falla de cada tipo de pórtico; sin embargo, permiten tener una visión del comportamiento general de la estructura en el rango inelástico.

3.4. Términos

En este estudio se usó como referencia básica la Norma Venezolana COVENIN 2004:98, Terminología de las Normas COVENIN – MINDUR de Edificaciones.

Acciones Permanentes: Representa las cargas gravitatorias debidas al peso de todos los componentes estructurales y no estructurales, tales como muros, pisos, techos, tabiques, equipos de servicio unidos a la estructura y cualquiera otra carga de servicio fija.

Fuente: Norma COVENIN 1756-1:2001

Acción Sísmica: Acción accidental debida a la ocurrencia de sismos, la cual incorpora los efectos traslacionales y los rotacionales respecto al eje vertical.

Fuente: Norma COVENIN 1756-1:2001

Acciones Variables: Carga originada por el uso y ocupación del edificio, excluidas las cargas permanentes, de viento o sismo.

Fuente: Norma COVENIN 1756-1:2001

Aceleración de diseño: Valor de la aceleración del terreno para el diseño sismorresistente de obras de ingeniería.

Fuente: Norma COVENIN 1756-1:2001

Acero estructural: Aplicase a todo miembro que se designa así en los documentos del contrato y/o es necesario para la resistencia y la estabilidad de la estructura ("structural steel"). AISC: "American Institute of Steel Construction" (Instituto Americano de la Construcción de Acero).

Fuente: Norma COVENIN C 1755-1982a

Amenaza y/o peligro sísmico: Cuantifica la probabilidad de ocurrencia de eventos sísmicos futuros que pueden afectar en forma adversa la integridad de edificaciones y sus ocupantes.

Fuente: Norma COVENIN 1756-1:2001

Análisis Dinámico: En sistemas elásticos es un análisis de superposición modal para obtener la respuesta estructural a las acciones dinámicas. En sistemas inelásticos es un análisis en el cual se calcula la historia en el tiempo de la respuesta estructural a las acciones dinámicas.

Fuente: Norma COVENIN 1756-1:2001

Análisis estructural: Analizar una estructura significa encontrar los momentos y fuerzas inducidas por las cargas, y determinar cuál es el comportamiento de dicha estructura como respuesta a las solicitaciones.

El análisis estructural consiste en la determinación de los efectos originados por las acciones sobre la totalidad o parte de la estructura, con objeto de efectuar comprobaciones en los Estados Límites Agotamiento Resistente.

Coeficiente Sísmico: Es el Cociente entre la fuerza cortante horizontal de diseño que actúa en el nivel de base y el peso total por encima del mismo.

Fuente: Norma COVENIN 1756-1:2001

Cortante Basal: la fuerza total sísmica en la base de la estructura se conoce como cortante basal. Es una Fuerza de Reacción que se presenta en todos los marcos que compongan una estructura y se localiza en su base, esto es donde la columna se une con el pedestal de la fundación y sirve para diseñar el anclaje de las columnas a las fundaciones en una estructura.

Fuente: Norma COVENIN 1756-1:2001

Deriva: es la diferencia de los desplazamientos laterales totales entre dos niveles o pisos consecutivos.

Fuente: Norma COVENIN 1756-1:2001

Análisis no-lineal con empuje incremental (pushover analisys): este análisis consiste en aplicar sobre la estructura, un conjunto de fuerzas laterales incrementándolas monotónicamente a manera de obtener una curva de comportamiento no lineal cortante basal-desplazamiento de la estructura. En una primera etapa se aplica dicho conjunto de fuerzas incrementado su magnitud hasta que fluye un miembro de la estructura, se registran el cortante basal "Vb" y el desplazamiento lateral de un punto de referencia "Da" sobre la estructura en el momento en que ocurrió la fluencia de ese miembro. El punto de referencia, Da

se elige como el punto en donde se presentará el desplazamiento lateral máximo sobre la estructura, que para el caso de marcos planos que forman parte de edificios normalmente se presentará en el piso superior. Estos valores se grafican en un sistema coordenado en el cual, sobre su eje de abscisas se grafica el desplazamiento lateral del punto de referencia y sobre el eje de las ordenadas el cortante basal actuante en el momento en que cedió el primer miembro de la estructura. Finalmente se traza una línea recta, desde el origen del sistema coordenada hasta el punto definido por las coordenadas de los valores mencionados.

Coeficiente sísmico: Coeficiente que se emplea para ajustar el cálculo de la sobrecarga sísmica horizontal en la base del edificio, a la relación entre el período de vibración de la estructura y el del terreno en el que se asienta.

Fuente: Norma COVENIN 1756-1:2001

Curvas de capacidad: Las curvas de capacidad representan la relación entre la fuerza cortante (V) en la base de un edificio y el desplazamiento (μ) en el nivel de techo del mismo; estas curvas constituyen la base a partir de la cual se construyen las curvas de fragilidad.

Fuente: Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela Versión ISSN 0798-4065. Rev. Fac. Ing. UCV vol.28 no.2 Caracas jun. 2013.

Las curvas de capacidad permiten ubicar el punto de desempeño, que es el punto de intersección de la curva de capacidad espectral y el espectro de demandas para evaluar la integridad estructural de la edificación.

Fuente: Tesis UCO "Lisandro Alvarado" Determinación Mediante Curvas de Fragilidad... Farías P. K y Sánchez A. A, Barquisimeto, Abril 2014

Demanda de ductilidad: Cociente entre el máximo valor del desplazamiento alcanzado por un sistema durante su respuesta sísmica y el desplazamiento cedente.

Diseño sismorresistente: Es el diseño utilizado para lograr un mejor desempeño de las edificaciones ante la presencia de sismos. Su objetivo principal del diseño sismorresistente es salvar vidas y adicionalmente, minimizar los daños materiales.

Fuente: Norma COVENIN 1756-1:2001

Ductilidad: Capacidad que poseen los componentes de un sistema estructural de hacer incursiones alternantes en el dominio inelástico, sin pérdida apreciable en su capacidad resistente.

Propiedad de la materia que permite su deformación sin que la misma se rompa o astille. En estructuras, la ductilidad se utiliza como mecanismo de disipación de energía, para evitar el colapso de la edificación cuando se ha excedido su capacidad estimada de carga lateral o vertical.

En un sismo, las cargas laterales reales pueden exceder los valores estimados en el cálculo, proporcionando de esta manera, la ductilidad de los miembros estructurales, el mecanismo último de disipación de energía.

Espectros de diseño elástico: Es el espectro que incorpora el factor de reducción de respuesta correspondiente al sistema resistente al sismo adoptado.

Fuente: Norma COVENIN 1756-1:2001

Espectros de diseño inelástico: Es el espectro de diseño obtenido dividiendo el espectro de diseño elástico entre el factor de reducción de fuerzas sísmicas.

Fuente: Norma COVENIN 1756-1:2001

Espectro de respuesta: Es un concepto práctico que caracteriza los movimientos sísmicos y el efecto sobre las estructuras. El Espectro de Respuesta se encuentra sumando los máximos en valor absoluto, de la respuesta dinámica para todos los sistemas estructurales posibles de un grado de libertad con el mismo amortiguamiento, para una componente particular de un sismo. El espectro de Respuesta es función del período de vibración T del sistema, y del amortiguamiento.

Representa la respuesta máxima de osciladores de un grado de libertad y de un mismo coeficiente de amortiguamiento, sometidos a una historia de aceleraciones dada, expresada en función del período.

Factor de importancia: Se establece en la Norma con la finalidad de reducir la probabilidad de excedencia para edificaciones importantes (véase COVENIN C-6.1.3). La intención de la aplicación de un factor de importancia mayor que la unidad, es la de obtener valores de la aceleración del terreno asociados a una menor probabilidad de excedencia para la misma vida útil.

Fuente: Norma COVENIN 1756-1:2001

Factor de Reducción de Respuesta. Factor que divide las ordenadas del espectro de respuesta elástica para obtener el espectro de diseño.

Fuente: Norma COVENIN 1756-1:2001

Factores de Reserva de Resistencia o Sobrerresistencia: Bertero (1986) y Whittaker, Hart y Rojahn (1999) aceptan que la reserva de resistencia es uno de los componentes del factor de reducción de respuesta R, empleado en la determinación de los espectros inelásticos de proyecto a partir de los espectros elásticos.

Tradicionalmente se ha definido a la reserva de resistencia de una sección, como la razón que existe entre la resistencia real y la resistencia ideal para la cual se proyecta dicha sección.

Al revisar las normas de proyecto sismorresistente, se observa que la reserva de resistencia no aparece de forma explícita, solo el UBC-97 y el IBC-2006 contienen valores de reserva de resistencia que dependen de la tipología y de los materiales constituyentes de la estructura (Vielma, Barbat y Oller, 2007).

Las estructuras ven afectada su sobrerresistencia por varias fuentes: elección de las secciones estructurales que deben sujetarse a las existencias comerciales, tipificación de secciones de un cierto número de pisos por razones constructivas, relación entre la resistencia nominal y factorizada, esfuerzo de cedencia real, endurecimiento por deformación y formación del mecanismo de colapso (Mitchell et. al. 2003). Adicionalmente, la sobrerresistencia de los materiales, del sobredimensionamiento de los miembros, de combinaciones de cargas distintas al sismo, de límites de distorsión de piso, etc., influyen en este valor.

Estos y otros factores como los requerimientos exigidos para tener columna fuerte – viga débil o nudo fuerte – viga débil, conducen a tener sobre resistencia en las estructuras y por qué no mencionar a los sistemas constructivos, sobre todo al Control de la Calidad de la construcción, que también afecta a la sobre resistencia.

Factor de Redundancia Estructural: es el parámetro que permite calificar la redistribución de esfuerzos en la estructura cuando esta incursiona en el rango no lineal. Guendelman (2000). Depende de qué resistencia adicional tengan los

miembros cuando han llegado a la cedencia. En efecto, habrá miembros que han llegado a la cedencia y otros no; pero si los primeros tienen todavía una capacidad de soportar más fuerzas sísmicas o tienen una gran ductilidad, esto obligará a que los miembros que están menos solicitados absorban mayores cargas y deformaciones, de esta forma se disipará la mayor cantidad de energía sísmica.

El factor de redundancia también es función del número de miembros que tenga el pórtico y del número de pórticos que tenga la estructura, ya que a mayor cantidad de miembros se tendrá una mayor cantidad de rótulas plásticas. Pero no es función únicamente del número de rótulas plásticas el factor de redundancia sino también de que tanto permite esa rótula plástica incursionar en el rango no lineal, de tal manera que RR se puede calcular en base al número de rótulas plásticas y a la capacidad de incursionar en el rango inelástico de los miembros. Aguiar (2006).

Nivel de diseño: Conjunto de requisitos normativos asociadas a un determinado factor de reducción de respuesta, que se aplica en el diseño de miembros del sistema resistente a sismos, tipificados en esta Norma.

Fuente: Norma COVENIN 1756-1:2001

Plasticidad distribuida: El modelo de plasticidad distribuida se utiliza para tratar de representar de manera más detallada lo que ocurre en la realidad, donde las deformaciones no ocurren dentro de una rótula plástica sino que a lo largo de todo el elemento. Sin embargo la definición de material y la condición de empotramiento perfecto condicionan que los resultados no sean exactamente los esperados. Aun así, el modelo resulta de utilidad y sugiere posibles mejoras en el modelo de plasticidad concentrada, como modificar la longitud de rótula plástica haciéndola dependiente del largo de la barra.

Respuesta sísmica: La respuesta sísmica de las estructuras está representada por las deformaciones y fuerzas que aparecen en ella al verse sujeta a la acción de un sismo.

Fuente: Norma COVENIN 1756-1:2001

Rigidez: La rigidez es la capacidad de resistencia de un cuerpo a cambiar por la acción de fuerzas exteriores sobre el mismo. En estructuras el concepto de rigidez es relativo a la capacidad de deformación de un miembro estructural ante la acción de fuerzas externas.

En el sistema masa-resorte, la rigidez corresponde al miembro elástico, que reduce las desviaciones laterales a diferencia del amortiguador, que disipa la energía, para que el sistema vuelva al reposo. La rigidez determina las deflexiones que presenta un miembro ante cargas externas y es por eso, que la mayoría de los métodos de análisis estructural utilizan matrices de rigideces para cuantificar fuerzas internas de una estructura.

Toda deformación de un miembro es proporcional a su rigidez. Este postulado es especialmente importante en los desplazamientos laterales producidos por sismo, ya que un sistema de marcos generalmente se encuentra sujeto por una losa, lo cual ocasiona que la distribución de fuerzas sea proporcional a la rigidez de cada tramo.

Sismo: Según López (2006), un sismo es un movimiento súbito e impredecible de una parte de la corteza terrestre, ocasionado por fuerzas que tienen su origen en el interior de la Tierra.

Pueden ser de origen tectónico, producidos por el desplazamiento de bloques de la litosfera, o volcánico, producido por la extrusión de magma hacia la superficie. En ambos casos hay una liberación de energía acumulada que se transmite en forma de ondas elásticas, causando vibraciones y oscilaciones a su paso a través de las rocas sólidas del manto y la litosfera hasta arribar a la superficie terrestre.

Los terremotos pueden ser superficiales, intermedios o profundos, dependiendo de su localización. En relación a este punto hay diferentes criterios, sin embargo citaremos a Bruce Bolt, quien localiza los sismos superficiales en la franja que va desde 0-70 km, los intermedios entre 70-300 km, y los profundos entre 300-700 km.

Vida útil: Tiempo o duración en la cual se supone que una edificación se va a utilizar para el propósito que fue diseñada. En esta Norma se supone una vida útil de 50 años.

Fuente: Norma COVENIN 1756-1:2001

Zona sísmica: Zona geográfica en la cual se admite que la máxima intensidad esperada de las acciones sísmicas, en un período de tiempo prefijado, es similar en todos sus puntos. Ver Figura N° 4.

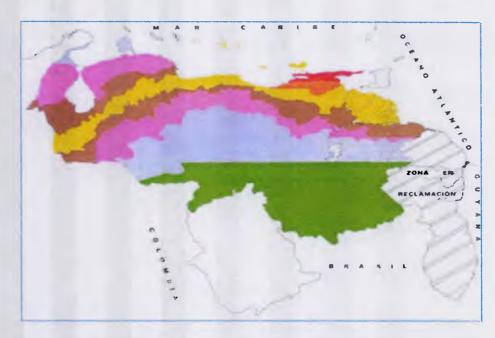


Figura N° 4 Zonificación Sísmica de Venezuela

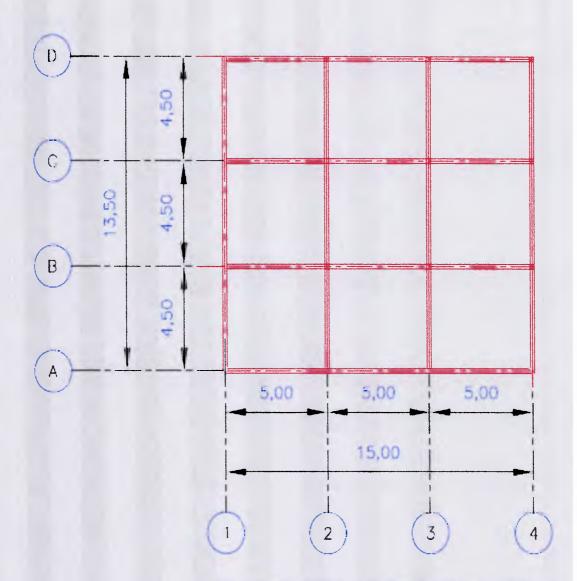
Fuente: COVENIN-MINDUR 1756-1-2001 Edificaciones Sismorresistentes

3.5. Casos de Estudio

En ese contexto teórico se orientó la investigación para determinar los factores de Reducción, de tres (03) estructuras diseñadas en acero estructural ante un evento sísmico característico de la zona de Cumaná, Estado Sucre. De acuerdo a ello, se hizo necesario comparar el Espectro de Diseño de acuerdo a las normas FEMA, aplicado en el software STAAD PRO, con el Espectro de Diseño de la Norma COVENIN para la Zona Sísmica en estudio.

Las edificaciones evaluadas son de uso residencial y están constituida por cuatro (04), siete (07) y diez (10) niveles cada una, con una altura entre pisos de 3.00 m. Su geometría en planta es regular, la longitud de los edificios en planta en la dirección X es de 15.00 m y en la dirección y de 13.50 m.

En el presente trabajo, los edificios se han proyectado utilizando los espectros de diseño de las zonas 5, 6 y 7, los cuales corresponden a los máximos valores de aceleración.



PLANTA DE LAS EDIFICACIONES

Figura N° 5 Edificaciones Caso de Estudio – Planta Fuente: Elaboración propia

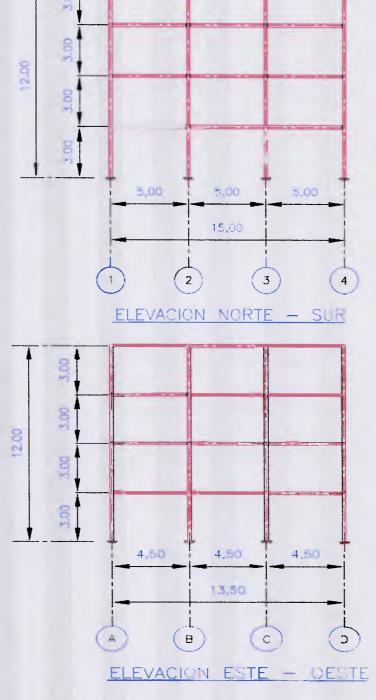


Figura N° 6 Edificaciones Caso de Estudio CE01-TPI-03P-ND3 --Elevaciones

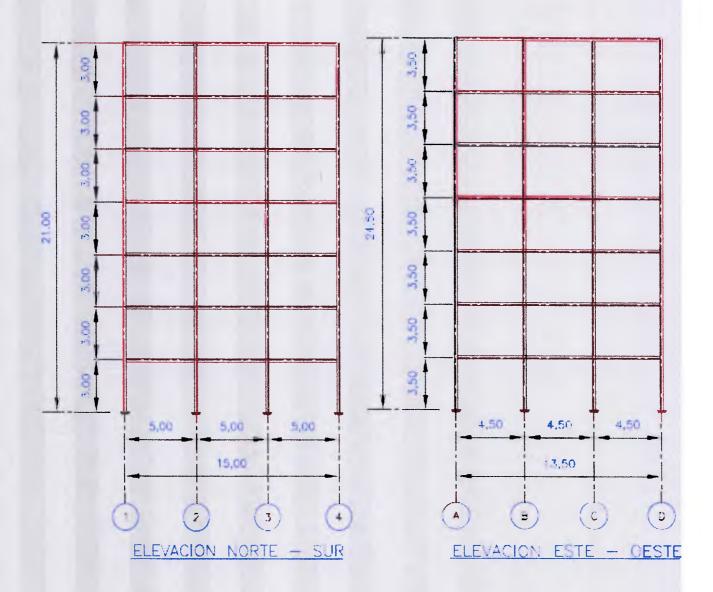


Figura N° 7 Edificaciones—Elevaciones Caso de Estudio CE02-TPI-06P-ND3 Fuente: Elaboración propia

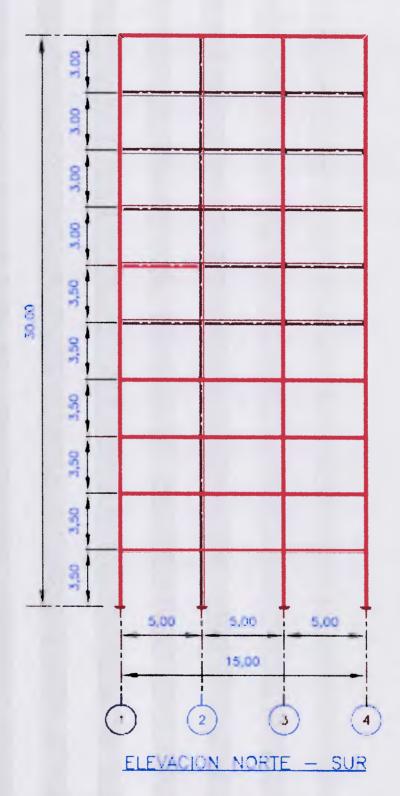


Figura N° 8 Edificaciones Caso de Estudio CE03-TPI-09P-ND3 –Elevación Este-Oeste

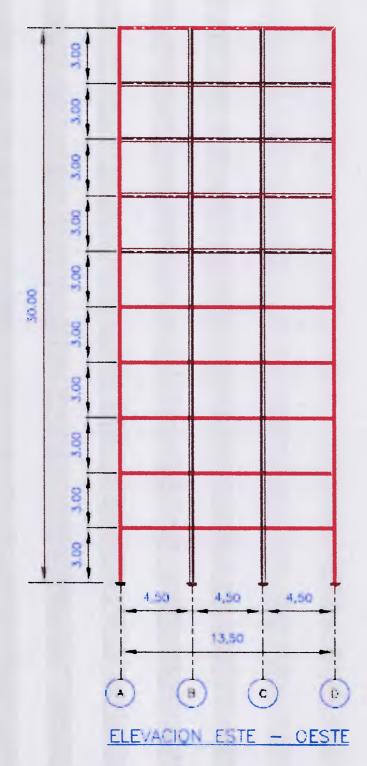


Figura N° 9 Edificaciones Caso de Estudio E03-TPI-09P-ND3 –Elevaciones Norte-Sur

3.6. Bases Legales

El presente estudio fundamenta su investigación en los aspectos aplicables de las siguientes Normas Venezolanas:

- COVENIN 2002:88 Criterios y acciones mínimas para el proyecto de edificaciones.
- COVENIN 1756:2001 Edificaciones sismorresistentes.
- COVENIN 1618:98 Estructuras de Acero para edificaciones. Método de los Estados Límites.

3.7. Datos Para la Generación del Espectro

Los datos involucrados en la creación del espectro son de tipo: geográficos, geológicos y de las edificaciones; y se encuentran definidos en la Norma COVENIN 1756-2001. Para las edificaciones estudiadas, los datos utilizados fueron los siguientes:

-	Zona Sísmica:	5, 6, 7
-	Riesgo Sísmico:	Elevado
-	Coeficiente de Aceleración Horizontal (Ao):	0.30, 0.35 y 0.40
-	Coeficiente de Aceleración Vertical (AoY):	0.21, 0.245 y 0.28
-	Tipo de Suelo (Forma Espectral):	S2
-	Factor de Corrección del coeficiente de aceleración horizontal. (ϕ):	0.90
	Clasificación Según Uso:	B2
-	Factor de Importancia (α):	1
-	Tipo de Estructura:	1
_	Clasificación Según la Regularidad de la Estructura:	Regular
-	Nivel de Diseño:	ND3
-	Factor de Reducción de Respuesta (R):	6.00

Altura del Edificio 01: 12.00 m
Altura del Edificio 02: 21.00 m
Altura del Edificio 03: 30.00 m

Material de la Estructura:
 Acero Estructural

 Método de Análisis:
 Análisis No Lineal con Empuje Incremental

Numero de Modos de Vibración:
 Variado según la altura

- Combinación Modal: CQC

Criterio de Combinación:
 Cuadrática Completa

Combinación a Respuestas Modales a Sismo en
 Dirección X:

9,81X + 6,87Z

Combinación a Respuestas Modales a Sismo en
 Dirección Y:

9,81Y + 6,87Z

Método de Análisis P-Delta:
 Interactivo Basado en los Casos de Carga

Combinación de Carga para el Efecto P-Delta: 1,20CM +0,50CV

3.8. Coeficiente Sísmico para las Edificaciones

El coeficiente sísmico definido como $\frac{V}{W}$ no será menor que $\frac{aAo}{R}$, donde:

 α = Factor de importancia (COVENIN Tabla 6.1).

Ao = Coeficiente de la aceleración horizontal para cada zona (Tabla 4.1)

R = Factor de reducción (COVENIN Tabla 6.4).

- Vo = Fuerza cortante a nivel de base, obtenida utilizando los procedimientos de análisis del Capítulo 9, incluidas las combinaciones establecidas en el Artículo 8.6.
- W = Peso total de la edificación por encima del nivel de base. Para la determinación del peso total W, a las acciones permanentes deberán sumarse los porcentajes de las acciones variables establecidas en la Norma COVENIN 2002.

- T* = Máximo período en el intervalo donde los espectros normalizados tienen un valor constante (COVENIN Tabla 7.1): de acuerdo a cada caso.
- β= Factor de magnificación promedio (COVENIN Tabla 7.1): de acuerdo a cada caso.
- p = Exponente que define la rama descendente del espectro: de acuerdo a cada caso.
- T⁺ =Período característico variación de respuesta dúctil (s) (COVENIN Tabla 7.2): de acuerdo a cada caso.

3.9. Consideraciones del Análisis

Para el análisis de los modelos matemáticos, las consideraciones iniciales que se realizaron con respecto a las secciones de los miembros y al espectro de diseño, se mantuvieron invariables para los tres modelos de estudio, con la finalidad de unificar el criterio de evaluación.

Cargas sobre Losas de Piso y Techo

Las cargas sobre losas de piso y techo son gravitacionales y derivan del uso que se le otorgue al nivel o parte del mismo. Ver Tabla 3.

Tabla 3 Cargas Sobre Losas de Piso y Techo

Table o Galgae Gebie Ed	,	
Carga	Caso de Carga	Magnitud (kgf/m²)
Carga Variable en Áreas Públicas y Vías de Escape	CV	300
Carga Variable en Habitaciones y Pasillos Internos	CV	175
Carga Variable en Techos y Azoteas	CV	100
Carga Permanente en Pisos	СР	300
Carga Permanente en Techos	СР	338

Cargas Sobre Vigas

Las vigas generalmente reciben las cargas de las losas, sin embargo, en muchos casos hay miembros estructurales y no estructurales que cargan directamente a las vigas. Ver Tabla 4.

Tabla 4 Cargas Distribuida Sobre Vigas

Cargas Distribuidas o Parcialmente Distribuidas	Caso de Carga	Magnitud (kgf/m²)
Carga Permanente en Vigas que Soportan paredes exteriores de bloques de arcilla de 20cm con friso en ambas caras H=3,00 m.	СР	840
Carga Permanente en Vigas que Soportan paredes interiores de bloques de arcilla de 10cm con friso en ambas caras H=3,00 m.	СР	540
Carga Permanente en Vigas que Soportan Paredes de H=1,00 m	СР	280

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5 Cargas Puntuales Sobre Vigas

Cargas Puntuales	Caso de Carga	Magnitud (kgf/m²)
Carga Horizontal en Rieles Ascensor	CVT	1,000
Carga Vertical en Apoyo para Mantenimiento de Maquinaria de Ascensores	CVT	2,000

Fuente: Elaboración propia

3.10. Procedimiento utilizado para Determinar El Factor de Reducción R

 Seleccionar los Parámetros Sísmicos: Se extrajo de las disposiciones contenidas en la norma COVENIN 1756:2001, los valores asignados y tabulados para los Factores de Desempeño, relacionados con las diferentes tipologías estructurales y para diferentes niveles de diseño sísmico. Solo se obtuvo valores para R.

- Prediseñar la Estructura: Para lo cual se siguieron los procedimientos estándares de la norma COVENIN 1756:2001 Edificaciones Sismorresistentes; y se obtuvieron los perfiles estructurales acordes con las solicitaciones de carga y demás parámetros de diseño.
- 3. Realizar el análisis no-lineal de las estructuras: Los casos en estudio se sometieron a la acción de una carga monotónica creciente o empuje incremental ("pushover analysis"). Esta herramienta es clave para determinar la reserva de resistencia de las estructura. Para este estudio se utilizó el programa para análisis no-lineal, STAAD PRO v8i.
- 4. **Obtención de parámetros**: para los pórticos de las estructuras caso de estudio, partiendo de la curva Carga .Vs. Desplazamiento (Curva de Capacidad) de la cual se debe obtener la Ductilidad Real (μ), las rigideces K_0 , K_f y K_{ff} y posteriormente computar el Factor de Modificación de Respuesta Total. Finalmente calcular R_μ , R_Ω R_ρ y R_σ

Se calculó el Factor de Reducción de Respuesta (R) utilizando los valores obtenidos del análisis no lineal, valores de nuevamente R_{μ} , R_{Ω} y R_{ρ} y basándose en la ductilidad traslacional deseable, la sobreresistencia mínima y la cantidad de líneas verticales de apoyo (ejes de soporte).

Para ello se utilizaron las siguientes fórmulas ya estudiadas:

Factor de Reducción de Respuesta

$$R=R_{\mu}*R_{R}*R_{S}$$
 o también (1)
$$R=R_{\mu}*R_{\rho}*R_{\Omega}$$

Factor de Reducción de Respuesta por Ductilidad

Períodos largos, T> 0.5 s
$$R = \mu$$
 (2)

Períodos largos, T
$$\leq$$
 0.5 s $R = \sqrt{2\mu - 1}$ (3)

Factor de Reducción de Respuesta por Ductilidad

$$R_{\mu} = \frac{V_e}{V_{\mu}} \tag{4}$$

Factor de Reducción de Respuesta por Sobre Resistencia

$$R_{\Omega} = \frac{V_u}{V_D} \tag{11}$$

Factor de Reducción de Respuesta por Redundancia

$$R_{\rho} = r_{\rm s} \left(\frac{1 + k \nu_e r_{\nu}}{1 + k \nu_e} \right) \tag{7}$$

$$R_R = r_S \left[\frac{1 - 0.12 r_v}{0.88} \right] \tag{8}$$

$$r_S = \frac{M_{\mu}}{M_{\mathcal{Y}}}$$
 promedio inicial, medio y final (9)

$$r_v = \sqrt{\frac{1}{n} \frac{1}{m-1}} \tag{10}$$

 Realizar el análisis comparativo: se compararon los valores obtenidos de R en forma computarizada con los valores establecidos en la Norma.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Diseño de la Estructura:

Se muestran a continuación las secciones de los miembros principales de cada caso en estudio:

Tabla 6 Caso de Estudio CE01-TPI-03P-ND3-Z5 - Selección de Perfiles de Acero

		Area	D	Bf	Tf	Tw	lyy	lzz	ţ
ID	Sección	(cm²)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)
1	HEA140	31.40	13.30	14.00	0.85	0.55	1,033.00	389.00	6.42
2	HEA140	31.40	13.30	14.00	0.85	0.55	1,033.00	389.00	6.42
3	IPE120	13.20	12.00	6.40	0.63	0.44	318.00	28.00	1.39
4	HEB200	78.10	20.00	20.00	1.50	0.90	5,696.00	2,003.00	49.50
5	HEA180	45.30	17.10	18.00	0.95	0.60	2,510.00	925.00	11.45

Tabla 7 Caso de Estudio CE01-TPI-03P-ND3-Z6 - Selección de Perfiles de Acero

		Area	D	Bf	Tf	Tw	lyy	Izz	j
ID	Sección	(cm²)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)
1	IPE160	20.10	16.00	8.20	0.74	0.50	869.00	68.00	2.85
2	HEA160	38.80	15.20	16.00	0.90	0.60	1,673.00	616.00	8.81
3	IPE120	13.20	12.00	6.40	0.63	0.44	318.00	28.00	1.39
4	HEB200	78.10	20.00	20.00	1.50	0.90	5,696.00	2,003.00	49. 50
5	HEA180	45.30	17.10	18.00	0.95	0.60	2,510.00	925.00	11.45

Tabla 8 Caso de Estudio CE01-TPI-03P-ND3-Z7 - Selección de Perfiles de Acero

		Area	D	Bf	Tf	Tw	Іуу	lzz	J
ID	Sección	(cm²)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ⁴)	(cm⁴)	(cm⁴)
1	IPE160	20.10	16.00	8,20	0.74	0.50	869.00	68.00	2.85
2	HEA180	45.30	17.10	18.00	0.95	0.60	2,510.00	925.00	11.45
3	IPE140	16.40	14.00	7.30	0.69	0.47	541.00	45.00	2.06
4	HEB220	91.00	22.00	22.00	1.60	0.95	8,091.00	2,843.00	65.91
5	HEA200	53.80	19.00	20.00	1.00	0.65	3,692.00	1,336.00	14.98

Tabla 9 Caso de Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z5 - Selección de Perfiles de Acero

		Area	D	Bf	Tf	Tw	lyy	Izz	j
ID	Sección	(cm²)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)
1	HEA140	31.40	13.30	14.00	0.85	0.55	1,033.00	389.00	6.42
2	HEA140	31.40	13.30	14.00	0.85	0.55	1,033.00	389.00	6.42
3	HEA160	38.80	15.20	16.00	0.90	0.60	1,673.00	616.00	8.81
4	HEB200	78.10	20.00	20.00	1.50	0.90	5,696.00	2,003.00	49.50
5	IPE120	13.20	12.00	6.40	0.63	0.44	318.00	28.00	1.39
6	HEB240	106.00	24.00	24.00	1.70	1.00	11,259.00	3,923.00	86.04
7	HEA180	45.30	17.10	18.00	0.95	0.60	2,510.00	925.00	11.45

Tabla 10 Caso de Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z6 - Selección de Perfiles de Acero

		Area	D	Bf	Tf	Tw	lyy	Izz	J
ID	Sección	(cm²)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm⁴)	(cm⁴)	(cm ⁴)
1	IPE160	20.10	16.00	8.20	0.74	0.50	869.00	68.00	2.85
2	IPE160	20.10	16.00	8.20	0.74	0.50	869.00	68.00	2.85
3	HEA200	53.80	19.00	20.00	1.00	0.65	3,692.00	1,336.00	14.98
4	HEB200	78.10	20.00	20.00	1.50	0.90	5,696.00	2,003.00	49.50
5	IPE120	13.20	12.00	6.40	0.63	0.44	318.00	28.00	1.39
6	HEB280	131.40	28.00	28.00	1.80	1.05	19,270.00	6,595.00	118.97
7	HEA200	53.80	19.00	20.00	1.00	0.65	3,692.00	1,336.00	14.98

Tabla 11 Caso de Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z7 - Selección de Perfiles de Acero

		Area	D	Bf	Tf	Tw	lyy	Izz	J
ID	Sección	(cm²)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)
1	IPE160	20.10	16.00	8.20	0.74	0.50	869.00	68.00	2.85
2	IPE160	20.10	16.00	8.20	0.74	0.50	869.00	68.00	2.85
3	HEA 200	53.80	19.00	20.00	1.00	0.65	3,692.00	1,336.00	14.98
4	HEB300	149.10	30.00	30.00	1.90	1.10	25,166.00	8,563.00	149.65
5	HEB220	91.00	22.00	22.00	1.60	0.95	8,091.00	2,843.00	65.91
6	IPE140	16.40	14.00	7.30	0.69	0.47	541.00	45.00	2.06
7	HEB300	149.10	30.00	30.00	1.90	1.10	25,166.00	8,563.00	149.65
8	HEA200	53.80	19.00	20.00	1.00	0.65	3,692.00	1,336.00	14.98

Tabla 12 Caso de Estudio CE03-TPI-09P-ND3-Z5 - Selección de Perfiles de Acero

		Area	D	Bf	Tf	Tw	lyy	Izz	J
ID	Sección	(cm²)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)
1	HEA140	31.40	13.30	14.00	0.85	0.55	1,033.00	389.00	6.42
2	HEA140	31.40	13.30	14.00	0.85	0.55	1,033.00	389.00	6.42
3	HEA160	38.80	15.20	16.00	0.90	0.60	1,673.00	616.00	8.81
4	HEB200	78.10	20.00	20.00	1.50	0.90	5,696.00	2,003.00	49.50
5	IPE120	13.20	12.00	6.40	0.63	0.44	318.00	28.00	1.39
6	HEB240	106.00	24.00	24.00	1.70	1.00	11,259.00	3,923.00	86.04
7	HEA180	45.30	17.10	18.00	0.95	0.60	2,510.00	925.00	11.45
8	HEB160	54.30	16.00	16.00	1.30	0.80	2,492.00	889.00	25.94

Tabla 13 Caso de Estudio CE03-TPI-09P-ND3-Z6 - Selección de Perfiles de Acero

		Area	D	Bf	Tf	Tw	lyy	lzz	J
ID	Sección	(cm²)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)
1	IPE160	20.10	16.00	8.20	0.74	0.50	869.0	68.00	2.85
2	IPE160	20.10	16.00	8.20	0.74	0.50	869.00	68.00	2.85
3	HEA200	53.80	19.00	20.00	1.00	0.65	3,692.00	1,336.00	14.98
4	HEB200	78.10	20.00	20.00	1.50	0.90	5,696.00	2,003.00	49.50
5	IPE120	13.20	12.00	6.40	0.63	0.44	318.00	28.00	1.39
6	HEB280	131.40	28.00	28.00	1.80	1.05	19,270.00	6,595.00	118.97
7	HEA200	53.80	19.00	20.00	1.00	0.65	3,692.00	1,336.00	14.98
8	HEB220	91.00	22.00	22.00	1.60	0.95	8,091.00	2,843.00	65.91

Tabla 14 Caso de Estudio CE03-TPI-09P-ND3-Z7 - Selección de Perfiles de Acero

		Area	D	Bf	Tf	Tw	Іуу	Izz	J
ID	Sección	(cm²)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ⁴)	(cm ⁴)	(cm ⁴)
1	IPE160	20.10	16.00	8.20	0.74	0.50	869.00	68.00	2.85
2	IPE160	20.10	16.00	8.20	0.74	0.50	869.00	68.00	2.85
3	HEA200	53.80	19.00	20.00	1.00	0.65	3,692.00	1,336.00	14.98
4	HEB220	91.00	22.00	22.00	1.60	0.95	8,091.00	2,843.00	65.91
5	IPE140	16.40	14.00	7.30	0.69	0.47	541.00	45.00	2.06
6	HEB300	149.10	30.00	30.00	1.90	1.10	25,166.00	8,563.00	149.65
7	HEA200	53.80	19.00	20.00	1.00	0.65	3,692.00	1,336.00	14.98
8	HEB240	106.00	24.00	24.00	1.70	1.00	11,259.00	3,923.00	86.04

Fuente: Elaboración propia- con asistencia del STAAD PRO

4.2. Aplicación del análisis no-lineal de las estructuras

Este estudio se basó en la obtención de los valores de los Factores de Reducción de Repuesta a través de los Factores de Desempeño de las estructuras calculados a partir de la aplicación del Análisis No Lineal Incremental – Pushover.

En la Tabla 42 se presentan resultados de los valores de R, obtenidos, para cada uno de los edificios considerados. Adicionalmente, se muestra el valor de R, dado por la Norma COVENIN 1756-2001 Edificaciones Sismorresistente. Los valores de R están asociados a cada Caso de Estudio por altura de edificio, zona sísmica, tipo de estructura y nivel diseño considerado.

Los software o programas usados como apoyo para el diseño, la obtención de las curvas de capacidad y la determinación de la rotulas plásticas y otros parámetros requeridos fueron el SAP versión 17, el ETABS versión 9 y el STAAP PRO versión v8i.

4.3. Obtención del Factor de Reducción de Respuesta - Método de Cálculo

Tanto del Diseño Estructural de los Edificios como del análisis no-lineal de las estructuras – Pushover, se extrajeron los datos para determinar los Factores de Ductilidad, Redundancia y Sobre Resistencia.

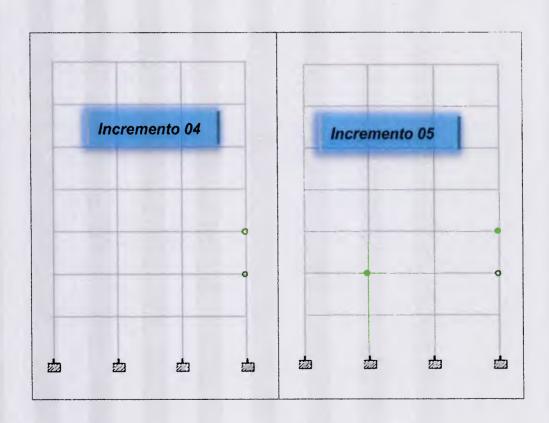
Para explicar el proceso del análisis, se utilizará el caso de estudio CE02-TPI-06P-ND3, conformado por una estructura regular aporticada de 7 niveles, diseñada bajo los criterios de la Norma COVENIN en tres diferentes escenarios de zona sísmica: 5, 6 y 7, identificadas como CE02-TPI-06P-ND3-Z5, CE02-TPI-06P-ND3-Z6 y CE02-TPI-06P-ND3-Z7. Es importante aclarar que, para minimizar los factores afectados por los espectros de diseño propios de cada software utilizado, se incorporaron los espectros locales donde el programa lo permitía, y en aquellos donde no, se utilizaron los parámetros más aproximados a nuestras condiciones, a fin de obtener resultados más realistas.

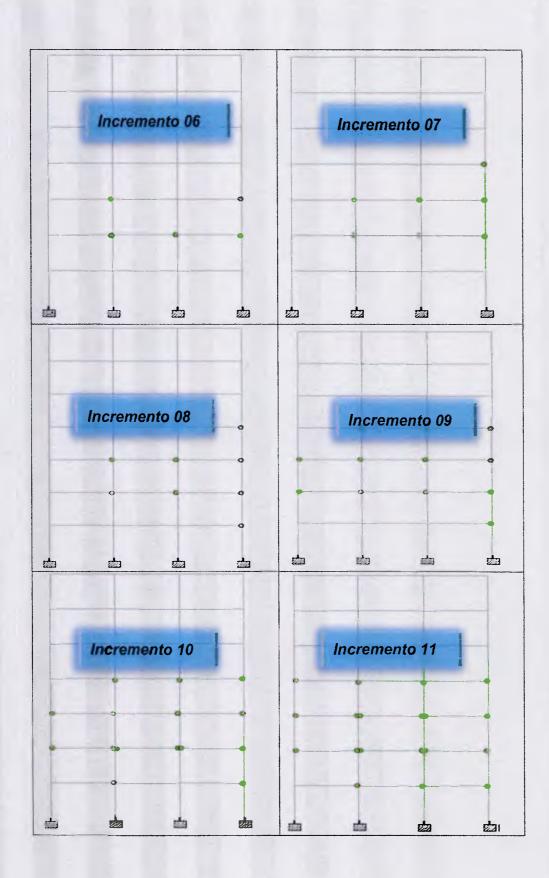
En primer lugar se trabajó con la edificación regular de 7 niveles diseñada para zona sísmica 6 (Caso de Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z6). Una vez dimensionada la estructura, fue sometida al Análisis No Lineal Incremental (Pushover). En la Figura N° 10 están graficadas las rotulas plásticas formadas con cada incremento de fuerza horizontal en el pórtico 2 de la edificación.

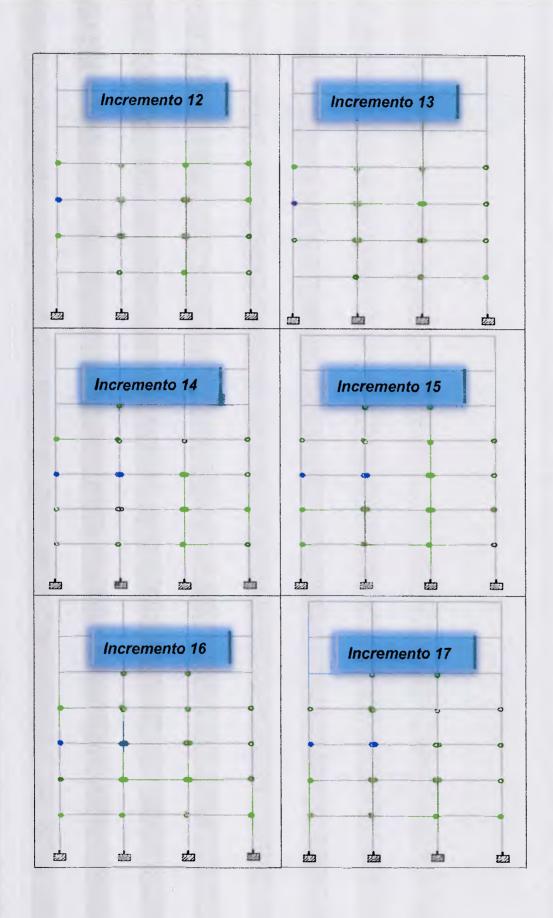
Las Rótulas plásticas están representadas gráficamente sobre la estructura, para cada incremento de carga, utilizando el código de colores y de letras indicado a continuación, según el grado de criticidad o aceptación de las mismas:

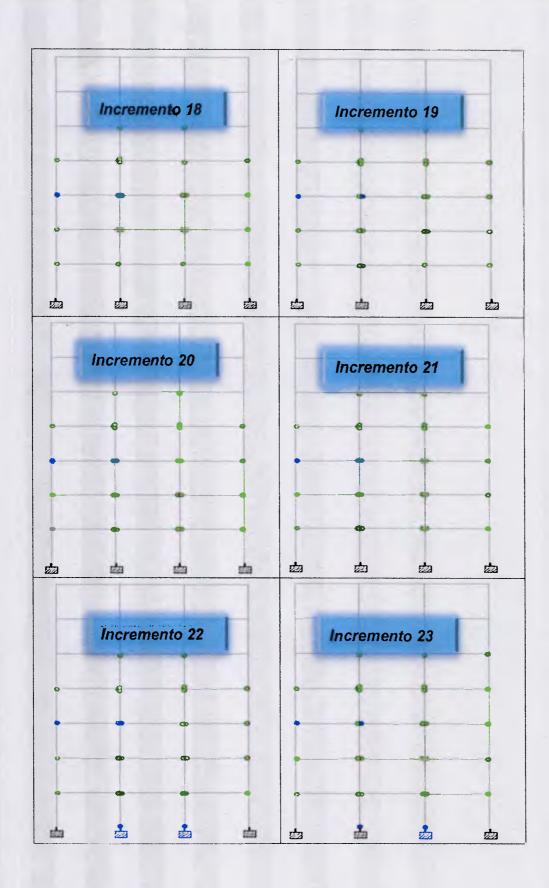
- (Verde) Inicio de la Rótula formada en el tope del rango elástico, representa el criterio de "Ocupación Inmediata" - IO.
- (Azul) Rótula en el rango de "Life Safety" LS
- (Fuccia) Rótula en el rango "Collapse Prevention" CP.
- (Rojo) Rótula en el rango "Collapse Prevention" CP.

La secuencia de la formación de las rotulas plásticas se grafican iniciando desde incremento de la fuerza horizontal donde ocurrió la aparición de la primera rótula plástica en cada pórtico al entrar uno de sus miembros en la etapa de deformación No Lineal.









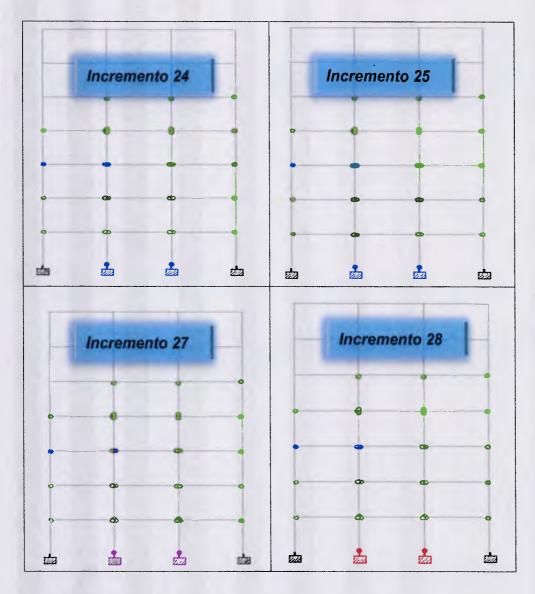


Figura N° 10 Secuencia de Plastificación de Caso de Estudio Pórtico 2 - CE02-TPI-06P-ND3-Z6

Fuente: Elaboración propia- con asistencia del STAAD PRO

Del análisis no-lineal de las estructuras — Pushover, se determina el número de rotulas plásticas para la estructura en cada uno de los casos en estudio, este valor es requerido para la determinación del índice de Resistencia por Redundancia r_v .

La Tabla 15 muestra el total de las Rótulas Plásticas de la estructura por efecto de la aplicación de las cargas monotónicas incrementales ocurridas en la etapa No Lineal de los miembros, su ubicación en el miembro y criterio de aceptación.

En la Figura N° 11 se identifican los miembros que conforman el pórtico 2 utilizado por ser el más representativo.

La Tabla 16 contiene los valores de Cortante en la Base Vs Deformación, mediante los cuales se construye la Curva de Capacidad de la estructura, mostrada en la Figura N° 12.

Tabla 15 Rótulas Plásticas Caso de Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z6

ROTULAS PLÁSTICAS - RANGO NO LINEAL								
Miembro	Dir (Local)	Ubicación (m)	Criterio de Aceptación	Ubicación (m)	Criterio de Aceptación	Ubicación (m)	Criterio de Aceptación	
93	Z	0	<= IO	0	<= IO			
112	Z	0	<= IO	0	<= 10			
129	Z	0	<= IO					
131	Z	0	<= 10					
239	Z	0	<= 10	0	<= 10			
240	Z	0	<= 10	0	<= IO			
241	Z	0	< - 10	0	<= 10			
252	Z	0	<= 10	0	<=10			
253	Z	0	<= IO	0	<= IO			
254	Z	0	<= 10	0	<= IO			
292	Z	0	<= 10	0	<= IO			
293	Z	0	<= IO	0	<= IO			
311	Z	0	<= IO	0	<= 10			
312	Z	0	<= IO	0	<= IO			
328	Z	0	<= 10	0	<= 10			
330	Z	0	<= 10	0	<= 10			
435	Z	0	<=10					
436	Z	0	<= 10	0	<= IO			
437	Z	0	<= 10	0	<= IO			
448	Z	0	<=10					
449	Z	0	<=10	0	<= 10			
450	Z	0	<= IO	0	<= 10			
488	Z	0	<= IO	0	<= IO			
489	Z	0	<= 10	0	<= 10			
507	Z	0	<= IO	0	<= 10			
508	Z	0	<= 1O	0	<= 10			
524	Z	0	<= 10					

Tabla 15 Rótulas Plásticas Caso de Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z6 (continuación)

	ROTULAS PLÁSTICAS - RANGO NO LINEAL									
Miembro	Dir (Local)	Ubicación (m)	Criterio de Aceptación	Ubicación (m)	Criterio de Aceptación	Ubicación (m)	Criterio de Aceptación			
526	Z	0	<= IO							
592	Y	0	IO - LS							
597	Y	0	10 - LS							
604	Y	0	<= IO			300	<= IO			
609	Y	0	<= 10			300	<= 10			
610	Y	0	10 - LS							
613	Y	0	10 - LS							
631	Z	0	<= 10							
644	Z	0	<= 10							
684	Z	0	<= IO	0	<= 10					
703	Z	0	<= IO	0	<=10					
800	Y	0	<= 10			300	<= 10			
805	Y	0	<= 10			300	<= IO			
1733	Z					225	<= IO			
1736	Z					225	<= 10			
1741	Z					225	<= 10			
1742	Z					225	<= 10			
1787	Z					225	<= 10			
1792	Z					225	10 - LS			
1798	z					225	<= IO			
1801	z					225	10 - LS			
1813	Z					225	<= IO			
1825	Z					225	<= 10			
1826	Z					225	<= 10			
1829	Z					225	<= 10			
1834	Z					225	<= 10			
1835	Z					225	<= 10			
1880	Z					225	<= 10			

Tabla 15 Rótulas Plásticas Caso de Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z6 (continuación)

	ROTULAS PLÁSTICAS - RANGO NO LINEAL Dir Ubicación Criterio Ubicación Control							
Miembro	(Local)	(m)	de Aceptación	(m)	de Aceptación	m	de Aceptación	
1885	Z					225	<= 10	
1891	Z					225	<= IO	
1894	Z					225	<= IO	
1902	Z					225	<= IO	
1906	Z					225	<= 10	
1914	Z			-		225	<= IO	
1918	Z					225	<= i O	
1919	Z					225	<= i0	
1922	Z					225	<= 10	
1927	Z					225	<= 10	
1928	Z					225	<= IO	
2090								
2091	Υ	0	IO - LS			300	IO - LS	
2092	Υ	0	LS - CP			300	<= IO	
2093								
2095	Υ	0	<= iO			300	<= 10	
2096	Υ	0	< = 10			300	<= IO	
2160								
2161	Υ	0	10 - LS			300	10 - LS	
2162	Υ	0	LS - CP			300	<= IO	
2163								
2165	Υ	0	<= IO			300	<= IO	
2166	Υ	0	<= 10			300	<= IO	
3129	Υ	0	<= 10			300	<= iO	
3130	Υ	0	10 - LS			300	<= 10	
3136	Υ	0	10 - LS			300	<= 10	
3137	Y	0	<= IO			300	<= 10	
# ROTULAS	S PLÁSTICAS	FORMADAS	57	<u> </u>	24		44	
тот	AL ROTULAS		125					

Fuente: Elaboración propia con asistencia del STAAD PRO

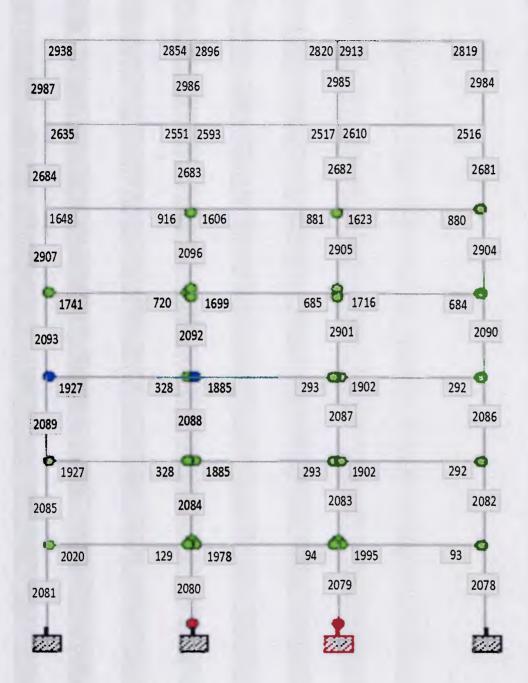


Figura N° 11 Identificación de vigas y columnas Pórtico 02 CE02-TPI-03P-ND3-Z6

Fuente: Elaboración propia- con asistencia del STAAD PRO

Tabla 16 Datos de Curva de Capacidad Caso de Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z6

Pasos Incremento	Desplazamiento	Cortante en la Base			
Carga	(mm)	(kgf)	(kN)		
1	0.00	0.00	0.00		
2	8.92	3,161.16	31.00		
3	45.13	15,996.78	156.87		
4	232.70	82,345.29	807.53		
5	241.83	85,373.15	837.22		
6	251.20	88,328.59	866.21		
7	261.12	91,136.80	893.75		
8	270.64	93,656.35	918.46		
9	281.75	96,005.70	941.49		
10	295.31	97,874.80	959.82		
11	308.40	99,080.17	971.64		
12	317.59	99,883.15	979.52		
13	326.83	100,643.98	986.98		
14	336.06	101,360.81	994.01		
15	345.65	102,037.49	1,000.65		
16	354.38	102,651.98	1,006.67		
17	363.84	103,265.42	1,012.69		
18	373.12	103,828.97	1,018.21		
19	382.93	104,357.65	1,023.40		
20	392.10	104,826.39	1,028.00		
21	400.85	105,271.08	1,032.36		
22	408.44	105,713.25	1,036.69		
23	416.71	106,219.97	1,041.66		
24	425.00	106,752.62	1,046.89		
25	433.70	107,312.43	1,052.38		
26	442.41	107,872.24	1,057.87		
27	449.94	108,432.05	1,063.36		
28	454.30	108,756.11	1,066.53		
29	454.30	88,952.95	872.33		

Fuente: Elaboración propia- con asistencia del ETABS

Los valores resaltados en la Tabla 16 representan los eventos de ocurrencia del primer rótulo plástico, el inicio de la cedencia (V_s, Δ_s) y el colapso inminente de la estructura (V_u, Δ_u) ; así como también se representó los valores de la Cortante y Deriva Elástica correspondiente al modelo obtenidos del Análisis No Lineal Elástico.

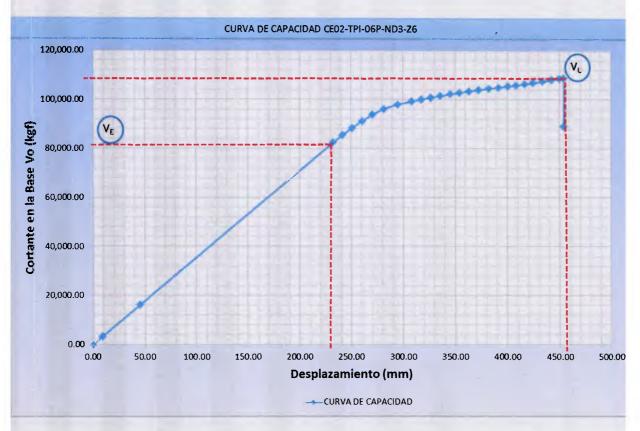


Figura N° 12 Curva de Capacidad de la estructura Caso de Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z6

Fuente: Elaboración propia - con asistencia del ETABS

De la Curva de Capacidad del Caso en Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z6 se obtuvieron los siguientes resultados:

82,345.290	kgf
232.700	mm
96,327.232	kgf
272.192	mm
108,756.110	kgf
454.2964	mm
0.757	
	232.700 96,327.232 272.192 108,756.110 454.2964

Para obtener el Índice de Redundancia por Resistencia r_s requerido para determinar el Factor Reducción por Redundancia, se calcularon las resistencias locales de cada elemento, a partir del cociente entre sus Momentos Resistentes M_u y sus momentos de Diseño M_y , y luego se determinó la resistencia global de la estructura. La Tabla 17 muestra los resultados.

Tabla 17 Determinación de Índice de Redundancia por Resistencia r_s Caso de Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z6 — Columnas

			ento de Diseño g*m)		mento Resister (Kg*m)		$r_{S} = \frac{M_{\mu}}{M_{\gamma}}$
N°	COLUMNAS	MY	MZ	MY	MZ	UBIC.	^M y
1	2078	5,925.17	3,516.02	15,898.45	34,515.48	0	9.817
2	2079	6,064.12	3,888.34	15,898.45	34,515.48	0	8.877
3	2080	6,200.21	3,886.96	15,898.45	34,515.48	0	8.880
4	2081	5,013.24	3,516.57	15,898.45	34,515.48	0	9.815
5	2082	3,816.81	2,481.10	15,898.45	34,515.48	0	13.911
6	2083	-4,588.64	-2,506.21	15,898.45	34,515.48	0	13.772
7	2084	4,588.64	2,761.96	15,898.45	34,515.48	0	12.497
8	2085	-3,816.73	-2,377.74	15,898.45	34,515.48	0	14.516
9	2086	-3,712.40	-1,879.93	15,898.45	34,515.48	300	18.360
10	2087	4,037.41	1,975.97	15,898.45	34,515.48	300	17.468
11	2088	-3,945.87	-2,110.32	15,898.45	34,515.48	275	16.356
12	2089	3,712.27	1,823.36	15,898.45	34,515.48	300	18.930
13	2090	2,633.74	1,430.18	6,844.36	14,444.33	0	10.100
14	2091	2,696.74	1,693.78	6,844.36	14,444.33	300	8.528
15	2092	-2,679.06	-1,782.94	6,844.36	14,444.33	275	8.101
16	2093	2,673.69	1,592.48	6,844.36	14,444.33	300	9.070
17	2094	3,186.03	1,268.59	6,844.36	14,444.33	0	11.386
18	2095	3,152.29	1,522.44	6,844.36	14,444.33	300	9.488
19	2096	3,286.43	1,509.91	6,844.36	14,444.33	0	9.566
20	2097	2,996.23	1,424.47	6,844.36	14,444.33	300	10.140
21	2681	-3,180.67	-1,112.56	6,844.36	14,444.33	300	12.983
22	2682	3,284.02	1,386.83	6,844.36	14,444.33	300	10.415
23	2683	3,258.90	1,385.74	6,844.36	14,444.33	300	10.424
24	2684	3,180.58	1,174.29	6,844.36	14,444.33	300	12.301
25	2984	-3,117.05	-873.64	6,844.36	14,444.33	300	16.533
26	2985	-2,251.81	-1,257.24	6,844.36	14,444.33	300	11.489
27	2986	-2,483.27	-1,256.05	6,844.36	14,444.33	300	11.500
28	2987	3,116.99	688.01	6,844.36	14,444.33	300	20.994
				Σ de r_s par	a cada viga d	el pórtico	346.216
			Pro	medio de r	, para vigas d	lel pórtico	12.365

Tabla 18 Determinación de Índice de Redundancia por Resistencia r_s Caso de Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z6 – Vigas

			ento de Diseño (g*m)		M_u =Momento Resistente (Kg*m)			
N°	VIGAS	MY	MZ	MY	MZ	LOCATION	$r_S = \frac{M_\mu}{M_y}$	
1	2020	146.54	6,149.37	4,509.20	9,652.67	225	1.570	
2	129	130.19	5,970.32	4,509.20	9,652.67	0	1.617	
3	1978	133.53	5,455.02	4,509.20	9,652.67	225	1.770	
4	93	141.84	6,149.52	4,509.20	9,652.67	0	1.570	
5	1995	131.09	5,970.14	4,509.20	9,652.67	225	1.617	
6	94	128.12	5,455.20	4,509.20	9,652.67	0	1.769	
7	1927	249.39	6,267.36	4,509.20	9,652.67	225	1.540	
8	328	188.14	5,851.54	4,509.20	9,652.67	0	1.650	
9	1885	200.55	5,491.40	4,509.20	9,652.67	225	1,758	
10	293	204.36	5,491.59	4,509.20	9,652.67	0	1.758	
11	1902	177.43	5,851.37	4,509.20	9,652.67	225	1.650	
12	292	249.73	6,267.53	4,509.20	9,652.67	0	1.540	
13	1834	327.82	5,518.73	4,509.20	9,652.67	225	1.749	
14	524	224.52	5,099.86	4,509.20	9,652.67	0	1.893	
15	1792	246.80	4,755.21	4,509.20	9,652.67	225	2.030	
16	489	244.86	4,755.57	4,509.20	9,652.67	0	2.030	
17	1809	217.54	5,099.50	4,509.20	9,652.67	225	1.893	
18	488	319.35	5,519.04	4,509.20	9,652.67	0	1.749	
19	1741	323.88	5,348.78	4,509.20	9,652.67	225	1.805	
20	720	213.57	4,968.10	4,509.20	9,652.67	0	1.943	
21	1699	238.95	4,526.56	4,509.20	9,652.67	225	2.132	
22	685	238.33	4,527.19	4,509.20	9,652.67	0	2.132	
23	1716	202.64	4,967.45	4,509.20	9,652.67	225	1.943	
24	684	312.94	5,349.22	4,509.20	9,652.67	0	1.805	
25	1648	255.86	5,880.49	4,509.20	9,652.67	225	1.641	
26	916	139.49	5,268.55	4,509.20	9,652.67	0	1.832	
27	1606	172.86	4,861.66	4,509.20	9,652.67	225	1.985	
28	881	170.11	4,862.01	4,509.20	9,652.67	0	1.985	
29	1623	135.83	5,268.22	4,509.20	9,652.67	225	1.832	
30	880	241.91	5,880.76	4,509.20	9,652.67	0	1.641	
31	2635	291.27	5,420.43	4,509.20	9,652.67	225	1.781	
32	2551	168.68	4,721.20	4,509.20	9,652.67	0	2.045	
33	2593	197.47	4,417.16	4,509.20	9,652.67	225	2.185	
34	2517	195.03	4,417.32	4,509.20	9,652.67	0	2.185	
35	2610	157.68	4,721.07	4,509.20	9,652.67	225	2.045	
36	2516	277.03	5,420.58	4,509.20	9,652.67	0	1.781	
37	2938	402.57	3,099.54	4,509.20	9,652.67	225	3.114	
38	2854	225.46	3,383.17	4,509.20	9,652.67	0	2.853	
39	2896	268.20	3,148.16	4,509.20	9,652.67	225	3.066	
40	2820	256.55	3,148.27	4,509.20	9,652.67	0	3.066	
41	2913	224.08	3,383.07	4,509.20	9,652.67	225	2.853	
42	2819	380.65	3,099.60	4,509.20	9,652.67	0	3.114	
		, 555,65		r_s para cad			83.916	
r_s $Promedio \ para columnas del pórtico$								

Tabla 19 Determinación de Índice de Redundancia por Resistencia r_s Caso en Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z6

	r_s (Local)
Σ de r_s para cada columna $$ del pórtico	346.216
$oldsymbol{\Sigma}$ de $oldsymbol{r}_s$ para cada viga del pórtico	83.916
$oldsymbol{arSigma}$ de $oldsymbol{r}_s$ para todos los Miembros del pórtico	430.132
Número de Miembros del Pórtico	70
r_s Global del pórtico	6.145

A partir del diseño sismorresistente de la edificación, basado en las Normas COVENIN (aparte 9.3.1), se determinó la Cortante de Base de diseño V_D , y con la Curva de Capacidad obtenida del Análisis No Lineal Incremental se obtuvo la Cortante Última, valores utilizados para calcular el Factor de Resistencia por Sobrerresistencia R_Ω .

En forma comparativa, de determinó como una primera aproximación la respuesta máxima total de la estructura considerando la suma de los valores absolutos de las contribuciones modales máximas (ABS). Así mismo, se calculó por los modos de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las respuestas modales ($Square\ Roof\ of\ Sum\ of\ Squares$, SRSS), CQC (Combinación cuadrática completa) y 10 Porciento (10PCT). La Tabla 20 muestra los resultados de V_D a partir de los diferentes métodos.

Tabla 20 Cortante en la Base de la Estructura CE02-TPI-06P-ND3-Z6

	CORTANTE EN LA BASE (kgf)						
	Х	Y	Z				
TOTAL SRSS	8,893.76	0.00	34,736.81				
TOTAL 10PCT	8,924.33	0.00	34,762.68				
TOTAL ABS	14,456.62	0.00	58,333.03				
TOTAL CQC	8,927.73	0.00	34,830.76				
COVENIN 9.3.1	12,475,00	0.00	32,743.15				

Fuente: Elaboración propia

Los valores resultantes de los Factores de Reducción para el Caso de Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z6 son los siguientes:

$$R_{\mu} = \frac{82.345,29}{108.756,11} = 0.757 \tag{4}$$

$$R_{\Omega} = \frac{108,756.11}{32,743.15} = 3.321 \tag{11}$$

$$r_S = \frac{\Sigma_{My}^{M\mu} \text{vigas} + \Sigma_{My}^{M\mu} \text{columnas}}{N^\circ Miembros} = \frac{346.22 + 83.92}{70} = 6.145$$
 (9)

$$r_v = \sqrt{\frac{1}{125} * \frac{1}{7 - 1}} = 0.037 \tag{10}$$

$$R_{\rho} = 1.998 \left[\frac{1 - 0.120.037}{0.88} \right] = 6.697 \tag{8}$$

$$R = 0.757 * 3.321 * 6.697 = 16.842 \tag{1}$$

El valor de obtenido R=13.28 es mayor el valor de R=6 indicado en la Norma COVENIN, para las consideraciones de estructura aporticada regular en acero, para un nivel de diseño ND3.

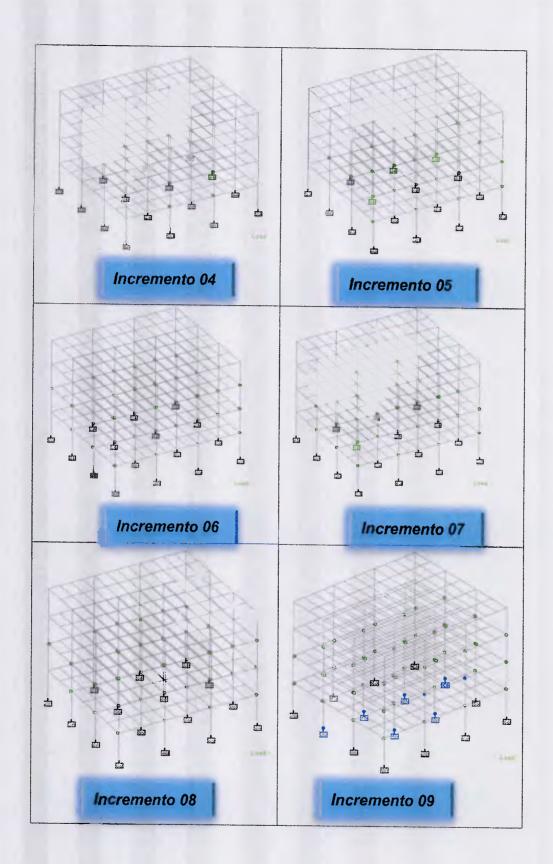
Este procedimiento se aplicó a cada uno de los casos en estudio, a fin de obtener los valores del Factor de Reducción, y compararlos con los sugeridos en la norma COVENIN.

4.3.1. Caso de Estudio CE01-TPI-03P-ND3

Comprende el estudio de una edificación regular de 3 pisos más planta baja, para un total de 04 niveles, en los tres escenarios de zonas sísmicas seleccionados: 5, 6 y 7. A continuación se muestran los valores tabulados de los factores R_{μ} , R_{ρ} , R_{Ω} , la secuencia de formación de las rótulas plásticas y las Curvas de Capacidad correspondientes a cada uno de los escenarios.

4.3.1.1. Escenario: Zona sísmica 5

Se aplicó, en el cálculo, los parámetros del espectro de diseño previsto para una zona sísmica 5, de acuerdo al procedimiento indicado en el aparte 7.2 de la norma COVENIN 1756_2001.



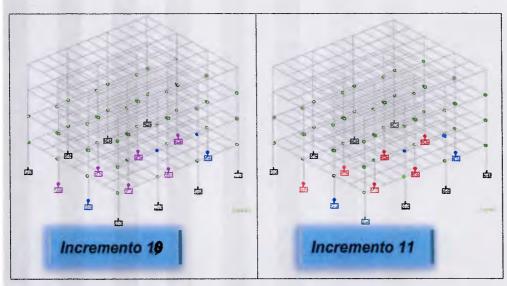


Figura N° 13 Secuencia de Plastificación Caso de Estudio CE01-TPI-03P-ND3-Z5

Tabla 21 Rótulas de la Estructura CE01-TPI-03P-ND3-Z5

	ROTULAS PLÁSTICAS - RANGO NO LINEAL										
Miembro	Dir (Local)	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación				
7	Υ	0	10 - LS								
12	Υ	0	IO - LS								
13	Y	0	>= CP								
18	Υ	0	>= CP								
40	Z	0	<= IO	0	<= 10						
41	Z	0	<=10	0	<= IO						
42	Z	0	<=10								
53	Z	0	<= 10	0	<= 10						
54	Z	0	<= 10	0	<= 10						
55	Z	0	<= IO								
93	Z	0	<= IO								
94	Z	0	<= 10								
112	Z	0	<= IO								
113	Z	0	<= 10								
129	Z	0	<= 10								
131	Z	0	<= 10								
239	Z	0	<= 10	0	<= IO						
240	Z	0	<=10	0	<= IO						
241	Z	0	<= 10								
252	Z	0	<= 10	0	<= IO						
253	Z	0	<= IO	0	<= 10						
254	Z	0	<= IO								
256	Z					65	<= 10				

Tabla 21 Rótulas de la Estructura CE01-TPI-03P-ND3-Z5 (continuación)

	ROTULAS PLÁSTICAS - RANGO NO LINEAL								
Miembro	Dir (Local)	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación		
263	Z					65	<= 10		
292	Z	0	IO - LS						
293	Z	0	<= IO						
311	Z	0	IO - LS						
312	Z	0	<= IO						
328	Z	0	<= IO						
330	Z	0	<= IO						
435	Z	0	<= IO	0	<= 10				
436	Z	0	<= 10	0	<= 10				
437	Z	0	<= IO						
448	Z	0	<= IO	0	<= IO				
449	Z	0	<= IO	0	<= 10				
450	Z	0	<= IO						
488	Z	0	<= 10						
489	Z	0	<= IO						
507	Z	0	<= IO						
508	Z	0	<= IO						
524	Z	0	<= IO						
526	Z	0	<= IO	T					
1880	Z					225	<= IO		
1885	Z	-				225	<= 10		
1891	Z			1		225	<= 10		
1894	Z			 		225	<= 10		
1902	Z					225	<= IO		
1914	Z					225	<= 10		
1919	Z					225	<= 10		
1922	Z					225	<= IO		
1927	Z					225	<= IO		
1928	Z			 		225	<= 10		
2012	Z					225	<= 10		
2015	Z					225	<= 10		
2020	Z					225	<= IO		
2021	Z					225	<= 10		
2079	Y	0	>= CP						
2080	Y	0	>= CP						
2149	Y	0	>= CP						
2150	Y	0	>= CP						
	-	S FORMADAS	48		12		16		
тот	AL ROTULA ESTRUCTU		76						

Tabla 22 Datos de Curva de Capacidad Caso de Estudio CE01-TPI-03P-ND3-Z5

Pasos Incremento	Desplazamiento	Cortante e	n la Base
Carga	(mm)	(kfg)	(kN)
1	0.00	0.00	0.00
2	15.08	3,506.36	3.44
3	55.30	12,857.24	12.61
4	160.30	36,941.16	36.23
5	180.13	40,153.43	39.38
6	196.84	42,589.66	41.77
7	212.34	44,785.87	43.92
8	230.96	46,924.44	46.02
9	247.57	48,659.16	47.72
10	261.80	50,224.37	49.25
11	265.55	50,636.59	49.66
12	265.55	37,341.08	36.62

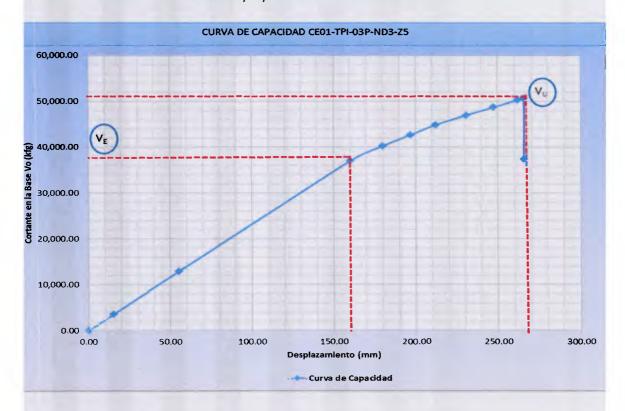
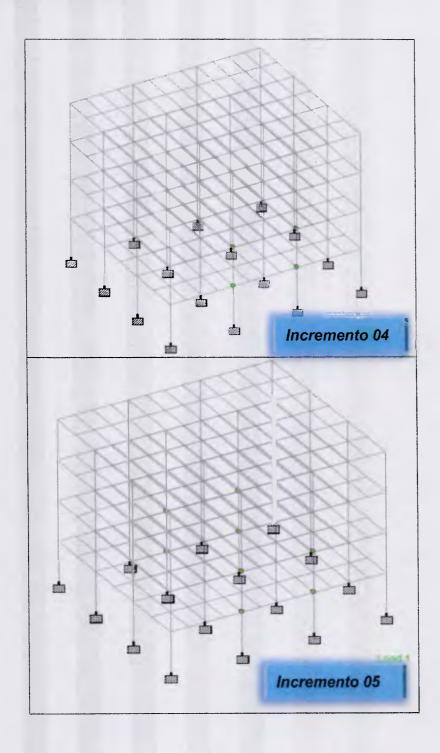


Figura N° 14 Curva de Capacidad de la estructura Caso de Estudio CE01-TPI-03P-ND3-Z5

4.3.1.2. Escenario: Zona sísmica 6

Se aplicó, en el cálculo, los parámetros del espectro de diseño previsto para una zona sísmica 6, de acuerdo al procedimiento indicado en el aparte 7.2 de la Norma COVENIN 1756_2001.



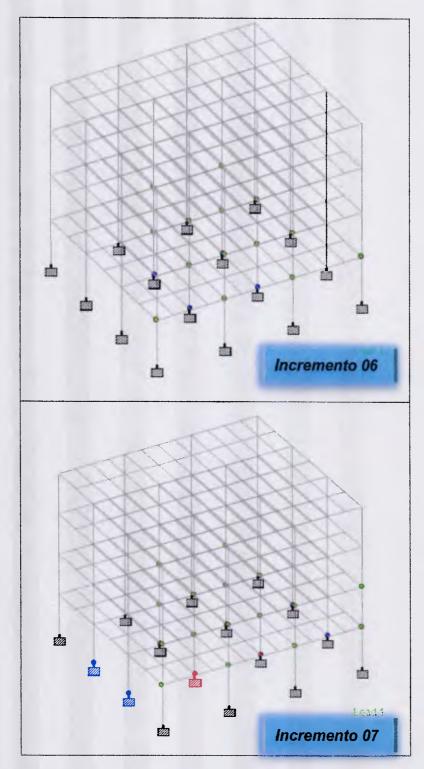


Figura N° 15 Secuencia de Plastificación de Caso de Caso de Estudio CE01-TPI-03P-ND3-Z6

Tabla 23 Rótulas de la Estructura CE01-TPI-03P-ND3-Z6

	ROTULAS PLÁSTICAS - RANGO NO LINEAL									
Miembro	Dir (Local)	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación			
7	Υ	0	10 - LS							
12	Y	0	IO - LS							
13	Υ	0	IO - LS							
18	Υ	0	IO - LS							
40	Z	0	<= 10	0	<= 10					
53	Z	0	<= IO	0	<= 10					
93	Z	0	<= 10							
94	Z	0	<= 10	0	<= 10					
112	Z	0	<= IO							
113	Z	0	<= IO	0	<= IO					
129	Z	0	<= IO							
131	Z	0	<= 10							
239	Z	0	<= 10	0	<= IO					
252	Z	0	<= 10	0	<= 10					
292	Z	0	<= 10							
293	Z	0	<= 10	0	<= 10					
311	Z	0	<= IO							
312	Z	0	<= IO	0	<= 10					
328	Z	0	<= 10							
330	Z	0	<= 10							
2079	Y	0	>= CP							
2080	Υ	0	>= CP							
2149	Υ	0	>= CP							
2150	Υ	0	>= CP							
# ROTULAS	PLÁSTICAS	FORMADAS	24		8		0			
TOTAL	ROTULAS DE	L PORTICO	32							

Tabla 24 Datos de Curva de Capacidad Caso de Estudio CE01-TPI-03P-ND3-Z6

Pasos Incremento	Desplazamiento	Cortante e	n la Base
Carga	(mm)	(kgf)	(kN)
1	0.00	0.00	0.00
2	16.74	7,753.95	76.04
3	47.00	20,954.01	205.49
4	77.26	36,054.07	353.57
5	110.00	49,567.30	486.09
6	143.90	55,051.14	539.87
7	161.88	57,430.12	563.20
8	166.72	57,466.88	563.56
9	169.88	57,480.12	563.69
10	171.57	57,483.64	563.72
11	172.00	57,763.64	566.47
12	174.38	57,781.92	566.65
13	174.04	55,679.36	546.03

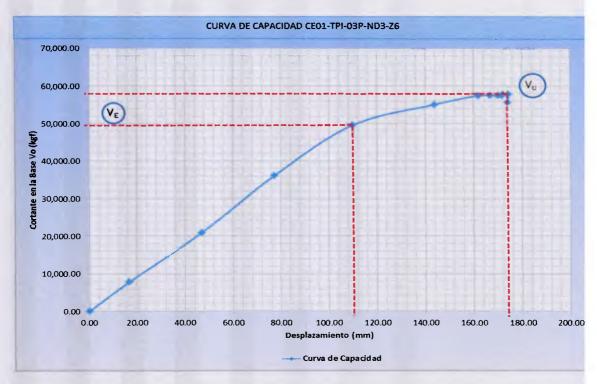
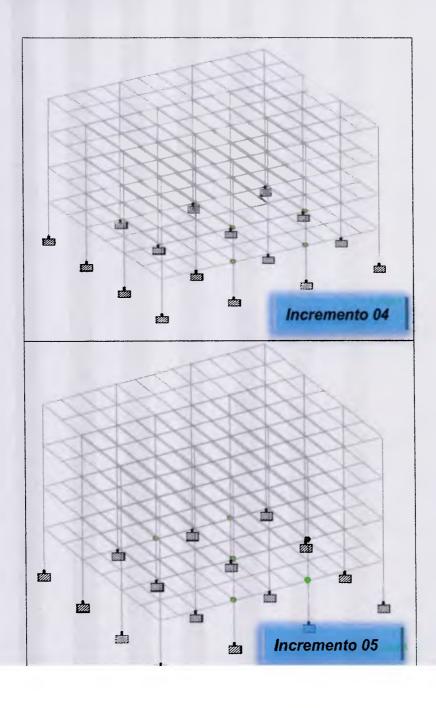


Figura N° 16 Curva de Capacidad Caso de Estudio CE01-TPI-03P-ND3-Z6

4.3.1.3. Escenario: Zona sísmica 7

Se aplicó, en el cálculo, los parámetros del espectro de diseño previsto para una zona sísmica 7, de acuerdo al procedimiento indicado en el aparte 7.2 de la norma COVENIN 1756_2001.



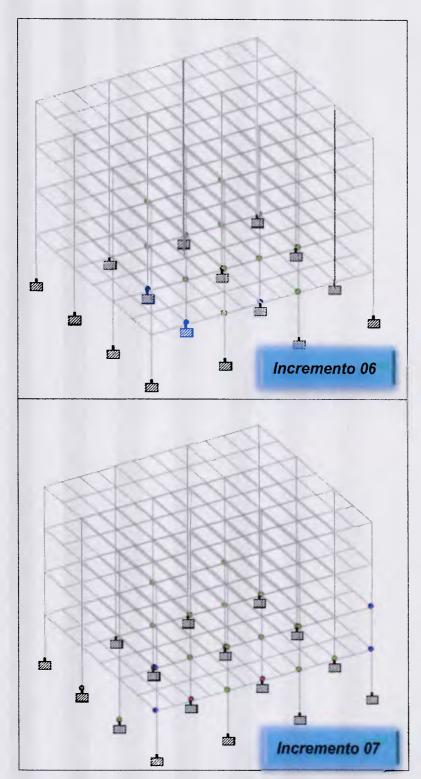


Figura N° 17 Secuencia de Plastificación de Caso de Estudio CE01-TPI-03P-ND3-Z7

Tabla 25 Rótulas de la Estructura CE01-TPI-03P-ND3-Z7

	ROTULAS PLÁSTICAS RANGO NO LINEAL									
Miembro	Dir (Local)	Ubicación (m)	Criterio de Aceptación	Ubicación (m)	Criterio de Aceptación	Ubicación (m)	Criterio de Aceptación			
7	Y	0	<= IO							
12	Y	0	<= IO							
13	Υ	0	<= IO							
18	Y	0	<= IO							
40	Z	0	<= IO	0	<= IO					
53	Z	0	<= IO	0	<= IO					
93	Z	0	<= IO	0	<= IO					
112	Z	0	<= IO	0	<= IO					
129	Z	0	<= IO							
131	Z	0	<= IO							
239	Z	0	<= IO							
252	Z	0	<= 10							
292	Z	0	<= IO	0	<= 10					
293	Z	0	<= IO	0	<= 10					
311	Z	0	<= 10	0	<= 10					
312	Z	0	<= IO	0	<= 10					
328	Z	0	<= IO							
330	Z	0	<= IO							
2020	Z					225	<= 10			
2021	Z					225	<= IO			
2079	Y	0	>= CP	1						
2080	Y	0	>= CP							
2149	Y	0	>= CP							
2150	Y	0	>= CP							
# ROTULA	S PLÁSTICA	S FORMADAS	22		8		2			
тот	AL ROTULA		32			-				

Tabla 26 Datos de Curva de Capacidad Caso de Estudio CE01-TPI-03P-ND3-Z7

Pasos	Desplazamiento	Cortante e	n la Base
Incremento Carga	(mm)	(kgf)	(kN)
1	0.00	0.00	0.00
2	4.97	4,028.18	3.95
3	17.12	12,703.84	12.46
4	29.27	20,879.49	20.48
5	79.20	49,173.58	48.22
6	129.13	74,467.68	73.03
7	131.62	74,643.32	73.20
8	134.10	75,318.96	73.86
9	135.62	76,643.32	75.16
10	139.33	77,160.40	75.67
11	140.72	77,264.48	75.77
12	144.11	77,368.56	75.87
13	146.68	77,511.81	76.01
14	149,25	77,955.05	76.45
15	154.62	78,743.14	77.22
16	159.66	78,878.90	77.35
17	146.68	73,511.81	72.09

Fuente: Elaboración propia- con asistencia del ETABS

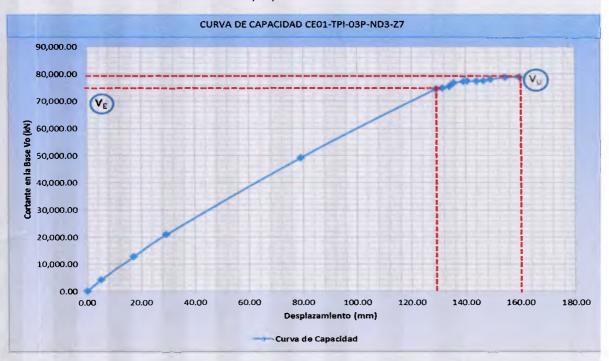


Figura N° 18 Curva de Capacidad Caso de Estudio CE01-TPI-03P-ND3-Z7 Fuente: Elaboración propia- con asistencia del ETABS

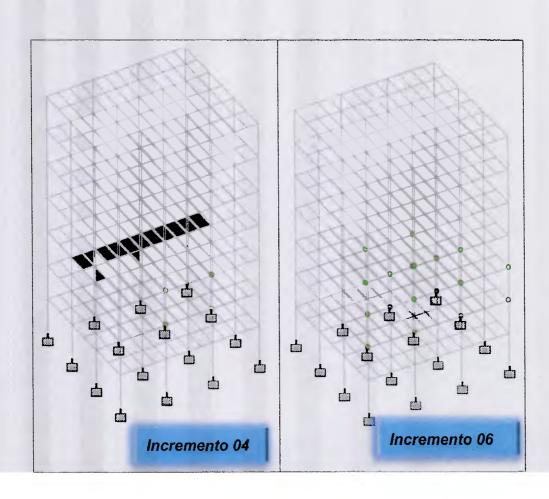
4.3.2. Caso de Estudio CE02-TPI-06P-ND3

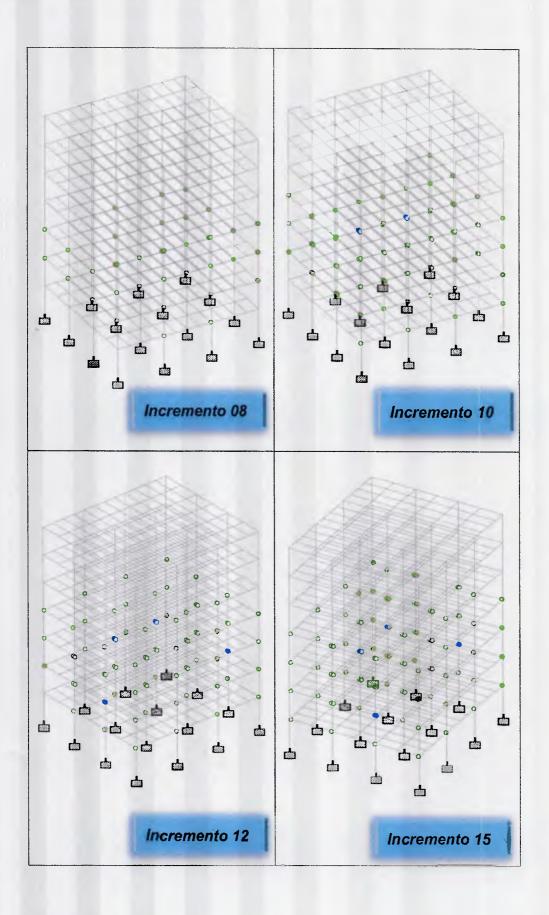
Comprende el estudio de una edificación regular de 6 pisos más planta baja, para un total de 7 niveles, en los tres escenarios de zonas sísmicas seleccionados: 5, 6 y 7.

A continuación se muestran los valores tabulados de los factores R_{μ} , R_{ρ} , R_{Ω} , parte de la secuencia de formación de las rótulas plásticas y las Curvas de Capacidad correspondientes a cada uno de los escenarios.

4.3.2.1. Escenario: Zona sísmica 5

Se aplicó en este caso de estudio los parámetros del espectro de diseño previsto para una zona sísmica 5, de acuerdo al procedimiento indicado en el aparte 7.2 de la norma COVENIN 1756_2001.





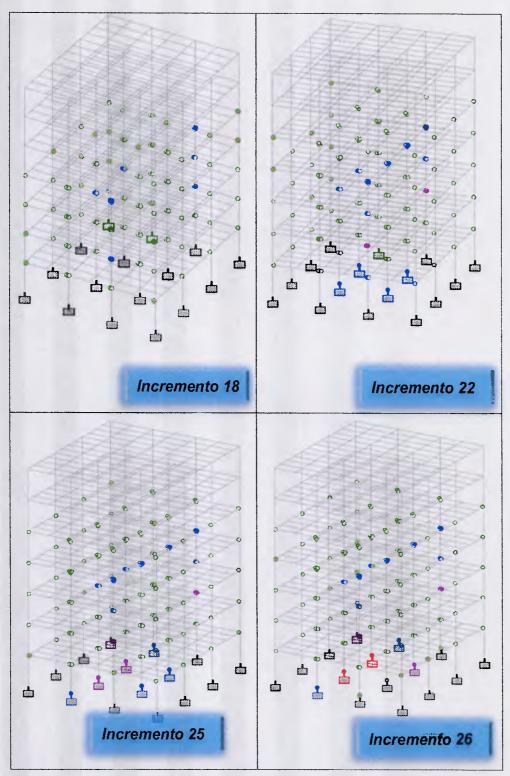


Figura N° 19 Secuencia de Plastificación Caso de Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z5 Fuente: Elaboración propia

Tabla 27 Rótulas de la Estructura CE02-TPI-06P-ND3-Z5

	ROTULAS PLÁSTICAS - RANGO NO LINEAL									
Miembro	Dir (Local)	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación			
7	Y	0	<= 10							
12	Υ	0	<= IO							
13	Υ	0	IO - LS							
18	Υ	0	IO-LS							
40	Z	0	<= IO	0	<= 10					
41	Z	0	<= 10	0	<= 10	1				
42	Z	0	<= IO	0	<= 10					
53	Z	0	<= 10	0	<= IO					
54	Z	0	<= 10	0	<= 10					
55	Z	0	<= IO	0	<= IO					
57	Z					65	<= 10			
64	Z				<u> </u>	65	<= IO			
93	Z	0	<= IO	0	<= 10					
94	Z	0	<= 10	0	<= 10		1			
112	Z	0	<= IO	0	<= 10					
113	Z	0	<= 10	0	<= 10		1			
129	Z	0	<= 10				1			
131	Z	0	<= 10			1				
239	Z	0	<= 10	0	<= 10					
240	Z	0	<= 10	0	<= 10					
241	Z	0	<=10	0	<= IO					
252	Z	0	<= 10	0	<= 10					
253	Z	0	<= 10	0	<= 10					
254	Z	0	<= 10	0	<= IO					
256	Z	1			1	65	LS - CP			
263	Z		1		1	65	LS - CP			
292	Z	0	<= 10	 		1				
293	Z	0	<= IO	0	<= IO					
311	Z	0	<= 10	<u> </u>			İ			
312	Z	0	<= 10	0	<= IO	1				
328	Z	0	<= 10	1			T			
330	Z	0	<= IO	1						
435	Z	0	<= IO	0	<= 10					
436	Z	0	10 - LS	0	IO - LS		1			
437	Z	0	<= 10	0	<= 10					
448	Z	0	<=10	0	<= 10					
449	Z	0	IO-LS	0	10 - L5		1			
450	Z	0	<= IO	0	<= 10					
452	Z		1			65	<= IO			
459	Z	1		1		65	<= 10			
488	Z	0	<= 10	0	<= IO					
489	Z	0	<= 10	0	<= 10					
507	Z	0	<= IO	0	<= 10		1			
508	Z	0	<= IO	0	<= IO					
524	Z	0	10 - LS	1	1.0		1			

Tabla 27 Rótulas de la Estructura CE02-TPI-06P-ND3-Z5 (continuación)

	<u> </u>	ROTULAS PLÁSTICAS - RANGO NO LINEAL Dir Ubicación Criterio Ubicación Criterio Ubicación Criterio								
Miembro	Dir (Local)	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación			
526	Z	0	IO - LS							
598	Y					300	<= 10			
603	Υ					300	<= 10			
604	Υ					300	<= IO			
609	Υ					300	<= IO			
631	Z	0	<= 10	0	<= IO					
632	Z	0	<= 10	0	<= 10					
633	Z	0	<= 10	0	<= 10					
644	Z	0	<= 10	0	<= 10					
645	Z	0	<= 10	0	<= IO	1				
646	Z	0	<= 10	0	<= 10	T				
648	Z					65	10 - LS			
655	Z					65	10 - LS			
684	Z	0	<= IO	0	<= IO					
685	Z	0	<= 10	0	<= 10					
703	Z	0	<= 10	0	<= 10					
704	Z	0	<= 10	0	<= 10					
720	Z	0	<= 10							
722	Z	0	<= 10		<u> </u>	1				
794	Y	1				300	<= 10			
799	Y	1	İ	İ	T	300	<= 10			
800	Υ					300	<= 10			
805	Y	1	<u> </u>	1		300	<= 10			
827	Z	0	<= IO	0	<= 10	1				
828	Z	0	<= 10	0	<= 10	<u> </u>				
829	Z	0	<= 10	0	<= 10	1				
840	Z	0	<= 10	0	<= IO					
841	Z	0	<= IO	0	<= 10					
842	Z	0	<= 10	0	<= 10					
880	Z	0	<= 10	0	<= 10					
881	Z	0	<= 10	0	<= 10					
899	Z	0	<= IO	0	<= IO					
900	Z	0	<= IO	0	<= iO	1				
916	Z	0	<= IO			1				
918	Z	0	<= 10	1						
1640	Z	1			1	225	<=10			
1643	Z		1			225	<= 10			
1648	Z	1				225	<=10			
1649	Z	1	T			225	<= 10			
1694	Z			1	T	225	<=10			
1699	Z	1				225	<= 10			
1705	Z	1	1		1	225	<= 10			
1708	Z		1			225	<= 10			

Tabla 27 Rótulas de la Estructura CE02-TPI-06P-ND3-Z5 (continuación)

ROTULAS PLÁSTICAS - RANGO NO LINEAL							
Miembro	Dir (Local)	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación
1716	Z					225	10 - LS
1728	Z					225	10 - LS
1733	Z					225	<= 10
1736	Z					225	<= IO
1741	Z					225	<= IO
1742	Z					225	<= IO
1787	Z					225	<= 10
1792	Z					225	<= IO
1798	Z					225	<= 10
1801	Z					225	<= 10
1809	Z					225	<= 10
1821	Z					225	<= IO
1826	Z					225	<= 10
1829	Z					225	<= IO
1834	Z					225	<= 10
1835	Z					225	<= IO
1880	Z					225	<= 10
1885	Z					225	<= 10
1891	Z					225	<= 10
1894	Z					225	<= 10
1902	Z					225	<= 10
1914	Z					225	<= IO
1919	Z					225	<= 10
1922	Z					225	<= 10
1927	Z					225	<= 10
1928	Z					225	<= IO
1973	Z					225	<= IO
1978	Z					225	<= 10
1984	Z					225	<= IO
1987	Z					225	<= 10
1995	Z					225	<= IO
2007	Z					225	<=10
2012	Z					225	<= 10
2015	Z					225	<= 10
2020	Z					225	<= 10
2021	Z					225	<= 10
2079	Y	0	LS - CP				1
2080	Υ	0	>= CP				
2091	Y					300	<= 10
2092	Υ					300	<= 10
2095	Υ					300	<= 10
2096	Υ					300	<= 10
2149	Υ	0	LS - CP				
2150	Υ	0	>= CP				

Tabla 27 Rótulas de la Estructura CE02-TPI-06P-ND3-Z5 (continuación)

	ROTULAS PLÁSTICAS - RANGO NO LINEAL							
Miembro	Dir (Local)	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	
2161	Υ					300	<= 10	
2162	Υ					300	<= 10	
2165	Υ					300	<= 10	
2166	Υ					300	<= 10	
# ROTULA	S PLÁSTIC	AS FORMADAS	76		56		74	
TOTAL RO	TULAS DE	ESTRUCUTRA	200					

Tabla 28 Datos de Curva de Capacidad Caso de Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z5

Pasos	Desplazamiento	Cortante en la Base		
Incremento Carga	(mm)	(kgf)	(kN)	
1	0.00	0.00	0.00	
2	14.03	2,676.46	2.62	
3	64.70	12,345.73	12.11	
4	235.57	44,836.43	43.97	
5	249.92	47,408.82	46.49	
6	266.23	49,925.58	48.96	
7	281.96	52,097.30	51.09	
8	298.70	54,044.74	53.00	
9	314.79	55,689.91	54.61	
10	339.75	57,136.58	56.03	
11	355.20	57,961.92	56.84	
12	370.08	58,722.33	57.59	
13	384.63	59,449.97	58.30	
14	400.87	60,162.12	59.00	
15	416.93	60,786.67	59.61	
16	432.23	61,340.63	60.15	
17	447.50	61,856.93	60.66	
18	462.52	62,338.92	61.13	
19	477.10	62,796.33	61.58	
20	491.82	63,243.62	62.02	
21	505.35	63,677.33	62.45	
22	519.91	64,134.41	62.89	
23	533.28	64,582.49	63.33	
24	548.28	65,061.04	63.80	
25	562.64	65,516.52	64.25	
26	562.64	62,961.38	61.74	

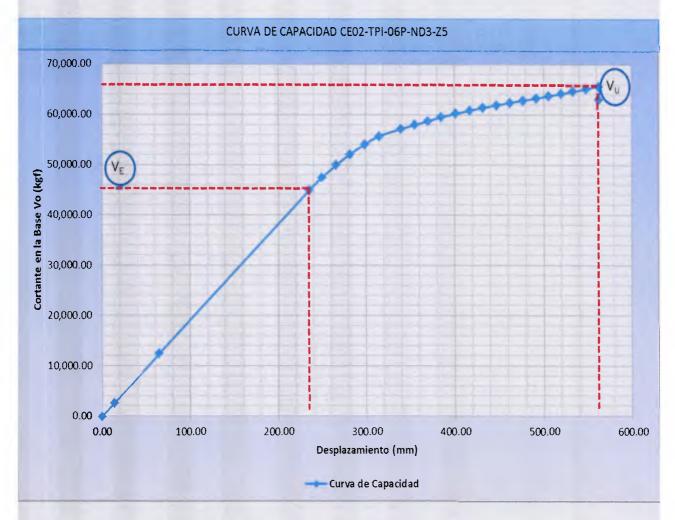


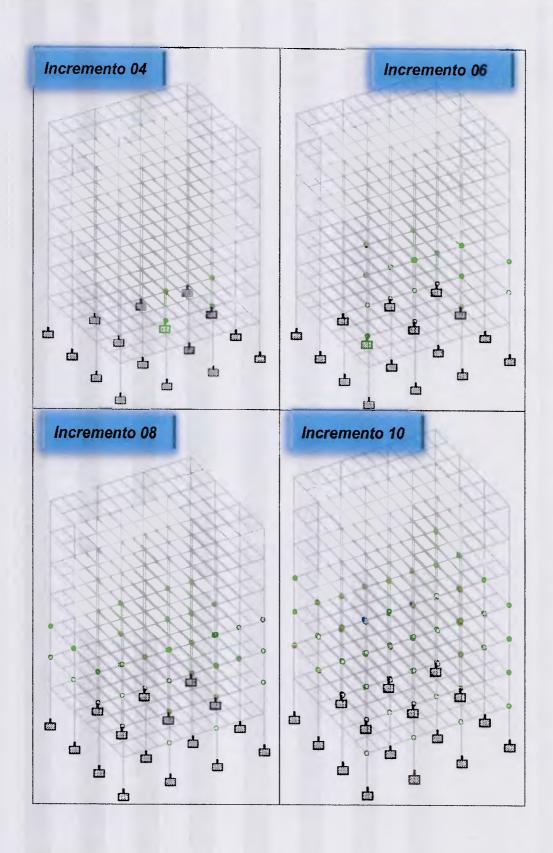
Figura N° 20 Curva de Capacidad Caso en Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z5

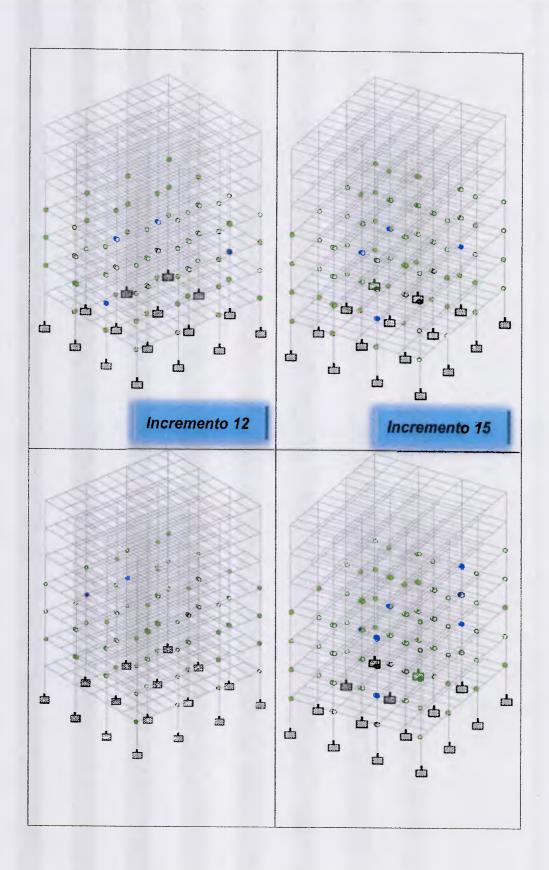
4.3.2.2. Escenario: Zona sísmica 6

Este escenario se explicó detalladamente en el aparte del procedimiento para el cálculo de los factores de reducción respuesta.

4.3.2.3. Escenario: Zona sísmica 7

Se aplicó en este caso de estudio los parámetros del espectro de diseño previsto para una zona sísmica 7, de acuerdo al procedimiento indicado en el aparte 7.2 de la norma COVENIN 1756_2001.





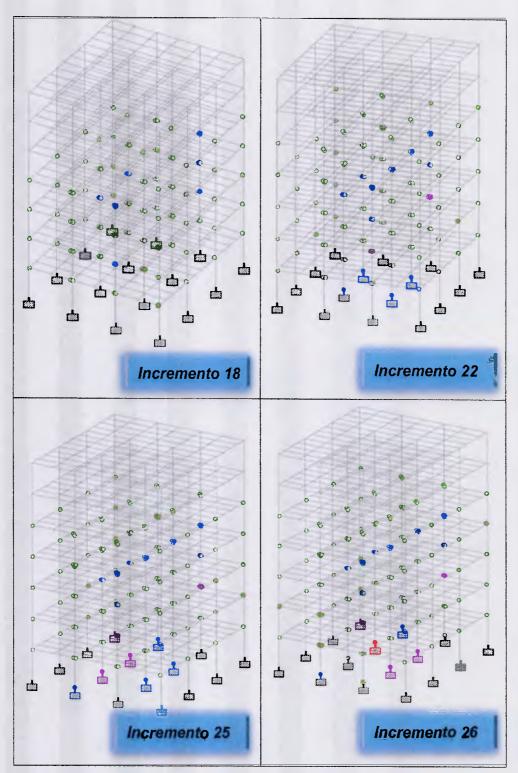


Figura N° 21 Secuencia de Plastificación Caso de Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z7 Fuente: Elaboración propia- con asistencia del STAAD PRO

Tabla 29 Rótulas de la Estructura CE02-TPI-06P-ND3-Z7

ROTULAS PLÁSTICAS – RANGO NO LINEAL							
Miembro	Dir (Local)	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación
7	Υ	0	IO - LS				
12	Υ	0	10 - LS				
13	Υ	0	10 - LS				
18	Υ	0	IO - LS				
40	Z	0	<= IO	0	<= IO		
41	Z	0	<= IO	0	<= IO		
42	Z	0	<= IO	0	<= IO		
53	Z	0	<= IO	0	<= IO		
54	Z	0	<= 10	0	<= IO		
55	Z	0	<= 10	0	<= IO		
57	Z					65	10 - LS
64	Z					65	IO-LS
93	Z	0	<= IO	0	<= IO		
94	Z	0	<= IO	0	<= 10		
112	Z	0	<= IO	0	<= 10		
113	Z	0	<= IO	0	<= IO		
129	Z	0	<= 10				
131	Z	0	<= 10				
239	Z	0	<= 10	0	<= IO		
240	Z	0	<= 10	0	<= 10		
241	Z	0	<= 10	0	<= IO		
252	Z	0	<= 10	0	<= 10		
253	Z	0	<= 10	0	<= IO		
254	Z	0	<= 10	0	<= IO		
256	Z					65	<= IO
263	Z					65	<= 10
292	Z	0	<= 10	0	<= IO		
293	Z	0	<= IO	0	<= IO		
311	Z	0	<= IO	0	<= IO		
312	Z	0	<= IO	0	<= IO		
328	Z	0	<= IO	0	<= 10		
330	Z	0	<= IO	0	<= 10		
435	Z	0	<= 10				
436	Z	0	<= 10	0	<= IO		

Tabla 29 Rótulas de la Estructura CE02-TPI-06P-ND3-Z7 (continuación)

ROTULAS PLÁSTICAS – RANGO NO LINEAL								
Miembro	Dir (Local)	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	
437	Z	0	<= 10	0	<= 10			
448	Z	0	<= IO					
449	Z	0	<= 10	0	<= 10			
450	Z	0	<= 10	0	<= IO			
452	Z					65	<= 10	
459	Z					65	<= 10	
488	Z	0	<= 10	0	<= 10			
489	Z	0	<= 10	0	<= IO			
507	Z	0	<= 10	0	<= 10			
508	Z	0	<= 10	0	<= 10			
524	Z	0	<= 10				1	
526	Z	0	<= 10					
598	Y					300	<= 10	
603	Υ					300	<= 10	
604	Y					300	<= 10	
609	Y					300	<= 10	
631	Z	0	10 - LS					
644	Z	0	IO-LS					
684	Z	0	<= 10	0	<= 10			
685	Z	0	<= 10	0	<= 10			
703	Z	0	<= 10	0	<= 10			
704	Z	0	<= 10	0	<= 10			
720	Z	0	<= 10					
722	Z	0	<≃10					
794	Y	0	10 - LS			300	<= 10	
799	Y	0	10 - LS			300	<= 10	
800	Y	0	IO-LS			300	<= 10	
805	Y	0	IO-LS			300	<= 10	
827	Z	0	<= IO					
840	Z	0	<= 10					
880	Z	0	<= IO	0	<≃ IO			
899	Z	0	<= IO	0	<= 10	1		
1640	Z					225	<= 10	

Tabla 29 Rótulas de la Estructura CE02-TPI-06P-ND3-Z7 (continuación)

	ROTULAS PLÁSTICAS – RANGO NO LINEAL								
Miembro	Dir (Local)	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación		
1643	Z					225	<= 10		
1648	Z					225	<= IO		
1649	Z					225	<= 10		
1733	Z					225	<= 10		
1736	Z					225	<= IO		
1741	Z					225	<= 10		
1742	Z					225	<= 10		
1787	Z					225	<=10		
1792	Z					225	<= IO		
1798	Z					225	<= 10		
1801	Z					225	<= IO		
1809	Z					225	<= 10		
1821	Z					225	<= IO		
1826	Z					225	<= 10		
1829	Z					225	<= 10		
1834	Z					225	LS - CP		
1835	Z					225	LS - CP		
1880	Z				-	225	<= 10		
1885	Z					225	<= 10		
1891	Z					225	<= 10		
1894	Z					225	<= IO		
1902	Z					225	<= 10		
1914	Z					225	<= 10		
1919	Z					225	<= IO		
1922	Z					225	<= 10		
1927	Z					225	<= 10		
1928	Z					225	<= IO		
1973	Z					225	IO - LS		
1978	Z					225	<= 10		
1984	Z					225	10 - LS		
1987	Z					225	<= IO		
1995	Z					225	<= IO		
2007	Z					225	<= IO		

Tabla 29 Rótulas de la Estructura CE02-TPI-06P-ND3-Z7 (continuación)

	ROTULAS PLÁSTICAS – RANGO NO LINEAL						
Miembro	Dir (Local)	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación
2015	Z					225	<= 10
2020	Z					225	<= 10
2021	Z					225	<= iO
2079	Υ	0	>= CP				
2080	Υ	0	>= CP				
2091	Υ	0	<= IO			300	<= IO
2092	Υ	0	<= 10			300	<= IO
2095	Y	0	10 - LS			300	<= 10
2096	Y	0	10 - LS			300	<= 10
2149	Υ	0	>= CP				
2150	Y	0	>= CP				
2161	Y	0	<= IO			300	<= IO
2162	Y	0	<= IO			300	<= IO
2165	Y	0	IO - LS			300	<= i0
2166	Υ	0	10 - LS			300	<= 10
# ROTULAS	PLASTICAS	FORMADAS	75		36		96
TOTAL RO	TULAS DE E	STRUCTURA	174		<u> </u>	.1	

Tabla 30 Datos de Curva de Capacidad Caso de Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z7

Pasos Incremento	Desplazamiento	Cortante e	n la Base
Carga	(mm)	(kgf)	(kN)
1	0.00	0.00	0.00
2	7.18	2,690.80	2.64
3	38.78	14,527.19	14.25
4	216.48	81,038.69	79.47
5	223.81	83,669.57	82.05
6	231.15	86,248.95	84.58
7	238.86	88,772.91	87.06

Tabla 30 Datos de Curva de Capacidad Caso de Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z7 (continuación)

Pasos	Desplazamiento	Cortante e	n la Base
Incremento Carga	(mm)	(kN)	(kgf)
8	246.69	91,124.06	89.36
9	253.91	93,280.90	91.48
10	262.22	95,423.40	93.58
11	270.73	97,269.30	95.39
12	279.28	98,817.34	96.91
13	291.06	100,105.63	98.17
14	298.59	100,881.80	98.93
15	306.20	101,612.44	99.65
16	313.51	102,292.78	100.31
17	321.14	102,952.83	100.96
18	328.26	103,566.02	101.56
19	335.82	104,177.03	102.16
20	343.52	104,750.73	102.73
21	351.13	105,277.81	103.24
22	358.24	105,768.44	103.72
23	365.33	106,257.15	104.20
24	372.64	106,745.86	104.68
25	381.26	107,219.61	105.15
26	388.38	107,608.68	105.53
27	395.72	107,995.48	105.91
28	402.83	108,368.39	106.27
29	409.91	108,739.62	106.64
30	416.988	109110.85	107.00
31	424.066	109482.08	107.37
32	431.144	109853.32	107.73
33	438.22	110,224.55	108.09
34	445.3	110595.78	108.46
35	452.378	110967.02	108.82
36	458.006	111338.25	109.19
37	465.264	111805.63	109.64
38	472.368	112261.29	110.09

Tabla 30 Datos de Curva de Capacidad Caso de Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z7 (continuación)

Pasos Incremento	Desplazamiento	Cortante en la Base		
Carga	(mm)	(kgf)	(kN)	
39	478.573	112715.05	110.54	
40	485.65	113232.59	111.04	
41	493.007	113750.12	111.55	
42	500.138	114248.72	112.04	
43	507.63	114744.4	112.53	
44	514.772	115212.72	112.99	
45	516.772	114175.09	111.97	

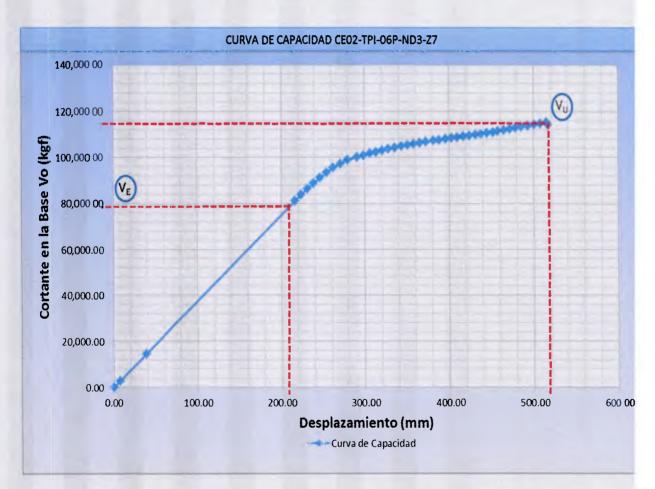


Figura N° 22 Curva de Capacidad Caso en Estudio CE02-TPI-06P-ND3-Z7

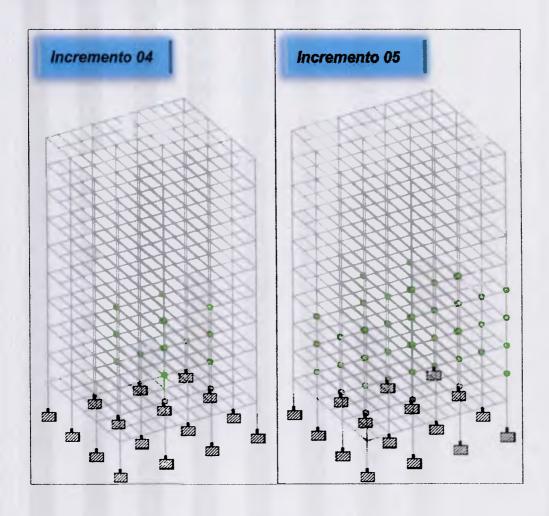
4.3.3. Caso de Estudio CE03-TPI-09P-ND3

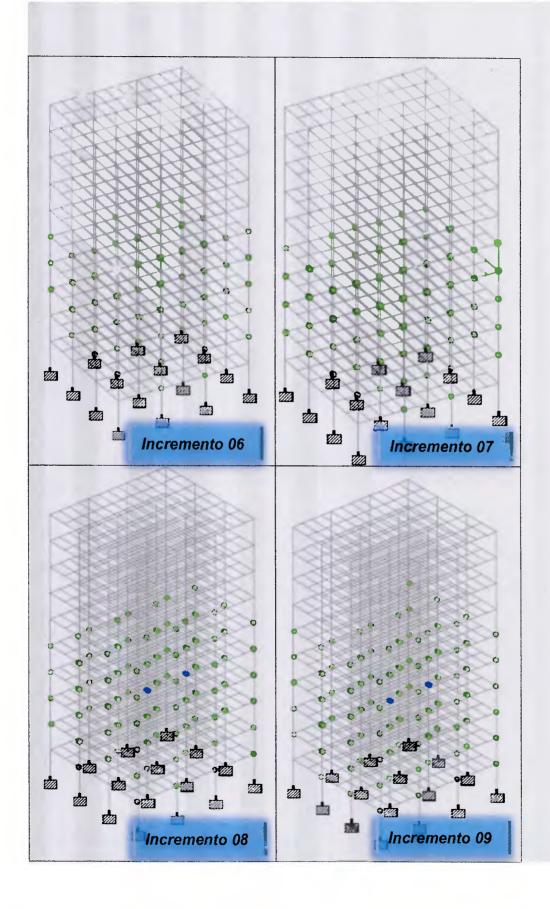
Comprende el estudio de una edificación regular de 9 pisos más planta baja, para un total de 10 niveles, en los tres escenarios de zonas sísmicas seleccionados: 5, 6 y 7.

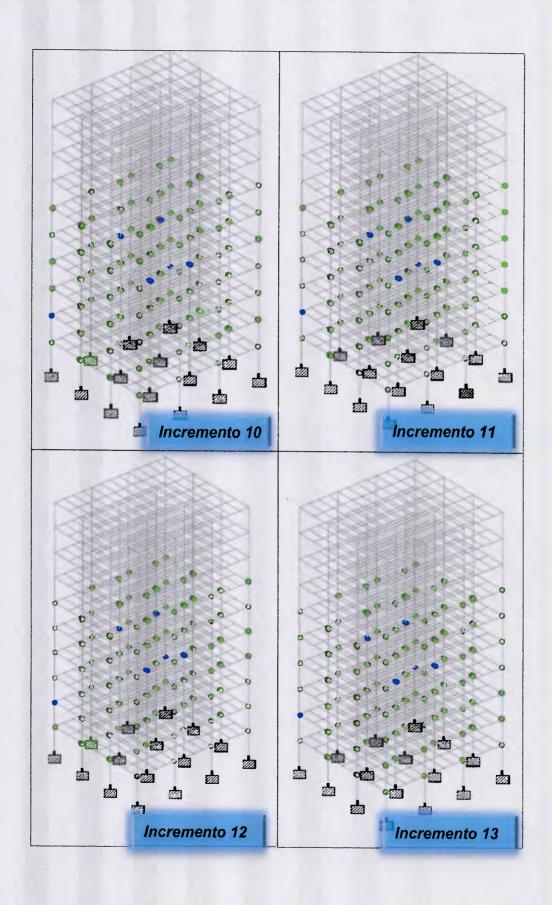
A continuación se muestran los valores tabulados de los factores R_{μ} , R_{ρ} , R_{Ω} , la secuencia de formación de las rótulas plásticas y las Curvas de Capacidad correspondientes a cada uno de los escenarios.

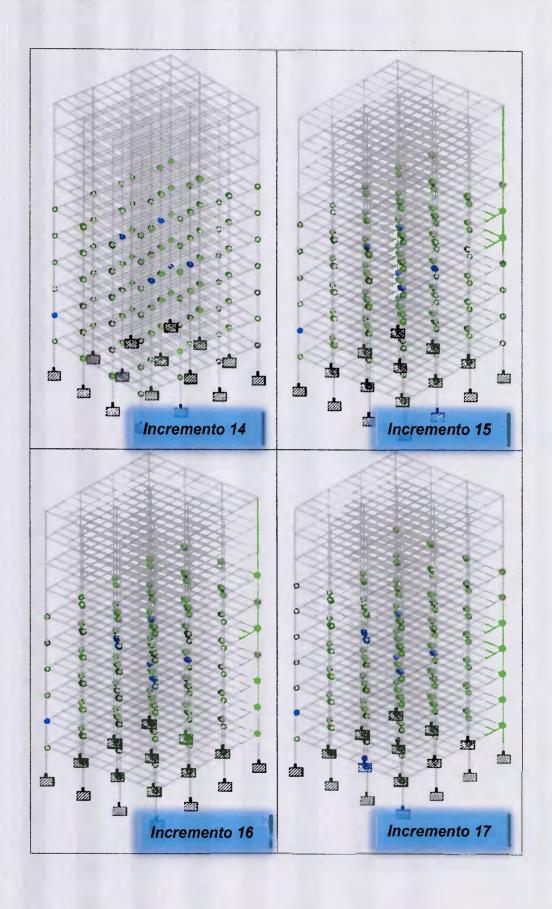
4.3.3.1. Escenario: Zona sísmica 5

Se aplicó en este caso de estudio los parámetros del espectro de diseño previsto para una zona sísmica 5, de acuerdo al procedimiento indicado en el aparte 7.2 de la norma COVENIN 1756_2001.









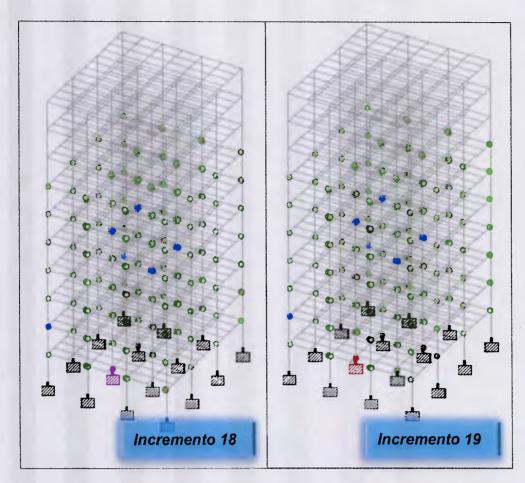


Figura N° 23 Secuencia de Plastificación de Caso de Estudio CE03-TPI-09P-ND3-Z5

Fuente: Elaboración propia- con asistencia del STAAD PRO

Tabla 31 Rótulas de la Estructura CE03-TPI-09P-ND3-Z5

	ROTULAS PLÁSTICAS - RANGO NO LINEAL								
Miembro	Dir (Local)	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación		
40	Z	0	<= IO	0	<= IO				
41	Z	0	<= IO	0	<= IO				
42	Z	0	<= IO	0	<= IO				
53	Z	0	<= IO	0	<= IO				
54	Z	0	<= IO	0	<= IO				
55	Z	0	<= 10	0	<= IO				
57	Z					65	<= IO		
64	Z					65	<= 10		
93	Z	0	<= 10						

	ROTULAS PLÁSTICAS - RANGO NO LINEAL									
Miembro	Dir (Local)	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación			
94	Z	0	<= IO							
112	Z	0	<= IO							
113	Z	0	<= IO							
129	Z	0	<= IO							
131	Z	0	<= IO							
239	Z	0	<= 10	0	<= IO					
240	Z	0	<= IO	0	<= IO					
241	Z	0	<= IO	0	<= IO					
252	Z	0	<= IO	0	<= 10					
253	Z	0	<= 10	0	<= IO					
254	Z	0	<= IO	0	<= IO					
256	Z	1				65	<= IO			
263	Z					65	<= IO			
292	Z	0	<= IO							
293	Z	0	<= IO							
311	Z	0	<= IO							
312	Z	0	<= IO							
328	Z	0	<= IO							
330	Z	0	<= IO							
435	Z	0	<= 10	0	<= 10					
436	Z	0	<= IO	0	<= IO					
437	Z	0	<= 10	0	<= 10					
448	Z	0	<= IO	0	<= 10					
449	Z	0	<= IO	0	<= 10					
450	Z	0	<= 10	0	<= IO					
452	Z					65	<= IO			
459	Z					65	<= 10			
488	Z	0	<= IO							
489	Z	0	<= 10							
507	Z	0	< = 10							
508	Z	0	<= 10							
524	Z	0	<= 10							
526	Z	0	<= 10							

		F	ROTULAS PL	ÁSTICAS - R	ANGO NO LI	NEAL	
Miembro	Dir (Local)	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación
631	Z	0	<= 10	0	<= 10		
632	Z	0	<= IO	0	<= 10		
633	Z	0	<= 10	0	<= 10		
644	Z	0	<= 10	0	<=10		
645	Z	0	<= 10	0	<= 10		
646	Z	0	<= 10	0	<= 10		
648	Z					65	<= iO
655	Z					65	<= iO
684	Z	0	<= 10				
685	Z	0	10 - LS	0	IO - LS		
703	Z	0	<= 10				
704	Z	0	IO-LS	0	10 - LS		
720	Z	0	<= IO				
722	Z	0	<= 10				
827	Z	0	<= IO	0	<= IO		
828	Z	0	<= 10	0	<= 10		
829	Z	0	<=10	0	<= 10		
840	Z	0	<= 10	0	<= IO		
841	Z	0	<= 10	0	<=10		
842	Z	0	<= iO	0	<= IO		
844	Z					65	<= 10
851	Z					65	<= 10
880	Z	0	<= 10				
881	Z	0	<=10				
899	Z	0	<= 10				
900	Z	0	<= iO				
916	Z	0	<= 10				
918	Z	0	<= IO				
1601	Z					225	<= 10
1606	Z					225	10 - LS
1612	Z					225	<= IO
1615	Z					225	10 - LS
1623	Z					225	<= 10
1635	Z					225	<= 10
1640	Z					225	<= 10
1643	Z					225	<= 10
1648	Z					225	<= IO

			ROTULAS PL	ÁSTICAS –F	RANGO NO L	INEAL	
Miembro	Dir (Local)	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación
1649	Z					225	<= 1O
1694	Z					225	<= IO
1699	Z					225	<= IO
1705	Z					225	<= IO
1708	Z					225	<= 10
1716	Z					225	10 - LS
1728	Z					225	10 - LS
1733	Z					225	<= IO
1736	Z					225	<= 10
1741	Z	ĺ				225	<= IO
1742	Z	1				225	<= IO
1787	Z	1	1			225	<= IO
1792	Z					225	<= 10
1798	Z					225	<= 10
1801	Z					225	<= 10
1809	Z					225	<= 10
1821	Z			1		225	<= IO
1826	Z	1				225	<= 10
1829	Z	1				225	<= IO
1834	Z	1				225	<= IO
1835	Z	1				225	<= IO
1880	Z	1	T			225	<= 10
1885	Z					225	<= 10
1891	Z	1				225	<= IO
1894	Z	1				225	<= IO
1902	Z	1				225	<= IO
1914	Z	1				225	<= 10
1919	Z					225	IO - LS
1922	Z	1				225	10 - LS
1927	Z					225	<= IO
1928	Z					225	<= IO
1973	Z	1				225	<= IO
1978	Z	1				225	<= 10
1984	Z	1				225	<= IO
1987	Z	1				225	<= 10
1995	Z	1				225	<= IO
2007	Z	†				225	<= IO

	ROTULAS PLÁSTICAS –RANGO NO LINEAL										
Miembro	Dir (Local)	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación				
2012	Z					225	<= 10				
2015	Z					225	<= 10				
2020	Z					225	<= 10				
2021	Z					225	<= i0				
2079	Y	0	<= 10								
2080	Y	0	>= CP								
2095	Y					300	<= 10				
2096	Y					300	<= 10				
2149	Y	0	<= 10			-					
2150	Y	0	>= CP								
2165	Y			-		300	<= 10				
2166	Y		+			300	<= 10				
2450	Y					300	<= 10				
2451	Y			+		300	<= 10				
2452	Y					300	<= 10				
2453	Y					300	<= 10				
2473	Z	0	<= 10	0	<= 10						
2474	Z	0	<= IO	0	<= 10		 				
2475	Z	0	<= 10	0	<= IO						
2486	Z	0	<=10	0	<= 10						
2487	Z	0	<= IO	0	<= IO						
2488	Z	0	<= 10	0	<= 10						
2489	Z	0		- 0	V=10	65	<= IO				
	Z					65	<= IO				
2491	Z	0	<= IO			- 03	7.0				
2516		0	<=10								
2517 2535	Z	0	<= 10								
		 	<= 10				·				
2536	Z	0	<= 10								
2551	 		<= 10								
2552	Z 7	0	= 10			225	<= 10				
2588	Z					225	<= IO				
2593	Z					225	<= 10				
2599	Z						<= IO				
2602	Z					225					
2610	Z					225	<= 10				
2622	Z					225	<= 10				
2627	Z					225	<= 10				

Miembro	Dir (Local)	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación
2630	Z					225	<= IO
2635	Z					225	<= 10
2636	Z					225	<= 10
2682	Y					300	<= 10
2683	Y					300	<= 10
2694	Y					300	<= IO
2695	Y					300	<= 10
2753	Υ					300	<= 10
2754	Υ					300	<= 10
2755	Y					300	<= 10
2756	Y					300	<= 10
2776	Z	0	<= 10	0	<= 10		
2777	Z	0	<= 10	0	<= IO		
2778	Z	0	<= 10	0	<= 1O		
2789	Z	0	<= 10	0	<= IO		
2790	Z	0	<= IO	0	<= 10		
2791	Z	0	<= IO	0	<= IO		
2819	Z	0	<= 10				
2820	Z	0	<= 10				
2838	Z	0	<= 10				
2839	Z	0	<= 10				
2854	Z	0	<= 10		-		
2855	Z	0	<= IO				
2930	Z					225	<= 10
2933	Z					225	<= IO
2938	Z					225	<= 10
2939	Z					225	<= 10
2985	Υ					300	<= 10
2986	Y					300	<= IO
2997	Υ					300	<= IO
2998	Υ					300	<= 10
# RO	TULAS PLÁ FORMADA		90		46		102

Fuente: Elaboración propia- con asistencia del STAAD PRO

Tabla 32 Datos de Curva de Capacidad Caso de Estudio CE03-TPI-09P-ND3-Z5

Pasos	Desplazamiento	Cortante	en la Base
Incremento Carga	(mm)	(kN)	(kgf)
1	0.00	0.00	0.00
2	36.24	4,662.11	4.57
3	165.06	21,236.41	20.83
4	353.16	44,817.80	43.95
5	404.78	48,943.62	48.00
6	469.22	51,861.64	50.86
7	526.70	53,524.26	52.49
8	572.98	54,589.07	53.53
9	612.27	55,437.04	54.37
10	650.36	56,232.86	55.15
11	696.23	57,003.05	55.90
12	737.31	57,622.01	56.51
13	775.79	58,177.66	57.05
14	813.17	58,710.44	57.58
15	851.83	59,236.23	58.09
16	890.52	59,738.28	58.58
17	926.52	60,217.35	59.05
18	966.08	60,708.92	59.54
19	975.39	60,823.61	59.65
20	975.39	40,176.14	39.40

Fuente: Elaboración propia- con asistencia del ETABS

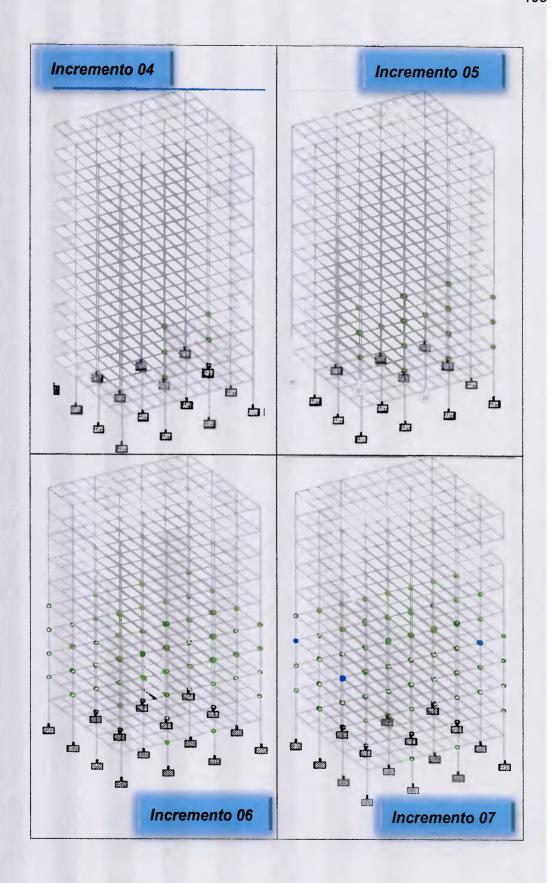


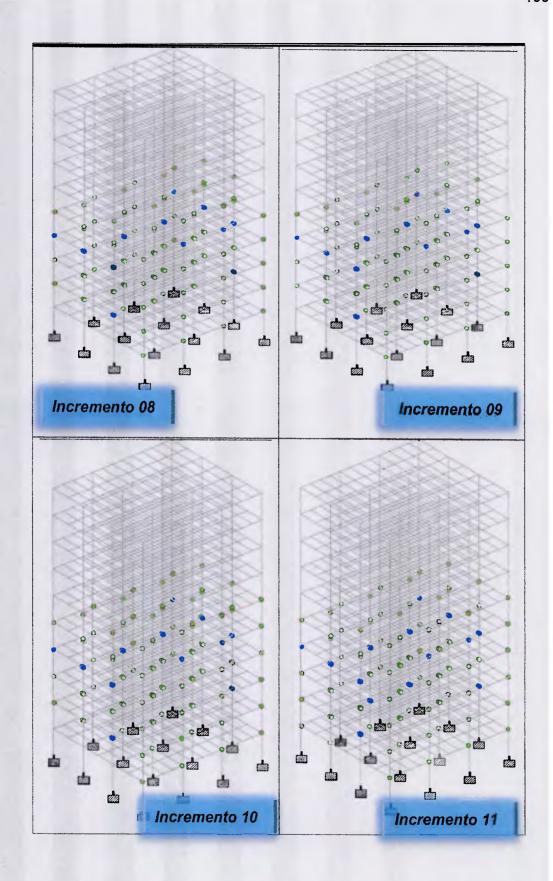
Figura N° 24 Curva de Capacidad Caso en Estudio CE03-TPI-09P-ND3-Z5

Fuente: Elaboración propia- con asistencia del ETABS

4.3.3.2. Escenario: Zona sísmica 6

Se aplicó, en el cálculo, los parámetros del espectro de diseño previsto para una zona sísmica 6, de acuerdo al procedimiento indicado en el aparte 7.2 de la norma COVENIN 1756 2001.





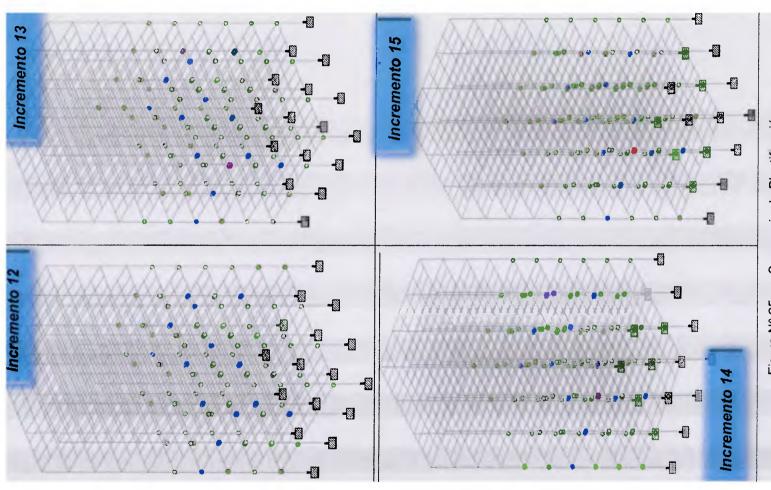


Figura N° 25 Secuencia de Plastificación Caso de Estudio CE03-TPI-09P-ND3-Z6 Fuente: Elaboración propia- con asistencia del STAAD PRO

Tabla 33 Rótulas Plásticas CE03-TPI-09P-ND3-Z6

			ROTULAS PL	ASTICAS -F	RANGO NO LI	NEAL	
Miembro	Dir (Local)	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación
40	Z	0	<= 10				
41	Z	0	<= IO	0	<= 10		
42	Z	0	<= 10	0	<= 10		
53	Z	0	<= 10				
54	Z	0	<= 10	0	<= 10		
55	Z	0	<= 10	0	<= 10		
57	Z					65	<= IO
64	Z					65	<= IO
93	Z	0	<= 10	0	<= 10		
94	Z	0	<= IO	0	<= 10		
112	Z	0	<= 10	0	<= 10		
113	Z	0	<= 10	0	<= 10		
129	Z	0	<= 10	0	<= 10		
131	Z	0	<= 10	0	<= IO		
239	Z	0	<= 1O				
240	Z	0	<= 10	0	<= 10		
241	Z	0	<= 10	0	<= 10)
252	Z	0	<= 10				
253	Z	0	<= 10	0	<= 10		
254	Z	0	<= 10	0	<= 10		
256	Z					65	LS-CP
263	Z					65	LS - CP
292	Z	0	<= 10	0	<= 10		
293	Z	0	<= 10	0	<= 10		
311	Z	0	<= 10	0	<= 10		
312	Z	0	<= IO	0	<= 10		
328	Z	0	<= 10	0	<= 10		
330	Z	0	<= IO	0	<= 10		
435	Z	0	<= IO				
436	Z	0	<= IO	0	<= IO		
437	Z	0	<= IO	0	<= 10		
448	Z	0	<= 10				
449	Z	0	<= 10	0	<= 10		
450	Z	0	<= 10	0	<= 10		
452	Z					65	<= 10

Tabla 33 Rótulas Plásticas CE03-TPI-09P-ND3-Z6 (continuación)

Miembro	Dir (Local)	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación
459	Z					65	<= 10
488	Z	0	<= 10	0	<= 10		
489	Z	0	<= 10	0	<= 10		
507	Z	0	<= 10	0	<= 10		
508	Z	0	<= 10	0	<= IO		
524	Z	0	<= IO	0	<= IO		
526	Z	0	<= 10	0	<= 10		
631	Z	0	<= 10				
632	Z	0	<= 10	0	<= IO		
633	Z	0	IO - LS	0	IO - LS		
644	Z	0	<= 10				
645	Z	0	<= IO	0	<= 10		
646	Z	0	10 - LS	0	10 - LS		
684	Z	0	<= 10	0	<= 10		
685	Z	0	<= 10	0	<= 10		
703	Z	0	<= 10	0	<=10		
704	Z	0	<= 10	0	<= 10		
720	Z	0	<= 10		1		
722	Z	0	<= 10				
794	Y	0	<= 10			300	<= 10
799	Υ	0	<= 10			300	<= 10
800	Υ					300	<= 10
805	Υ					300	<= 10
827	Z	0	<= IO				
840	Z	0	<= 10				
	ULAS PLA FORMADA	AS	54		40		12
	ROTULA STRUCTU		106				

Fuente: Elaboración propia- con asistencia del STAAD PRO

Tabla 34 Datos de Curva de Capacidad Caso de Estudio CE03-TPI-09P-ND3-Z6

Pasos	Desplazamiento	Cortante e	n la Base
Incremento Carga	(mm)	(kgf)	(kN)
1	0.00	0.00	0.00
2	17.65	4,257.43	4.18
3	89.23	21,528.67	21.11
4	332.32	79,991.65	78.45
5	352.37	84,073.58	82.45
6	373.96	87,678.51	85.98
7	410.24	90,647.39	88.89
8	443.90	92,115.50	90.33
9	465.43	92,901.09	91.10
10	484.57	93,558.67	91.75
11	503.33	94,178.56	92.36
12	521.42	94,774.40	92.94
13	541.20	95,368.73	93.52
14	559.92	95,911.39	94.06
15	578.01	96,434.76	94.57
16	596.05	96,956.70	95.08
17	596.05	94,325.80	92.50
18	618.09	96,072.40	94.21
19	659.77	97,136.76	95,26
20	687.48	97,841.36	95.95
21	687.48	89,789.13	88.05
22	710.04	90,909.71	89.15
23	710.04	53,285.51	52.26

Fuente: Elaboración propia- con asistencia del ETABS

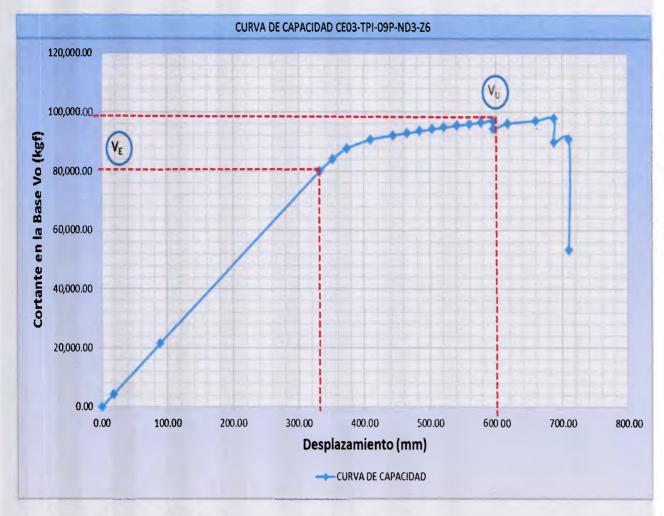
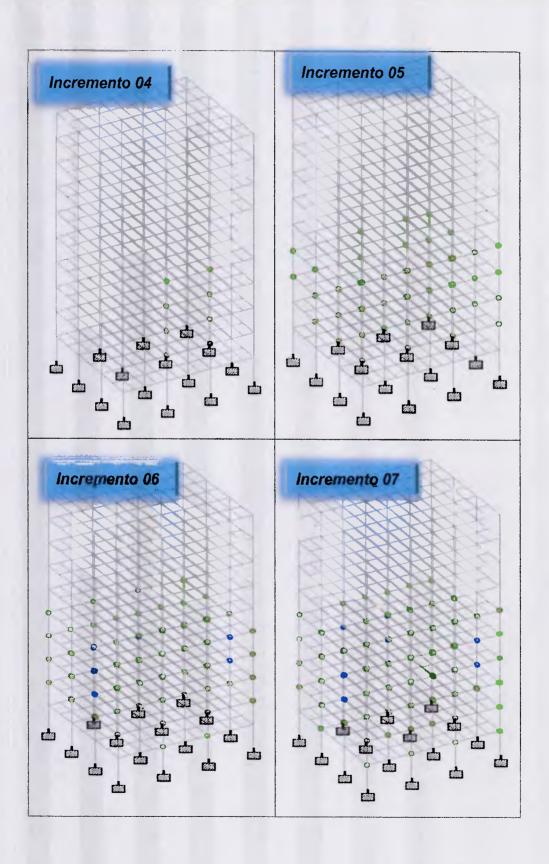


Figura N° 26 Curva de Capacidad Caso en Estudio CE03-TPI-09P-ND3-Z6

Fuente: Elaboración propia- con asistencia del ETABS

4.3.3.3. Escenario: Zona sísmica 7

Se aplicó, en el cálculo, los parámetros del espectro de diseño previsto para una zona sísmica 7, de acuerdo al procedimiento indicado en el aparte 7.2 de la norma COVENIN 1756_2001.



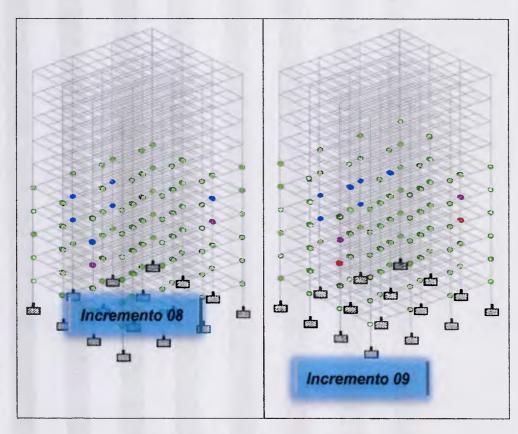


Figura N° 27 Secuencia de Plastificación de Caso de Estudio CE03-TPI-09P-ND3

Fuente: Elaboración propia- con asistencia del STAAD PRO

Tabla 35 Rótulas Plásticas CE03-TPI-09P-ND3-Z7

		RC	TULAS PLÁST	TICAS -RAN	GO NO LIN	EAL	
Miembro	Dir (Local)	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de ceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación
40	Z	0	<= iO	0	<= IO		
41	Z	0	<= IO	0	<= IO		
42	Z	0	<= IO	0	<= IO		
53	Z	0	<= IO	0	<= 10		
54	Z	0	<= IO	0	<= 10		
55	Z	0	<= IO	0	<= IO		
93	Z	0	<= 10	0	<= IO		
94	Z	0	<= IO	0	<=10		
112	Z	0	<= 1O	0	<= IO		
113	Z	0	<= IO	0	<= IO		

Tabla 36 Rótulas Plásticas CE03-TPI-09P-ND3-Z7 (continuación)

	ROTULAS PLÁSTICAS –RANGO NO LINEAL									
Miembro	Dir (Local)	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación			
29	Z	0	<= 10							
131	Z	0	<= 10							
239	Z	0	<= 10	0	<= 10					
240	Z	0	<= 10	0	<= 10					
241	Z	0	<= IO	0	<= 10					
252	Z	0	<= 10	0	<= 10					
253	Z	0	<= IO	0	<= IO					
256	Z					65	<= 10			
263	Z					65	< = 10			
292	Z	0	<= IO	0	<= 10					
293	Z	0	<= IO	0	<= 10					
311	Z	0	<=10	0	<= 10					
312	Z	0	<= 10	0	<= 10					
328	Z	0	<=10	0	<= 10					
330	Z	0	<= 10	0	<= 10					
435	Z	0	<=10	0	<= 10					
436	Z	0	<= 10	0	<= 10					
437	Z	0	<= 10	0	<= 10					
448	Z	0	<=10	0	<= IO					
449	Z	0	<= 10	0	<= 10					
450	Z	0	<= 10	0	<=10					
452	Z					65	>= CP			
459	Z					65	>= CP			
488	Z	0	<= 1O	0	<= 10					
489	Z	0	<= IO	0	<= 10					
507	Z	0	<= IO	0	<= IO					
508	Z	0	<= 10	0	<= 10					
524	Z	0	<= 10	0	<= 10					
526	Z	0	<= 10	0	<= IO					
631	Z	0	<= IO							
632	Z	0	<= 10	0	<= IO					
633	Z	0	<= IO	0	<= 10					
644	Z	0	<= 10							
645	Z	0	<= 10	0	<= 10					

Tabla 37 Rótulas Plásticas CE03-TPI-09P-ND3-Z7 (continuación)

			ROTULAS PL	ÁSTICAS –R.	ANGO NO LIN	IEAL	
Miembro	Dir (Local)	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación
645	Z	0	<= 10	0	<= IO		
646	Z	0	<= 10	0	<= IO		
648	Z					65	LS - CP
655	Z					65	LS - CP
684	Z	0	<= IO	0	<= IO		
685	Z	0	<= IO	0	<= IO		
703	Z	0	<= IO	0	<= IO		
704	Z	0	<= IO	0	<= IO		
720	Z	0	<= 10				
722	Z	0	<= IO				
827	Z	0	<= IO				
828	Z	0	<= IO	0	<= 1O		
829	Z	0	<= IO	0	<= IO		
840	Z	0	<= 1O				
841	Z	0	<= IO	0	<= IO		
842	Z	0	<= IO	0	<= 10		
844	Z					65	<= IO
851	Z					65	<= 10
880	Z	0	<= 1O	0	<= 10		
881	Z	0	<= 1O	0	<= 10		
899	Z	0	<= IO	0	<= IO		
900	Z	0	<= IO	0	<= 10		
916	Z	0	<= IO				
918	Z	0	<= 10				
1601	Z					225	<= IO
1606	Z			†		225	IO - LS
1612	Z					225	<= 10
1615	Z					225	IO - LS
1623	Z					225	<= IO
1635	Z					225	<= IO
1640	Z					225	<= IO
1643	Z					225	<= 10
1648	Z					225	<= IO
1649	Z					225	<= IO
1694	Z					225	<= IO
1699	Z					225	<= IO
1705	Z					225	<= 10
1708	Z					225	<= IO
1716	z					225	<= IO
1728	Z					225	<= IO
1733	z	THE PERSON NAMED IN COLUMN 1				225	<= 10

Tabla 35 Rótulas Plásticas CE03-TPI-09P-ND3-Z7 (continuación)

	ROTULAS PLÁSTICAS –RANGO NO LINEAL									
Miembro	Dir (Local)	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicació n (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación			
1736	Z					225	<= 10			
1741	Z					225	10 - LS			
1742	Z					225	IO - LS			
1787	Z					225	<= 10			
1792	Z					225	<= 10			
1798	Z					225	<= 10			
1801	Z					225	<= 10			
1809	Z					225	<= IO			
1821	Z					225	<= IO			
1826	Z					225	<= IO			
1.829	Z					225	<= IO			
1834	Z					225	IO - LS			
1.835	Z					225	10 - LS			
1880	Z					225	<= IO			
1885	Z					225	<= IO			
1891	Z					225	<= IO			
1894	Z					225	<= IO			
1902	Z					225	<= 10			
1914	Z					225	<= 10			
1919	Z					225	<= 10			
1922	Z					225	<= 10			
1927	Z					225	<= IO			
1928	Z					225	<= IO			
2012	Z					225	<= IO			
2015	Z					225	<= 10			
2452	Y					300	<= IO			
2453	Y					300	<= IO			
2473	Z	0	<= 10							
2475	Z	0	<= 10	0	<= 10					
2486	Z	0	<= 10							
2488	Z	0	<= 10	0	<= 10					
2516	Z	0	<= IO	0	<= 10					
2517	Z	0	<= 10	0	<= IO					
2535	Z	0	<= IO	0	<= 10					
2536	Z	0	<= 10	0	<= 10					

Tabla 35 Rótulas Plásticas CE03-TPI-09P-ND3-Z7 (continuación)

	ROTULAS PLÁSTICAS –RANGO NO LINEAL												
Miembro	Dir (Local)	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación	Ubicación (mm)	Criterio de Aceptación						
2551	Z	0	<= IO										
2552	Z	0	<= 10										
2627	Z					225	<= 10						
2630	Z					225	<= 10						
2635	Z					225	<= 10						
2636	Z					225	<= IO						
#ROTULA	S PLÁSTICAS	FORMADAS	70		56		64						
TOTAL F	ROTULAS DE	L PORTICO	190										

Fuente: Elaboración propia- con asistencia del STAAD PRO

Tabla 38 Datos de Curva de Capacidad Caso de Estudio CE03-TPI-09P-ND3-Z7

Pasos Incremento	Desplazamiento	Cortante e	en la Base	
Carga	(mm)	(kgf)	(kN)	
1	0.00	0.00	0.00	
2	28.49	7,694.52	7.55	
3	153.19	41,377.73	40.58	
4	304.21	81,675.39	80.10	
5	349.45	88,931.15	87.21	
6	417.77	93,548.56	91.74	
7	458.37	95,511.16	93.66	
8	488.84	96,916.84	95.04	
9	520.55	98,258.94	96.36	
10	550.03	99,490.93	97.57	
11	550.03	96,603.70	94.74	
12	558.15	95,202.72	93.36	
13	599.89	97,126.35	95.25	
14	599.89	95,509.07	93.66	
15	648.17	99,061.51	97.15	
16	648.17	97,173.49	95.29	
17	685.79	99,950.94	98.02	
18	685.79	97,963.98	96.07	
19	730.97	101,028.79	99.08	
20	730.97	100,667.45	98.72	

Fuente: Elaboración propia- con asistencia del ETABS



Figura N° 28 Curva de Capacidad Caso en Estudio CE03-TPI-09P-ND3-Z7

Fuente: Elaboración propia- con asistencia del ETABS

4.4. Resultados del Análisis

Los resultados del análisis de los Casos en Estudio se muestran resumidos en las Tablas desde la 37 a la 40. Las Figuras desde la 29 a la 31 muestran los resultados obtenidos en el presente estudio para los factor de ductilidad R_{μ} , redundancia R_{ρ} , y sobre resistencia R_{Ω} , graficados comparativamente con el valor de R obtenido de la Norma COVENIN.

Las Figuras 32 y 33 muestran los valores consolidados de R calculados, graficados comparativamente con el valor de R obtenido de la Norma COVENIN.

El Factor de Reducción de Respuesta R obtenido para la estructura de 4 niveles presenta valores aproximados al valor de R indicado por COVENIN; y siempre menores que este; mientras que para las edificaciones de 6 y 10 niveles, se presentan diferencias importantes, siempre por encima del valor tabulado.

Tabla 39 Resultados de Factor de Reducción por Ductilidad Rμ

N°	EDIFICICACIÓN	ZONA	PORTI	DIREC	h (m)	R	V_e	V_{μ}	$R_{\mu} = \frac{V_e}{V_{\mu}}$
		SISMICA	со	-CION		COVENIN	(kN)	(kN)	V_{μ}
1		5	P2	+Z	12	6	36,941.16	50,636.59	0.730
2	CE01-TPI-03P- ND3	6	P2	+Z	12	6	49,567.30	57,781.92	0.858
3		7	P2	+Z	12	6	74,467.68	78,878.90	0.944
4		5	P2	+2	21	6	47,408.82	65,516.52	0.724
5	CE02-TPI-06P- ND3	6	P2	+Z	21	6	82,345.29	108,756.11	0.757
6		7	P2	+Z	21	6	81,038.69	115,212.72	0.703
7		5	P2	+Z	30	6	44,817.80	60,823.61	0.737
8	CE03-TPI-09P- ND3	6	P2	+Z	30	6	79,991.65	97,841.35	0.818
9		7	P2	+Z	30	6	81,675.39	99,950.94	0.817

Tabla 40 Resultados de Factor de Reducción por Sobre Resistencia RΩ

N°	EDIFICIACIÓN	ZONA	DIREC-	h	R	V_D	V_{μ}	$R_{\Omega} = \frac{V_{\mu}}{V}$
N	EDIFICIACION	SISMICA	CION	(m)	COVENIN	(kN)	(kN)	$N_{\Omega} - V_{D}$
1		5	+Z	12	6	16,892.81	50,636.59	2.998
2	CE01-TPI-03P- ND3	6	+Z	12	6	21,420.38	57,781.92	2.698
3		7	+Z	12	6	24,672.07	78,878.90	3.197
4		5	+Z	21	6	24,203.75	65,516.52	2.707
5	CE02-TPI-06P- ND3	6	+Z	21	6	32,743.15	108,756.11	3.321
6		7	+Z	21	6	36,351.35	115,212.72	3.169
7		5	+Z	30	6	31,625.39	60,823.61	1.923
8	CE03-TPI-09P- ND3	6	+Z	30	6	37,761.69	97,841.35	2.591
9		7	+Z	30	6	43,419.47	99,950.94	2.302

Tabla 41 Resultados de Factor de Reducción por Redundancia Rρ

N°	EDIFICIO	ZONA SISMICA	DIREC- CION	h (m)	R covenin	n	m	¹ / _n	$\frac{1}{m-1}$	$r_v\sqrt{\frac{1}{n}*\frac{1}{m-1}}$	$r_s = \frac{M_{\mu}}{M_{y}}$	$r_{S} \left[\frac{R_{\rho}}{1 - 0.12 r_{v}} \right]$
1		5	+Z	12	6	76	4	0.013	0.333	0.066	1.622	1.707
2	CE01-TPI- 03P-ND3	6	+Z	12	6	32	4	0.031	0.333	0.102	1.803	1.815
3		7	+Z	12	6	32	4	0.031	0.333	0.102	1.849	1.861
4		5	+Z	21	6	192	7	0.005	0.167	0.029	6.439	7.075
5	CEO2-TPI- 06P-ND3	6	+Z	21	6	125	7	0.008	0.167	0.037	6.145	6.697
6		7	+Z	21	6	174	7	0.006	0.167	0.031	6.184	6.784
7		5	+Z	30	6	238	10	0.004	0.111	0.022	6.895	7.646
8	CE03-TPI- 09P-ND3	6	+Z	30	6	106	10	0.009	0.111	0.032	4.573	5.008
9		7	+Z	30	6	190	10	0.005	0.111	0.024	6.623	7.322

Tabla 42 Resultados de Factores de Reducción de Repuesta $\,R\,$

N°	EDIFICIO	ZONA SISMICA	DIREC- CION	h (m)	R COVENIN	R_{μ}	R_{Ω}	$R_{ ho}$	R	% Variación
1		5	+Z	12	6	0.730	2.998	1.707	3.732	-38%
2	CE01-TPI- 03P-ND3	6	+Z	12	6	0.858	2.698	1.815	4.199	-30%
3		7	+Z	12	6	0.944	3.197	1.861	5.616	-6%
4		5	+Z	21	6	0.724	2.707	7.075	13.858	131%
5	CE02-TPI- 06P-ND3	6	+Z	21	6	0.757	3.321	6.697	16.842	181%
6		7	+Z	21	6	0.703	2.496	6.184	10.855	81%
7		5	+Z	30	6	0.737	1.923	7.646	10.835	81%
8	CE03-TPI- 09P-ND3	6	+Z	30	6	0.818	2.591	5.008	10.609	77%
9		7	+Z	30	6	0.817	2.302	7.322	13.774	130%

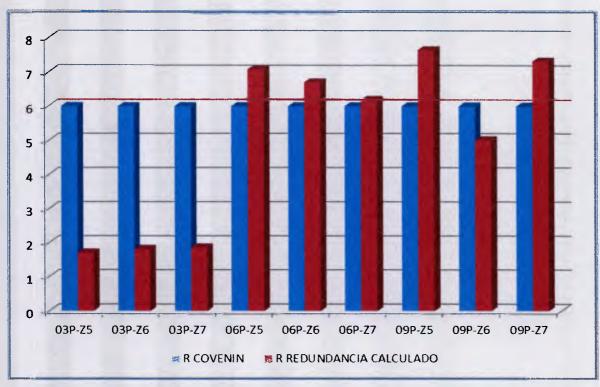


Figura N° 31 Gráfica de valores R Reducción por Redundancia Calculados Vs R Tabulados por COVENIN

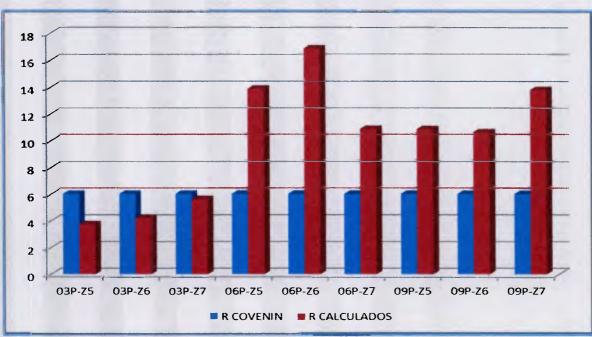


Figura N° 32 Gráfica de valores R Reducción Totales Calculados Vs R Tabulados por COVENIN Fuente: Elaboración propia

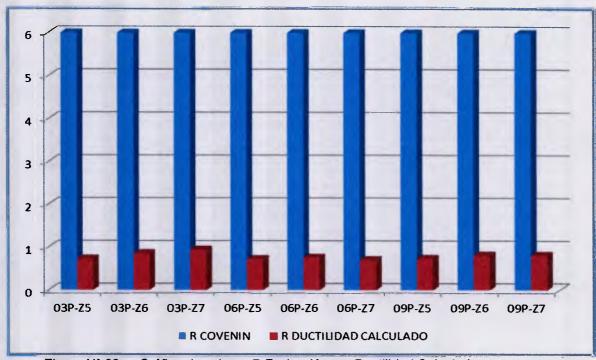


Figura N° 29 Gráfica de valores R Reducción por Ductilidad Calculados Vs R Tabulados por COVENIN

Fuente: Elaboración propia

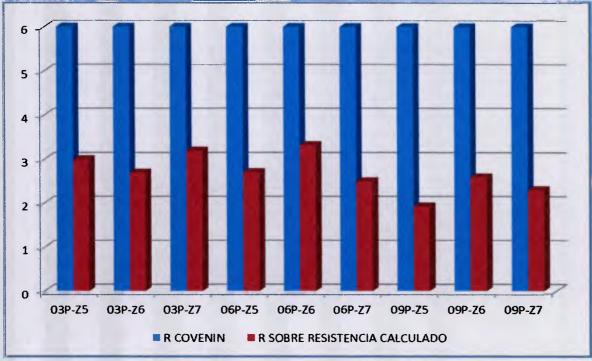


Figura N° 30 Gráfica de valores R Reducción por Sobre Resistencia Calculados Vs R Tabulados por COVENIN

Fuente: Elaboración propia

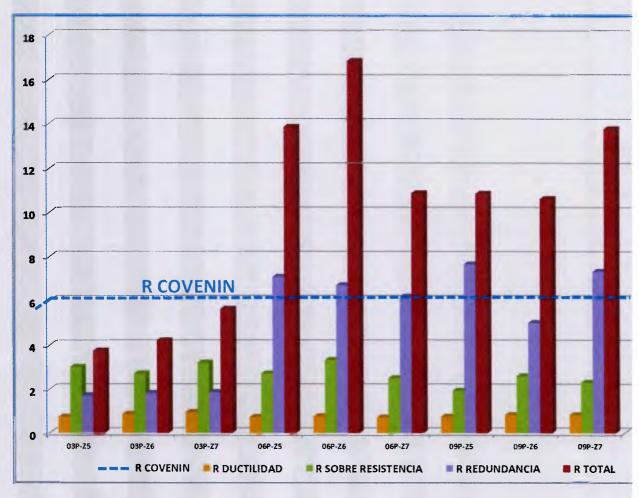


Figura N° 33 Gráfica de Factores Reducción de Ductilidad, Sobre Resistencia, Redundancia y Totales Calculados Vs. R Tabulados por COVENIN

CONCLUSIONES

- Los valores del Factor de Reducción de Respuesta R obtenidos como resultado del presente estudio, muestran diferencias importantes que permiten concluir que los valores de R indicados en la Norma COVENIN, no sólo no están vigentes, sino que deben ser revisados en función de parámetros de estudio más actuales y cónsonos con los nuevos materiales, tecnología de punta y los avances de los programas de cálculo, que han permitido incursionar en metodologías de diseño que se aproximan a las condiciones reales del comportamiento estructural.
- Del presente estudio se puede concluir que los factores que mayor incidencia tiene en la variación del Factor de Reducción de Respuesta R son los de Sobrerresistencia y Redundancia.
- Los valores mínimos y máximos del Factor de Reducción de Respuesta R
 están en el orden de los valores establecidos en las normas norteamericanas.
 De hecho en el AISC Seismic Manual, se establece que R = 3 Systems not specifically detailed for seismic resistance.
- Los edificios bajos, menores a 12 m de altura, presentaron valores de R por debajo de seis (06), mientras que, las edificaciones altas (mayores a 12 m de altura) presentaron valores de R superiores a seis (06), concluyéndose que son más seguras que las bajas, entre otra cosa porque su diseño lo controla más la desplazabilidad que la resistencia, y porque las normas se mantienen conservadoras.
- La consideración del fenómeno de Respuesta No Lineal de la estructura, demuestra que la elección de los Factores de Reducción de Respuesta está sujeta a varios parámetros, lo que valida lo inconveniente que resulta someter las fuerzas de diseño a reducciones realizadas con factores basados en las experiencias pasadas o en estudios estadísticos no vigentes, tal como lo establece la Norma COVENIN actual.
- Es necesario determinar los Factores de Reducción de respuesta R correspondientes a los diferentes niveles de desempeño estructural. Esto permitirá actualizar los métodos basados en resistencia y enfocarlos hacia un diseño con control de resistencias y desplazamientos.

RECOMENDACIONES

- Actualizar el enfoque del diseño de la Norma COVENIN 1756:2001, incorporando la aplicación modelos matemáticos y herramientas computarizadas actualizadas, que permitan determinar los Factores de Reducción de Respuesta en forma más precisa, y por ende, conlleven a disminuir o eliminar incertidumbres, a fin de tener una estimación más acertada del comportamiento estructural con miras a mejorar los diseños.
- Evaluar la posibilidad de utilizar valores de R menores en edificaciones bajas, de hasta doce metros (12 m) de altura, tomando en consideración otros aspectos tales como, la zonificación sísmica, redundancia, así como aspectos de propio de las construcción tales como Sistemas Constructivos, Control y Aseguramiento de la Calidad, sección de los perfiles realmente utilizados y otros.

REFERENCIAS

- Aguiar, R. y Herrería, S. (2007). "Trabajos realizados para Determinar el Factor de Reducción de las Fuerzas Sísmicas por Ductilidad". XIX Jornadas Nacionales de Ingeniería Estructural. Universidad Nacional del Chimborazo, 13-27, Riobamba.
- Aguiar, R. y Mora, P. (2007). "Sobre resistencia global en función de la deriva máxima de piso", Il Congreso de Ciencia y Tecnología, Escuela Politécnica del Ejército, pp.1-19, Quito, Ecuador.
- Aguiar, R., Guadalupe, M. y Mora, P. (2007b). "Comparación de la sobre resistencia global en función de la deriva máxima de piso en edificios de dos y tres vanos", Il Congreso de Ciencia y Tecnología, Escuela Politécnica del Ejército, pp. 73-86, Quito, Ecuador.
- Aguiar, R. y Torres, F. (2007). "Sobre resistencia local y global en función de la deriva máxima de piso en edificios de hormigón armado sin muros de corte", aceptado para su publicación en Revista del Colegio de Ingenieros Civiles de Manabí, 11 p., Portoviejo, Ecuador.
- Aguiar, R. (2007). "Propuestas sobre el factor de reducción de resistencia por ductilidad", enviado para su posible publicación en el Boletín del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad Central de Venezuela, 25 p.
- Arias, F. (1999). "El proyecto de investigación. Guía para su elaboración". Caracas: Episteme.
- ATC-19 (1995). "Structural Response Modification Factors", Applied Technology Council, Redwood City, California.
- Balestrini, M. (2002). "Como se elabora un proyecto de investigación". Caracas: BL Consultores Asociados, Servicio Editorial.
- Chopra, A., & Goel, R. (2002). "A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings". Earthquake EngngStruct. Dyn. 31, 561–582.
- COVENIN (1988). "Criterios y acciones mínimas para el proyecto de edificaciones". Norma Venezolana COVENIN 2002:88. Ministerio de Desarrollo Urbano, FUNVISIS, Caracas, Venezuela.
- COVENIN (2001). "Edificaciones sismorresistentes". Norma Venezolana COVENIN 1756:2001. Ministerio de Desarrollo Urbano, FUNVISIS, Caracas, Venezuela.

COVENIN. (1998). "Estructuras de Acero para edificaciones. Método de los Estados Límites". Norma Venezolana COVENIN 1618:98. Caracas: COVENIN.

COVENIN. (1998). "Terminología de las normas COVENIN-MINDUR de edificaciones". Norma Venezolana COVENIN 2004:98. Caracas: COVENIN.

Elnashai, A., & Mwafy, M. (2002). "Overstrength and force reduction factors of multistorey reinforced-concrete buildings". Struct. Design Tall Build. 11, 329–351.

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (1997) "Metodología de la Investigación" McGraw - Hill Interamericana de México, S.A. de C.V.

Malaver, A. (2000). "La amenaza sísmica en Venezuela". Il Seminario internacional de ingeniería sísmica (págs. 1-17). Caracas: Universidad Católica Andrés Bello.

Montaña Peña, M. A., (2010), "Análisis "Push-Over" de Edificios con Pórticos de Acero en Bogotá". Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña

Sabino, C. (1996). "El proceso de investigación". Buenos Aires: Lumen-Humanitas.

Seismostruct User Manual (2007), programa SeismoStruct, versión v5.0.5, desarrollado por la empresa SeismoSoft.

Valencia Restrepo, D, y Valencia Clement, G., (2007). "Evaluación del coeficiente de disipación de energía, R, para algunos tipos de estructuras de acero". Revista Ingeniería e Investigación Vol. 28 No. 1, Abril De 2008 (41-49)

Vamvatsikos, D., & Cornell, C. (2002). "Incremental dynamic analysis". Earthquake EngngStruct.Dyn. 31, 491–514.

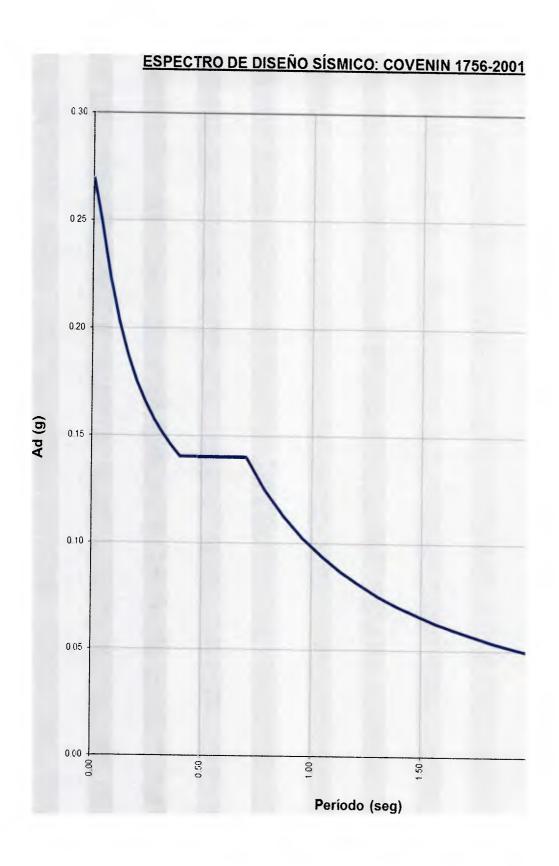
Vielma, J.C., Barbat, A. y Oller, S. (2006). "Factores de reducción de respuesta. Estado del arte y estudios comparativos entre códigos", Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras, Centro de Investigaciones Científicas, Escuela Politécnica del Ejército, Vol. 11, N° 1, pp. 77-106.

Vielma, J. C., Lobo Q., W., y Rivero, P., (2005). "Factores de reducción de respuesta por ductilidad de estructuras con comportamiento no lineal", Revista Ingeniería UC, Universidad de Carabobo, Vol. 12, N° 002, pp. 14-22.



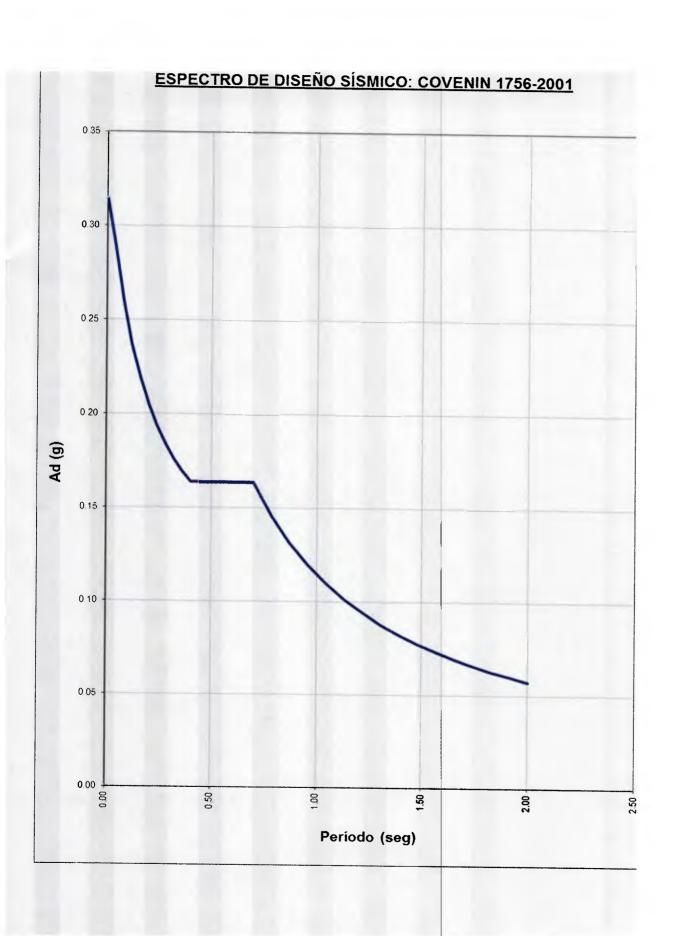


T (s)	T <t<sup>+</t<sup>	T ⁺ ≤ T ≤ T	T > T*
	Expres. (7.1)	Expres. (7.2)	Expres. (7.3)
COVENIN 1756 2001	$Ad = \frac{\alpha \sigma A \sigma \left[1 + \frac{T}{T^{-}}(\beta - 1)\right]}{1 - \left[\frac{T}{T^{-}}(R - 1)\right]}$	$Ad = \frac{\alpha \varphi \beta Ao}{R}$	$Ad = \frac{\alpha \varphi \beta \sigma^*}{R} \frac{T^*}{T}$
0.00	0.270		X 1
0.04	0.247	and the second s	
0.08	0.223	The state of the s	
0.12	0.203	CONTRACTOR OF THE STATE OF THE	And the William of the Control of th
0.16	0.188	Section 2 and 2 an	
0.20	0.176		
0.24	0.166		
0.28	0.158		references minutes a property of the second
0.32	0.151		
0.36	0.145		
0.40	0.140	0.140	
0.42		0.140	
0.44		0.140	
0.46		0.140	
0.48		0.140	
0.50		0.140	
0.52		0.140	
0.54		0.140	
0.56		0.140	
0.58		0.140	
0.60		0.140	
0.62		0.140	
0.64		0.140	g, told the server of the second designation
0.66	No	0.140	The state of the s
0.68		0.140	The state of the s
0.70		0.140	0.140
0.79			0.125
0.87	And the second s	A FAA	0.113
0.96			0.102
1.05			0.094
1.13			0.087
1.22			0.081
1.31		- Lagrangia and an annual control of the state of the sta	0.075
1.39		erms with both to recommend the best and an analysis of the control of the contro	0.071
1.48			0.066
1.57		um nitta niira ja miininina araada an maa kaanninnin niitainis suguranis suusus susassi su	0.063
1.65	And the second s	errore errorenser errorense errorense errorense errorense errorense errorense errorense errorense errorense er	0.059
1.74		el Misse d'Ari destrit, alle miss promone 🕒 (AMA autoristant) prise	0.056
1.83		от и пулк тополитительностиполительного по подажения по тобо и тобо подажения	0.054
1.91		9(4) - 1 (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (0.051
2.00			0.049





T (s)	T <t<sup>+</t<sup>	$T^{+} \leq T \leq T$	T > T*
	Expres. (7.1)	Expres. (7.2)	Expres. (7.3)
COVENIN 1756 2001	$Ad = \frac{\alpha o Ao \left[1 + \frac{T}{T^{-}}(\beta - 1)\right]}{1 + \left(\frac{T}{T^{-}}\right)^{\beta}(R - 1)}$	$Ad = \frac{\alpha \varphi \beta Ao}{R}$	$Ad = \frac{\alpha \varphi \beta \sigma^*}{R} \left[\frac{T^*}{T} \right]$
0.00	0.315		
0.04	0.289		
0.08	0.260		
0.12	0.237	NAMERO DE PROPERTO DE LA COMPANSA DE LA COMPANSA DE LA COMPANSA DE LA COMPANSA DE LA COMPANSA DE LA COMPANSA D	
0.16	0.219		t
0.20	0.205		
0.24	0.193	ge aftergren e series ausgeste temperature i i man en reunen gewenne de autoppe septem	The state of the s
0.28	0.184		
0.32	0.176		P-1-11071111
0.36	0.170		
0.40	0.164		0.164
0.42			0.164
0.44			0.164
0.46			0.164
0.48			0.164
0.50			0.164
0.52			0.164
0.54			0.164
0.56			0.164
0.58		0.164	1
0.60		0.164	
0.62		0.164	
0.64		0.164	
0.66		0.164	
0.68		the same and	0.164
0.70		No. of Control of Cont	0.164
0.79			
0.87			
0.96			
1.05		Tributaria and the second seco	0.110
1.13			0.101
1.22			0.094
1.31			0.088
1.39	T	Allowing which discriminates and a second minimal the Allowald Science and	0.082
1.48		HULLINGS OF THE COLUMN STATE OF THE PARTY OF	0.077
1.57	A material and a second	DOUBLE AND AND AND AND AND AND AND AND AND AND	0.073
1.65			0.069
1.74			0.066
1.83		· and a figure of the second s	0.063
1.91 2.00	- William Continues on A restrict amount and a service of the continues of	AND WARRY TO THE PARTY OF THE P	0.060





T (s)	CTRO DE DISEÑO SIS	T ⁺ < T < T*	T > T*
	Expres. (7.1)	Expres. (7.2)	Expres. (7.3)
COVENIN 1756 2001	$Ad = \frac{\alpha o Ao \left[1 + \frac{T}{T^{-}}(\beta - 1)\right]}{1 + \left[\frac{T}{T^{-}}\right](R - 1)}$	$Ad = \frac{\alpha \varphi \beta Ao}{R}$	$Ad = \frac{\alpha \varphi \beta \sigma^*}{R} \left[\frac{T^*}{T} \right]$
0.00	0.360		
0.04	0.330	and the second s	
0.08	0.297	and the second s	The state of the s
0.12	0.271	and efficiently to the same desirement of the same of	
0.16	0.250		
0.20	0.234	Copper	
0.24	0.221		
0.28	0.210	***************************************	
0.32	0.201		
0.36	0.194	AMERICAN AND THE STORY OF PRODUCE AND PROPERTY OF THE PROPERTY	service in the service of the servic
0.40	0.187	0.187	AND THE PERSON OF THE PERSON O
0.42		0.187	udend sammensusensusensus tilget resultering using till depletion
0.44	Through the state of the state	0.187	Na
0.46	The state of the s	0.187	Herenand Herenand Herenand Herenand Herenand Herenand Herenand Herenand Herenand Herenand Herenand Herenand He
0.48	MANAGEMENT OF THE CONTROL OF THE CON	0.187	
0.50		0.187	
0.52		0.187	
0.54		0.187	
0.56	WHITE CONTROL	0.187	Almost quarter and a secondary
0.58	And the second s	0.187	and Market and the b
0.60	Management 11 A contract and a second	0.187	
0.62	Mariania de la companya del la companya de la compa	0.187	LATITUDE.
0.64		0.187	i i i i i i i i i i i i i i i i i i i
0.66		0.187	
0.68		0.187	
0.70		0.187	0.187
0.79			0.167
0.87		Programmer and	0.150
0.96	VII 4 AVAINABLE DE LA COMPANIA DEL COMPANIA DEL COMPANIA DE LA COM	North shopping at the party of	0.137
1.05		- 10-	0.125
1.13		- Control of the Cont	0.116
1.22			0.107
1.31			0.100
1.39			0.094
1.48			0.089
1.57	and the second s	AND THE PARTY OF T	0.084
1.65	agent the companion of the second control of the second se	and the second s	0.079
1.74	Tel minute descriptions	ky kao makko kisyy op sy sakanaspodobanjamonjoh kolonogo, mysteliji	0.075
1.83	The state of the s	months demonstrated " = them = makes are a security with the constraint of the const	0.072
1.91		un automorphismo ne protocolorus — un necombosmico un activo est, ga de nuse un terro activo al man	0.068
2.00			0.066

