



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE REFORZAMIENTO PARA
VIVIENDAS DE AUTOCONSTRUCCIÓN”**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO CIVIL

REALIZADO POR

PIERRAL ASCASO, Jean-Claude José

PROFESOR GUÍA

Ing. ECHEZURIA, Heriberto

FECHA

22 de Junio del 2016



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**“ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE REFORZAMIENTO PARA
VIVIENDAS DE AUTOCONSTRUCCIÓN”**

**Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado
su contenido con el
resultado: _____**

JURADO EXAMINADOR

Firma:

Firma:

Firma:

Nombre: _____

Nombre: _____

Nombre: _____

REALIZADO POR

PIERRAL ASCASO, Jean-Claude José

PROFESOR GUÍA

Ing. ECHEZURIA, Heriberto

FECHA

22 de Junio del2016



ÍNDICE

ÍNDICE.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:.....	2
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
2.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
2.4 ALCANCES.....	6
2.5 LIMITACIONES	7
3. MARCO METODOLÓGICO.....	7
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	7
3.2 POBLACIÓN A ESTUDIAR.....	7
3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	8
3.4 TÉCNICAS PARA EL ANÁLISIS DE DATOS.....	8
4. MARCO TEÓRICO	9
4.1 ANTECEDENTES.....	9
4.2 REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS	11
4.3 ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL (PUSHOVER).....	17
4.4 FORMACIÓN DE ROTULAS PLÁSTICAS.....	20
4.5 MÉTODO FEMA-356	20
4.6 MÉTODO MPA.....	23
4.7 MÉTODO ATC-40	23
4.8 COVENIN 1756:2001 Y ACI 318-08.....	25



4.9	PARÁMETROS DE LA CONSTRUCCIÓN	25
4.9.1	Errores De Diseño De Mezcla	26
4.9.2	Errores De Área Efectiva De Acero	27
4.9.3	Parámetros Utilizados En La Construcción Irregular	28
4.10	GLOSARIO	31
5.	REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	36
5.1	DESCRIPCIÓN DE LAS EDIFICACIONES	36
5.1.1	CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES	39
5.1.2	VALORES DE CARGA	39
5.1.3	GEOMETRÍA Y ESTADO	43
5.2	DIAFRAGMAS RÍGIDOS	44
5.3	ASIGNACIÓN DE GRUPOS	45
5.4	FUERZA CORTANTE BASAL	46
5.5	PUSHOVER (ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL)	46
5.6	USO DEL PROGRAMA SAP2000	47
5.7	NODO DE CONTROL	48
5.8	COMBINACIÓN DE CARGA	49
5.9	CARGA LATERAL	49
5.10	ZONAS DE PLASTIFICACIÓN	49
5.11	CRITERIOS DE DISCRETIZACIÓN	53
5.12	MODELADO Y PROCESAMIENTO	54
5.12.1	DEFINICIÓN DE PATRONES DE CARGA	54
5.12.2	Definición De Casos De Carga	54
5.12.3	Asignación de Rótulas Plásticas	58
6.	ANÁLISIS Y REVISIÓN DE LOS RESULTADOS	60
6.1	VIVIENDA EN LA ACTUALIDAD	60
6.2	REFORZAMIENTO DE LA VIVIENDA	63
6.2.1	Vivienda Nro.1	63



6.2.2 Vivienda Nro.2	73
7. CONCLUSIONES	86
8. RECOMENDACIONES.....	89
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Foto satelital de las comunidades Las Clavellinas, Ojo de Agua y Monterey.	8
Figura 2 Arriostramiento. Fuente: Internet	12
Figura 3 Muros de Concreto Reforzado. Fuente: Interne	13
Figura 4. Encamisado de Acero. Fuente: Internet	14
Figura 5. Contrafuerte. Fuente: Internet	15
Figura 6. Placas Metálicas en columna. Fuente: Internet	15
Figura 7. Refuerzo con Materiales FRP. Fuente: Internet	16
Figura 8. Procedimiento Pushover, para la determinación de la curva de capacidad. Fuente: Recopilación del autor	19
Figura 9. Curva Fuerza-Desplazamiento. Fuente: FEMA 356	21
Figura 10. Curva Fuerza-Desplazamiento. Fuente: FEMA 356	24
Figura 14. Diafragmas. Fuente: SAP2000	44
Figura 15. Grupos. Fuente: SAP2000	45
Figura 16. Nodos de la estructura. Fuente: SAP2000	48
Figura 17. Curvas Fuerza vs desplazamiento, considerando o no la participacion de elementos primarios y/o secundarios. Fuente: FEMA 356	50
Figura 18. Parámetros, vigas de concreto reforzado. Fuente: FEMA356.....	51
Figura 19. Parámetros, columnas de concreto reforzado. Fuente: FEMA356.....	52
Figura 20. Esfuerzos en pórtico sometido a cargas laterales. Fuente: Propia.....	53
Figura 21. Patrones de carga. Fuente: SAP2000	54
Figura 22. Casos de Carga. Fuente: SAP2000.....	55
Figura 23. Definición de carga gravitaciona Estático No-Lineal. Fuente: SAP2000	56



Figura 25. Asignación de rótulas plásticas en vigas. Fuente: SAP2000	58
Figura 26. Asignación de rótulas plásticas en columnas. Fuente: SAP2000	59



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cortante Basal. Fuente: Propia	46
Tabla 2. Ductilidad, estado actual. Fuente: Propia	63
Tabla 3. PR Viv. 1, arriostrada perfiles I. Fuente: Propia.....	64
Tabla 4. Ductilidad Viv. 1 arriostrada perfiles I. Fuente: Propia.....	65
Tabla 5. PR Viv. 1 Muro nivel piso. Fuente: Propia	66
Tabla 6. PR Viv. 1 Muro en pórtico. Fuente: Propia	67
Tabla 7. PR Viv. 1 Muro nivel piso y pórtico. Fuente: Propia	67
Tabla 8. PR Viv. 1 Vigas de riostra Fuente: Propia.....	68
Tabla 9. Ductilidad Viv. 1 Vigas de riostra. Fuente: Propia.....	69
Tabla 10. PR Viv. 1 Combinación vigas de riostra, placas metálicas Fuente: Propia	71
Tabla 11. Ductilidad Viv. 1 Combinación vigas de riostra, placas metálicas Fuente: Propia	71
Tabla 12. PR Viv. 1 Diagonales. Fuente: Propia	72
Tabla 13. PR Viv.2 , arriostrada perfiles I . Fuente: Propia.....	74
Tabla 14. Ductilidad Viv.2 , arriostrada perfiles I . Fuente: Propia.....	74
Tabla 15. PR Viv.2 , Muros nivel de suelo . Fuente: Propia	75
Tabla 16. PR Viv.2 , Muros en pórtico . Fuente: Propia	76
Tabla 17. PR Viv.2 , Muros nivel de suelo y pórticos. Fuente: Propia	77
Tabla 18. PR Viv. 2 vigas de riostra Fuente: Propia.....	78
Tabla 19. Ductilidad Viv. 2 vigas de riostra Fuente: Propia.....	79



Tabla 20. PR Viv. 2 Combinacion vigas de riostra y placas metálicasFuente: Propia	81
Tabla 21. Ductilidad Viv. 2 Combinacion vigas de riostra y placas metálicasFuente: Propia .	81
Tabla 22. PR Viv. 1 Diagonales. Fuente: Propia	82



SINOPSIS

En el presente trabajo se estudió el comportamiento de dos viviendas características de un sector popular de Caracas, específicamente en el callejón las Clavellinas del barrio Monterrey ubicado en el Municipio Baruta de Caracas Dichas viviendas son de concreto armado y cuentan con un sistema estructural del tipo aporticado. Una vez evaluado el desempeño de las viviendas atendiendo a su curva de capacidad obtenida con el método de carga estática incremental o “push over”, las mismas fueron reforzadas y se volvió a analizar su desempeño para establecer el efecto de cada reforzamiento. A tal efecto, se compararon los desplazamientos y las fuerzas cortantes para las condiciones actuales (sin mejoras) y las obtenidas con los reforzamientos. Adicionalmente, se comparó el desempeño con el que debería tener una vivienda de ese tipo según la norma COVENIN 1756-01.

Para realizar este análisis se utilizó el software SAP2000, en el cual se aplicaba el método de análisis estático no lineal “Pushover”. De esta manera se obtuvo la curva de desempeño de la estructura en la que se se aprecia la disipación de energía, mediante el desplazamiento que tiene la estructura al aplicarle una fuerza lateral. También se observa, en dicha curva, en qué momento se forman las rótulas plásticas en la estructura, donde ocurren las mismas y el nivel de desempeño según la FEMA 356. De la misma manera con los códigos FEMA 356 y ATC-40 se obtiene el punto de desempeño el cual es el máximo que esperado durante un sismo para la vivienda.

Para el modelaje de las viviendas se consideró la calidad de los materiales que usaron los constructores, tomando como resistencia del concreto $f'c = 140 \frac{Kg}{cm^2}$ y del acero de $2.800 \frac{Kg}{cm^2}$.



1. INTRODUCCIÓN

En Venezuela, no menos de 50% de la población del país habita en barrios y la construcción de dichas viviendas sigue aumentando, producto del alto costo del suelo urbanizado, entre otros factores.

Existen muchos textos que intentan influir en el diseño de las mismas, guiando a los lectores de modo que ejecuten una obra que cumpla con los requisitos mínimos como ejemplo destaca el “Manual del constructor popular” de Luis López, aunque estos trabajos ofrece lineamientos muy útiles en la construcción de viviendas unifamiliares, su uso disminuye drásticamente frente a proyectos más grandes como lo son las viviendas multifamiliares, las cuales serán estudiadas en esta investigación.

En estos proyectos se ve como los pobladores de las viviendas anexan varios pisos adicionales buscando más comodidad o debido a que aumenta la cantidad de inquilinos, y se pasa de tener una vivienda de un piso a una de tres pisos hasta 6 pisos.

En la construcción de dichas viviendas nos encontramos con que no hay diseños estructurales de las casas, uso de concreto pobre, longitudes de transferencias que no cumplen con los valores mínimos permitidos, dimensiones de los elementos estructurales que no se corresponden con las demandas, el acero de refuerzo insuficiente, se incumplen las normas de diseño vigentes del país (esto principalmente por el desconocimiento), no hay supervisión de una persona especializada.

En consecuencia, estas viviendas presentan fallas en la estructura y fundaciones, producto de un diseño con las fallas antes mencionadas, lo cual las hace altamente vulnerables a fenómenos naturales como los sismos. Debido a lo anterior, consideramos conveniente estudiar el desempeño de estas viviendas ante sollicitaciones sísmicas. Para ello se utilizó un análisis no lineal estático “Pushover”, con el fin de obtener una visualización



general del comportamiento de la edificación ante sismos y así obtener, que elementos estructurales son los más vulnerables.

Por otra parte, también se estudio si es factible el reforzamiento de estos hogares para prevenir la movilización de comunidades enteras. De allí que en este trabajo se estudiaron varias formas potenciales de realizar el reforzamiento de algunas vivienda típicas vulnerables de un sector de bajos ingresos de la ciudad, tomando en cuenta el factor económico, las encuestas que se le realizaron a los constructores de dichas viviendas y la utilización de programas de diseño y modelaje, de la estructura con el reforzamiento para verificar su desempeño.

Esto se plantea debido a que las viviendas construidas en los barrios de la ciudad de Caracas constituyen un patrimonio con valor social y económico que significa gran esfuerzo por parte de quienes los habitan.

La idea es mejorar la estructura de manera que permita una mayor calidad de vida dentro de la realidad socioeconómica que vivimos.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

El objetivo de esta investigación es buscar el mejor método de reforzamiento para un tipo de viviendas construidas con métodos de autoconstrucción que se frecuentan en los estratos socioeconómicos medio-bajo (C) y bajo (D). De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), con cifras del censo de Población y Vivienda del año 2001, se estima que son el 53% de las viviendas a nivel nacional, las cuales están habitadas por más de 12 millones de personas, lo cual refleja un problema serio que se ha venido incrementando con el pasar de los años.

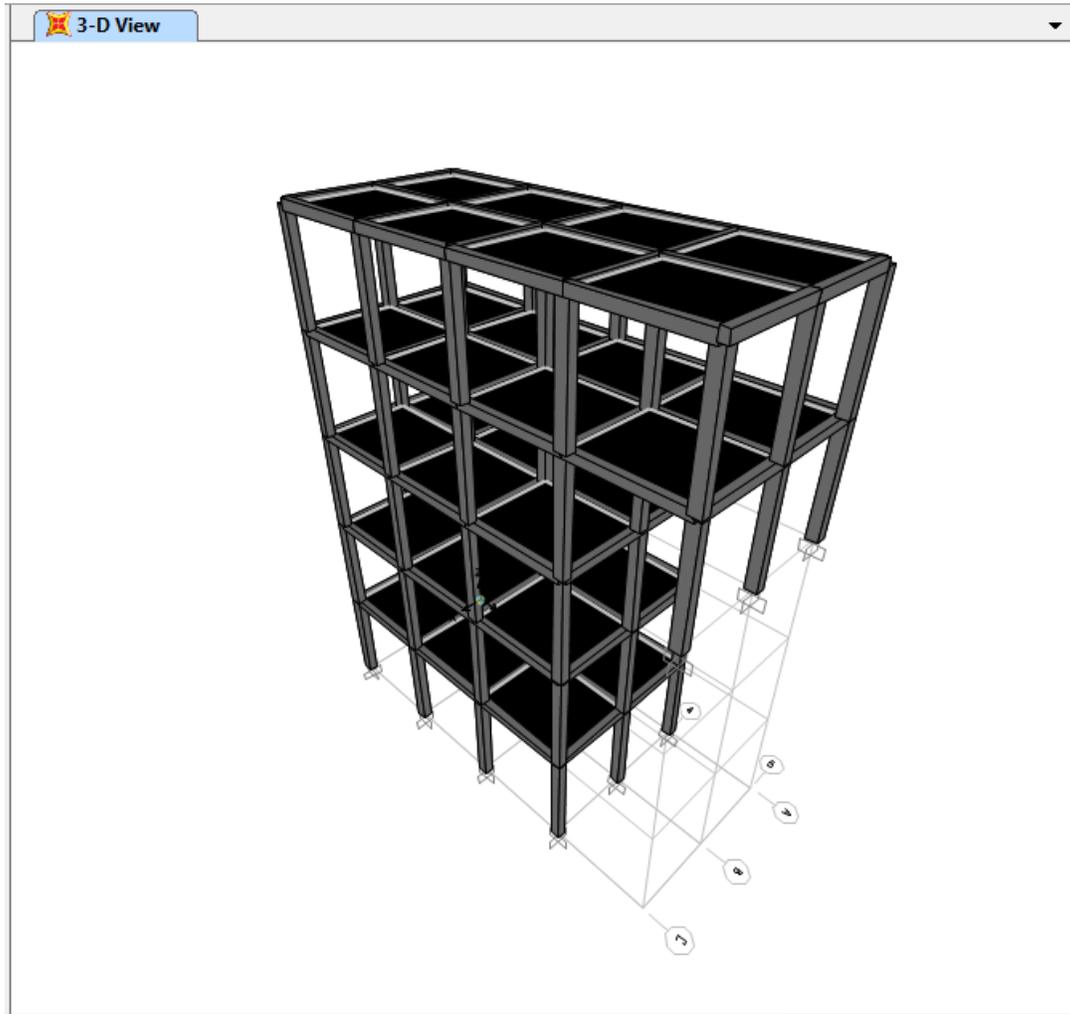
En resumen, se estima que siete de cada diez fueron construidas por los propios habitantes los cuales no están capacitados para diseñarlas, que aplican métodos constructivos



deficientes y sin estudio previo, y que las mismas están ubicadas en sitios de alto riesgo. Ahora bien, considerando también que Venezuela está ubicada en una provincia sísmica con actividad moderada, con capacidad de generar sismos de magnitud 7 o más en algunas regiones, la falla o peor aún, el colapso de estas estructuras resultan altamente probables. En ese escenario, se acarrearían pérdidas humanas, materiales y económicas, lo cual convierte ese problema en una seria amenaza para la vida de sus habitantes y para las autoridades civiles a cargo de garantizar su seguridad ante este tipo de eventos.

Las viviendas que se estudiarán son aporticadas y están condicionadas por el número de niveles, la disponibilidad de los materiales de construcción y también por el nivel de capacitación de sus constructores. Todo este conjunto de factores afectan el grado de vulnerabilidad de las viviendas. Es por esto que como estudiante de ingeniería civil me siento atraído hacia este estudio, dado a que en Venezuela nos encontramos con muchos asentamientos humanos no controlados, en los cuales no hay presencia de los entes capacitados.

En consecuencia de lo anterior surgen las siguientes interrogantes ¿En qué estado se encuentran estas viviendas?, ¿Cómo se puede mejorar la estructura para evitar su colapso? Ahora bien, como son tan numerosas estas viviendas se escogió una vivienda cuyo modelo es muy utilizado en el Municipio Baruta de Caracas, en particular en el barrio Monterey, específicamente en el callejón las Clavellinas, como se muestra a continuación:



Por otra parte, dado que en nuestro país existen muchos estudios del comportamiento de paredes con mampostería con distintos tipos de construcción pero muy limitados sobre el reforzamiento o mejoramiento de viviendas construidas con métodos convencionales de autoconstrucción, en este trabajo se evalúan y se seleccionan varios métodos de reforzamiento, buscando el más viable para estos sectores, para disminuir las probabilidades del posibles colapsos.



2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar distintos métodos de reforzamiento aplicables a estructuras aporticadas con tabiquería, para una vivienda típica sísmicamente vulnerable con altura entre 3 y 6 niveles ubicada en un sector popular de Caracas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar las tendencias constructivas utilizadas por la población en la zona estudiada.
- Analizar las condiciones en las que se encuentra la vivienda seleccionada.
- Evaluar el desempeño de la edificación utilizando el método estático no lineal o “Pushover”.
- Plantear los métodos de reforzamiento más recomendables para la estructura en estudio y evaluar los desempeños de la edificación reforzada mediante análisis estático no lineal.
- Seleccionar la solución más conveniente de aquellas analizadas para reforzar estas viviendas.

2.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Este estudio quiere más allá del hecho de encontrar el reforzamiento más viable para la vivienda típica de una comunidad, por una parte, motivar futuras investigaciones orientadas al reforzamiento de las viviendas de autoconstrucción que se da en Venezuela. Por otra parte, este trabajo también se orienta a la motivación de los sectores responsables de los diseños en la búsqueda de soluciones con miras a mejorar los métodos de constructivos para reducir el riesgo frente al aumento del uso de la autoconstrucción, no solo en los sectores de clase baja sino también en los de clase media.



La investigación emana de la obligación que siento como futuro ingeniero civil de aportar conocimientos sobre la amenaza constante en que se encuentran las comunidades que presentan estas viviendas y peor aún el aumento de las mismas, sin la supervisión de un ente capacitado que pueda instruir a los constructores.

Porque lamentablemente es una realidad que afronta el país, y en cuanto a esto se podrían tomar varias decisiones que van desde el desplazamiento de los pobladores para la demolición de las estructuras o el mejoramiento de estas haciendo disminuir los riesgos a los que están expuestos sus habitantes.

Por esto se justifica hacer un estudio comparativo realizando simulaciones en programas, sobre como varia la calidad de la estructura disminuyendo los riesgos a los que esta se ve expuesta, a fin de disminuir o evitar el acarreo de pérdidas tanto humanas como económicas que conllevaría el colapso de dichas viviendas.

2.4 ALCANCES

- Definir las características de los materiales (concreto y acero)
- Obtener la curva de capacidad de la vivienda en sus condiciones actuales.
- Seleccionar varios métodos de reforzamiento y proponer la forma de aplicarlos para la realización de análisis de desempeño de las viviendas.
- Obtener las curvas de capacidades de la viviendas con los reforzamientos.
- Comparar las capacidades y desempeños con y sin refuerzos.
- Seleccionar el método de reforzamiento más conveniente para estas viviendas, tomando en cuenta tanto el desempeño de la edificación como el grupo socioeconómico en el que se desarrollan.



2.5 LIMITACIONES

- El estudio se realizará a viviendas entre 3 y 6 niveles.
- En el estudio no se contemplan los estudios de suelos, instalaciones sanitarias, ni otras instalaciones para edificios.
- No se realizará el reforzamiento de las fundaciones, ni serán analizadas.
- No se considera el aporte de la mampostería a la resistencia de la edificación.
- El estudio no puede incluir detalle del diseño sísmoresistente (como longitudes de desarrollo y anclaje del acero de refuerzo) en el análisis, por esta razón este estudio se limita a evaluar el estado actual de las edificaciones y con el supuesto reforzamiento.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de estudio, por tratarse de un análisis del comportamiento de una estructura frente a la demanda sísmica mediante el uso del programa SAP2000, aplicando el método Análisis Estático No Lineal Pushover, se enmarca dentro de una investigación del tipo analítica y/o proyectiva, la que consiste en la elaboración de una propuesta o de un modelo, para buscar solución a un problema o necesidad.

3.2 POBLACIÓN A ESTUDIAR

La comunidad en la cual se desarrollará el estudio es en Monterrey, callejón las Clavellinas, Baruta. Punto de referencia, frente al Colegio Fe y Alegría de Monterrey, que en sus cercanías tiene a la comunidad del callejón Montecristo, y Ojo de Agua. En las fotografías siguientes se muestra una serie de detalles detectados con relación a la calidad de la construcción que afectarían el desempeño de estas viviendas.

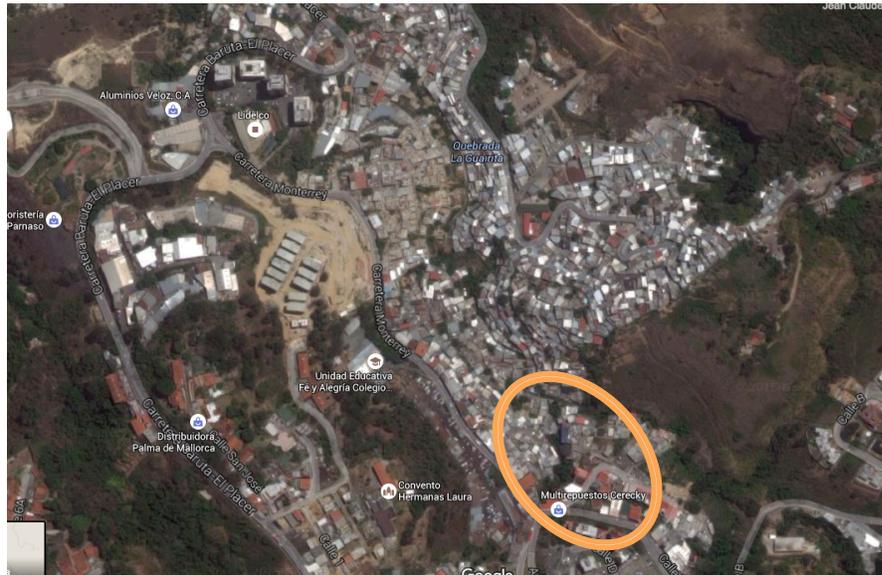


Figura 1 Foto satelital de las comunidades Las Clavellinas, Ojo de Agua y Monterey.

Fuente: Google Earth

3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

En función de los objetivos definidos en el presente estudio, se emplearán una serie de instrumentos y técnicas de recolección de la información, orientadas para alcanzar los fines propuestos como lo fue la elaboración de una encuesta para realizarla en la comunidad a estudiar, en varias visitas y encuentros con los habitantes y maestros de obra de la zona.

3.4 TÉCNICAS PARA EL ANÁLISIS DE DATOS

La técnica de análisis de datos representa la forma de cómo será procesada la información recopilada para la investigación bien sea cualitativa o cuantitativa.

Debido al alcance de esta investigación, se utilizarán ambas técnicas de análisis de datos, el análisis cualitativo para la recolección y clasificación de datos a través de la bibliografía consultada y los criterios obtenidos de las encuestas realizadas. La técnica cuantitativa se usará, en la utilización de programas de análisis y cálculo estructural.



4. MARCO TEÓRICO

4.1 ANTECEDENTES

- De las investigaciones que se han realizado con anterioridad sobre la vulnerabilidad de viviendas en las clases socioeconómicas C y D, se cita el trabajo especial de grado de Miguel Gástelo y William Zambrano (2012), presentado ante la Universidad Católica Andrés Bello, Cuyo título es:

“Caracterización de factores de vulnerabilidad estructural en viviendas de carácter utilitario desarrolladas por grupos de estratos sociales C y D”

En este trabajo se estudiaron los factores de vulnerabilidad, dando a conocer las deficiencias tanto en los métodos constructivos como en los de diseño, y otorgando un grado de vulnerabilidad.

Hay que destacar que este ensayo es de carácter cualitativo a diferencia del que se ha desarrollado en este trabajo, el cual es de carácter analítico y cuantitativo.

Este trabajo especial de grado puede considerarse como una extensión del estudio realizado por Gástelo y Zambrano (2012), aunque se realizó en una comunidad distinta pero con los mismos factores socioeconómicos.

- También se cita el trabajo de Charles Kotzer Marian, presentado ante la Universidad Central de Venezuela, que tiene como título:

“Evaluación del comportamiento estructural de la edificación NORESTE 3, ubicada en las instalaciones PDVSA-INTEVEP”.

En dicho trabajo se analizó la estructura señalada mediante la utilización del método Pushover.

- El trabajo de investigación de Valentina Páez el cual tiene como título:



“Curvas de fragilidad en dos tipologías de viviendas populares en Caracas”

El cual evalúa la vulnerabilidad de las viviendas, el efecto de la incorporación de las paredes de relleno y su aporte a la rigidez y resistencia de la estructura.

- La investigación realizada por Oscar López y Gianina Del Re Ruiz que tiene como título:

“Evaluación de los métodos de análisis estático no-lineal para determinar la demanda sísmica en estructuras aporricadas de concreto armado”

Dedicada a evaluar varios procedimientos simplificados para la determinación de la demanda que introducen los sismos a la estructura.

- Estudio realizado por Anil Chopra y Rakesh Goel, titulado:

“A modal pushover procedure to estimate seismic demands for buildings: Theory and preliminary evaluation”

El cual es una combinación de las metodologías de análisis dinámico no lineal y estático no lineal, el procedimiento presenta una solución a las deficiencias de análisis Pushover tradicional y toma en cuenta el aporte de todos los modos de vibración.



4.2 REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS

El reforzamiento de estructuras está dirigido a incrementar la capacidad de carga y serviciabilidad de una estructura.

Se realiza cuando existen nuevas sollicitaciones como errores en el diseño o defectuosa mano de obra durante el proceso constructivo.

Ahora, porqué hay que reforzar una estructura:

- Cambio de uso, como consecuencia cambio de cargas.
- Actualización de la normativa del país.
- Diseño deficiente.
- Daños estructurales por acciones accidentales.
- Errores en la construcción.

Se considera que hay dos tipos de intervenciones, que son: la preventiva que tiene como objetivo disminuir la vulnerabilidad de los elementos de la estructura y actualización de la normativa vigente, y la correctiva la cual busca restituir las condiciones originales en elementos dañados y mejorar su comportamiento.

Métodos

Los métodos de reforzamiento pueden causar cambios en la rigidez, ductilidad y amortiguamiento de los edificios.

- Incremento de la Rigidez: se logra con la adición de muros cortantes, adición de pórticos, refuerzo de vigas, entre otros.
- Incremento de la Ductilidad: se logra con la reducción de la carga permanente, adición de muros cortantes, refuerzo de vigas, entre otros.



Sistemas

Los sistemas de reforzamiento estructural que incrementan la resistencia y/o rigidez de la estructura son: arriostramientos metálicos, pantallas de concreto reforzado, encamisado en concreto reforzado, encamisado metálico, platinas metálicas, adición de perfiles metálicos, contrafuertes, y mediante el uso de materiales compuestos por FRP.

- Arriostramiento metálicos: son elementos provisionales cuya función es la de rigidizar o estabilizar una estructura mediante el uso de elementos que impidan el desplazamiento o deformación de la misma.



Figura 2 Arriostramiento. Fuente: Internet



- Muros de concreto reforzado: paredes de una edificación que poseen función estructural; es decir, aquellas que soportan otros elementos estructurales del edificio.

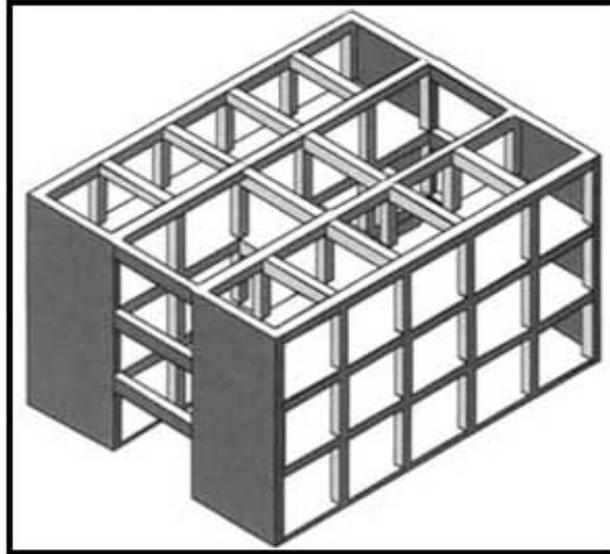


Figura 3 Muros de Concreto Reforzado. Fuente: Interne

- Adición de perfiles Metálicos: consiste en la adición de chapas o perfiles de acero, que trabajarán con la estructura, garantizando una adecuada transmisión de cargas mediante la unión de los perfiles.



- Encamisados: proceso en el que la estructura original se envuelve con una corona de hormigón, metálica o de FRP, que incorpora una nueva armadura que dará continuidad al soporte y conectará elástico el nuevo elemento de refuerzo con los elementos estructurales horizontales.



Figura 4. Encamisado de Acero. Fuente: Internet



- Contrafuertes: también llamado estribo, es un engrosamiento puntual de un muro, normalmente hacia el exterior, usado para transmitir las cargas a las fundaciones.



Figura 5. Contrafuerte. Fuente: Internet

- Placas Metálicas: son bandas de acero que se adhieren a la estructura por medio de pernos los cuales se requieren para transmitir las fuerzas a la viga.



Figura 6. Placas Metálicas en columna. Fuente: Internet



- Materiales compuestos FRP: son materiales compuestos a base de polímeros reforzados con fibras. La fibra es la que absorbe los esfuerzos de tracción en la dirección axial de la misma. Estos materiales tienen importantes funciones como: aportar resistencia a tracción y aporta rigidez.



Figura 7. Refuerzo con Materiales FRP. Fuente: Internet

También existen métodos que modifican la respuesta de la estructura, pero para fines de este estudio no serán considerados.

Para mejorar la capacidad sísmoresistente de los elementos de una edificación, se usan los siguientes métodos:



- En cuanto a la ductilidad, evitando la falla frágil por fuerza cortante aumentando la sección de la columna añadiendo una malla de alambre soldado o añadiendo estribos soldados.
- Rigideces, se aplica donde la distribución de fuerzas cortantes es desigual debido a muros de relleno y se logra separando los muros.
- Aumentar la capacidad a flexión se consigue aumentando el refuerzo longitudinal del miembro.

Al momento de reforzar hay que considerar que, la resistencia de los nuevos materiales no tengan una resistencia menor a la de los materiales existentes, el espesor de la envoltura no debe ser menor a 4 cm cuando se aplica concreto a presión (shotconcrete) y no menor a 8 cm para aplicaciones de concreto vaciado normalmente, el refuerzo superior e inferior deberá ser continuo y tiene que ser anclado en la zona de la columna cumpliendo con la longitud de desarrollo necesaria

En la rehabilitación de edificios de viviendas se tiende generalmente a la reutilización del sistema constructivo existente. Las operaciones más frecuentes son, por tanto, las dirigidas a la consolidación, reparación y refuerzo de la estructura original.

4.3 ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL (PUSHOVER)

El Análisis Estático No Lineal o Análisis Pushover es una metodología que sirve para determinar la respuesta no lineal de la estructura, en la cual se calculan los valores máximos de cualquier respuesta de la edificación y refleja cómo van fallando los elementos. El procedimiento se puede resumir en lo siguiente: inicialmente la estructura sin rótulas es expuesta a fuerzas laterales hasta que algunos elementos alcancen su límite elástico, luego la estructura es modificada para tomar en cuenta la resistencia reducida de elementos donde su capacidad ha sido rebasada y se han producido rótulas. Una distribución de fuerzas laterales es otra vez aplicada hasta que en elementos adicionales se produzcan rótulas. Este proceso se



continúa hasta que la estructura se vuelve inestable o hasta que un predeterminado límite sea alcanzado.

El análisis tiene como base dos conceptos primordiales: La capacidad y la demanda. La primera puede entenderse como una característica propia de la edificación que depende de factores como la geometría de los elementos, la cantidad de refuerzo, las propiedades de los materiales como: Rigidez y ductilidad, entre otras. La demanda depende de la provincia sísmica y se puede expresar mediante un sismo con período de retorno particular, representado mediante un acelerograma o un espectro de diseño, y hace referencia a las fuerzas impuestas por éste. De manera que la demanda, a diferencia de la capacidad, no es un valor constante, puesto que depende del conjunto de fuerzas externas o aceleraciones a las que esté sometida la edificación de acuerdo con la provincia sísmica y su actividad.

En la figura 8 se muestra un esquema de las fuerzas que se aplican por piso a la estructura; la sumatoria de todas las fuerzas F_i es igual al cortante basal V .

La edificación responde a la aplicación de las cargas, desplazándose lateralmente hasta que alcanza un máximo U_{max} . El par de valores U y V representa un punto en la curva de capacidad de la edificación, de manera que para determinar otros puntos se carga la estructura nuevamente con fuerzas mayores y, así, hasta generar un mecanismo de colapso en la estructura.

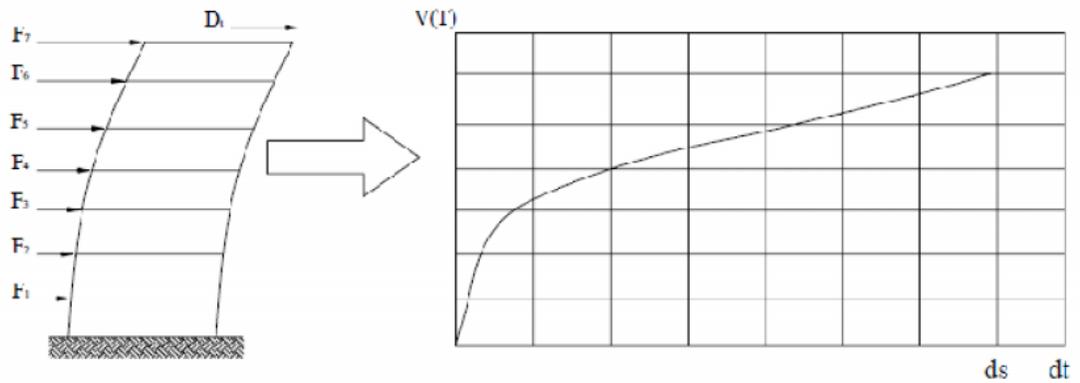


Figura 8. Procedimiento Pushover, para la determinación de la curva de capacidad. Fuente: Recopilación del autor

La demanda varía dependiendo del período de retorno del sismo al que se somete la edificación y se evalúa mediante espectros de respuesta (o diseño).

Los métodos más difundidos en la actualidad para la aplicación de un Análisis Estático No Lineal son los que se describen a continuación: ATC-40, FEMA-356 y el método MPA (“Modal Pushover Análisis”).

Los Objetivos a determinar del análisis Pushover son:

- Capacidad lateral de la estructura.
- Identificar cuáles son los elementos susceptibles a fallar primero.
- La ductilidad local de los elementos.
- La ductilidad global de la estructura.
- Concepto de viga débil-columna fuerte.
- Degradación global de resistencia.
- Verificar desplazamientos relativos inelásticos.



4.4 FORMACIÓN DE ROTULAS PLÁSTICAS.

Cuando se produce un evento sísmico, el sitio en el cual se estima la formación de las rótulas plásticas se suele concentrar en zonas en donde se produce una alta demanda sísmica y corresponden a las zonas de las vigas que se encuentran cercanas a las juntas.

Para los modelos matemáticos analizados en esta investigación se definirán las rótulas plásticas de las vigas y columnas al 5% y 95% de la longitud total del elemento. Esto basado en la hipótesis para que este modelo se cumpla que, la junta no falle.

Adicionalmente se debe mencionar que la aparición de estas se ve afectado con que en este trabajo no se toman en cuenta factores constructivos como son el espaciamiento entre ligaduras, longitudes de desarrollo, entre otros. Así que en el programa SAP2000 se asignan rótulas por defecto definidas por la FEMA 356.

Esto afecta la formación de estas haciendo que varíe la curva de desempeño de la vivienda y con ello sus ductilidades ocasionan que disminuya o aumente, es por esto que se considera que las curvas obtenidas no son las reales de la edificación.

4.5 MÉTODO FEMA-356

La Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA), publicó un proyecto para la rehabilitación de una edificación. De dicho proyecto resultaron dos reportes el FEMA 273 y FEMA 274 publicados en 1996, los cuales fueron estudiados cuidadosamente, donde se le realizaron diferentes modificaciones para su posterior publicación FEMA356.

El código FEMA es un compendio de diseño por desempeño aplicable al estudio de rehabilitación y reparación de las estructuras de concreto armado, acero estructural, estructuras de madera, sistemas de mampostería portante y sistemas mixtos, que se encuentran en la región de los Estados Unidos, con la finalidad de limitar el daño por sismo; es posible utilizar este código como una guía siempre y cuando se sigan los reglamentos de



las normas venezolanas de la construcción, es bajo los criterios de la norma FEMA, y respetando los parámetros establecidos por la norma COVENIN, que se diseña la estructura para su posterior uso.

Son las Normas FEMA, las que dictan los niveles de desempeño estructural, los cuales serán utilizados como criterio para evaluar si una estructura con diseño variable es segura o no.

Las normas FEMA, arroja los parámetros necesarios para el análisis no lineal, entre los cuales se tiene la simplificación de las curvas esfuerzo-deformación de elementos estructurales que pueden ser utilizados directamente en el modelo de la edificación.

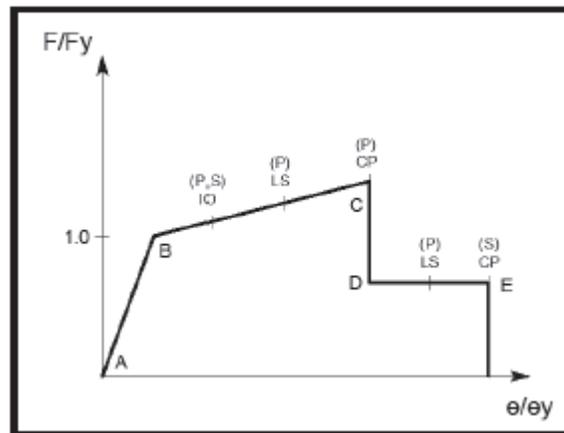


Figura 9. Curva Fuerza-Desplazamiento. Fuente: FEMA 356

En donde:

A = Origen correspondiente a la condición sin carga lateral.

B = Límite de fluencia nominal que corresponde al inicio de daños estructurales.

C = Límite de seguridad estructural. Representa el punto de máxima capacidad. más allá de esta deformación no puede ser garantizada la aplicación de las fuerzas laterales cíclicas. Para



los elementos frágiles como el concreto, esta deformación está muy cerca de la deformación a la que se alcanzó la fluencia.

D = Esfuerzo residual. La caída en la resistencia entre C y D representa la falla inicial del elemento estructural. Puede ser asociado con fenómenos como la fractura del refuerzo longitudinal, desprendimiento del hormigón o fallas de confinamiento del refuerzo transversal.

E = Colapso. El punto E es el punto que define la máxima deformación más allá de la cual el elemento ya no puede sostener la carga gravitacional.

La figura anterior muestra como la norma FEMA 356 simplifica las curvas de esfuerzo-deformación mediante la utilización de los parámetros A, B, C, D y E que caracteriza cada una de las curvas. Es también particular el hecho de que la curva presentada viene con un factor de escala, el cual en su mayoría implica dividir todos los valores de esfuerzo entre el esfuerzo cedente, implicando que en el punto donde el elemento pasa a un comportamiento plástico se tenga un valor de 1.

En la figura 9 se puede observar que la FEMA 356 también muestra unos parámetros que tratan de fijar el grado de plasticidad que se ha generado en las rótulas de los elementos, parámetros que sirven para tener una medida del nivel de desempeño que ha logrado el edificio objeto de estudio.

Operacional: Este es el nivel de desempeño relacionado a la funcionalidad. El daño a la estructura del edificio es limitado tal que la continuidad de ocupación no está cuestionada y cualquier reparación requerida es menor y puede ser llevado a cabo sin molestia significativa para los ocupantes. Similarmente, el daño a sistemas no estructurales es menor y no compromete el funcionamiento del edificio.



Ocupación Inmediata (IO): Esto corresponde al criterio más amplio usado para servicios esenciales. Los espacios y sistemas del edificio se esperan que estén razonablemente utilizables, pero la continuidad de todos los servicios no está necesariamente garantizada.

Seguridad de Vida (LS): Este nivel está proyectado a alcanzar un estado de daño que presente una baja probabilidad de amenaza a la seguridad de vida, esto a partir del daño estructural o por falla de componentes no estructurales del edificio. Los contenidos de mobiliarios, sin embargo, no son controlados, y crean peligros secundarios, tal como emisión de químicos o fuego.

Estabilidad Estructural (CP): Este estado de daño está dirigido a pórticos principales del edificio o sistemas que llevan la carga vertical. La amenaza a la vida por peligro de falla externa o interna de componentes no estructurales o aún por daño estructural puede ocurrir.

4.6 MÉTODO MPA

Mediante el análisis dinámico de sistemas inelásticos Chopra y Goel evaluaron los errores que se obtienen de aplicar los procedimientos A y B del ATC-40 y señalaron las limitaciones de los mismos. Los autores propusieron el procedimiento denominado análisis estático no-lineal modal (MPA) el cual está basado en la teoría de dinámica estructural. A diferencia de los métodos previos el MPA incorpora el efecto de otros modos de vibración además del modo fundamental, y utiliza la respuesta dinámica inelástica de sistemas de un grado de libertad que representan a cada modo de vibración.

4.7 MÉTODO ATC-40

El ATC-40 presenta tres diferentes métodos denominados A, B y C para estimar la demanda sísmica; todos se basan en el mismo principio de la intersección de los espectros de demanda y de capacidad pero se diferencian en su implementación. El primer paso en ambos procedimientos consiste en determinar la capacidad de la estructura considerando las



propiedades inelásticas de las secciones de cada elemento del modelo, mediante un análisis estático no-lineal. La capacidad es representada por la relación entre la fuerza cortante basal y el desplazamiento lateral en el techo. La curva de capacidad es generalmente construida para representar la respuesta del primer modo basándose en la suposición de que éste sea el que predomina en la respuesta. La curva de demanda sísmica sobre la estructura se determina a partir del espectro de pseudo-aceleración del movimiento sísmico, escalado de acuerdo con el amortiguamiento efectivo del sistema.

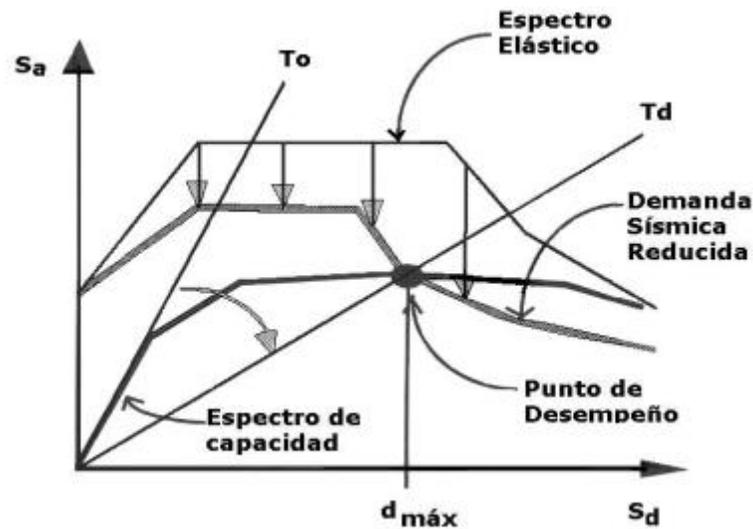


Figura 10. Curva Fuerza-Desplazamiento. Fuente: FEMA 356



4.8 COVENIN 1756:2001 Y ACI 318-08

Las Norma Venezolana Covenin 1756-2001 “Edificaciones sismorresistentes” es la más actualizada a nivel nacional y la ACI 318-08 es referente internacional para el diseño de estructura. Además es de carácter obligatorio para su utilización en los aspectos concernientes a las acciones sísmicas y al diseño sismoresistente a considerar en proyecto, construcción, análisis de edificaciones ya existentes, y mantenimiento de las mismas.

En la Covenin 1756:2001 se obtienen diferentes parámetros necesarios para el diseño como lo son la zonificación sísmica, el coeficiente de aceleración del suelo, las formas espectrales, métodos de análisis, requisitos generales para el diseño, y también tiene parámetros de chequeo, como el mínimo número de modos de vibración, el control de cortante basal, límites de periodos fundamentales, límites para desplazamientos laterales, y otros parámetros que son necesarios de tener presentes en cualquier proyecto.

4.9 PARÁMETROS DE LA CONSTRUCCIÓN

A partir del aumento de las viviendas de autoconstrucción en el país, que se ha desarrollado en gran parte de la población, un conocimiento empírico sobre diseño estructural en base a suposiciones erróneas y sin ningún método de cálculo implícito.

Para determinar los errores constructivos más comunes, y las condiciones a estudiar, fueron realizadas encuestas distintos maestros de obras de la zona y a los constructores de las viviendas, para determinar las costumbres más comunes conocidas en la práctica de la construcción.

Muchos de los errores de la construcción popular se llevan a cabo al momento de gestionar la obra por personal no capacitado.



4.9.1 Errores De Diseño De Mezcla

La norma COVENIN-MINDUR 1756 establece el criterio a utilizar para determinar teóricamente la resistencia de un concreto en base a la dosificación de cemento y agua, y las características del agregado, no obstante, el conocimiento de la misma se limita en la actualidad a técnicos laboratoristas e ingenieros civiles, despreciándose de manera significativa su uso en el campo.

Consecuencia de esto, se ha generado con el tiempo, diseños de mezcla empíricos y sin estudios de ningún tipo, muchas veces en base a creencias erróneas, que se continúan en diversas ocasiones mediante el apoyo masivo de los constructores y la falta de mecanismos de control capaces de detectar el error.

Entre las creencias erróneas más comunes del diseño de mezcla en la construcción popular, se encuentra:

- La resistencia del concreto es proporcional a la cantidad de cemento usada: El conocimiento popular abarca al punto donde se conoce que a más cemento para una misma mezcla se obtiene una mayor resistencia, pero si no se toma en consideración la cantidad de agua que se utiliza en la mezcla, afecta la resistencia del concreto.
- A menor cantidad de agregados, mayor resistencia del concreto: Debido a que no se realizan controles en la granulometría de los agregados, solo se realiza la distinción en obra entre agregado grueso y agregado fino, esto y la falta de conocimiento respecto al efecto del agregado en el comportamiento de la mezcla, genera que las personas cometan errores ya que piensan que si agregan más arena o piedra de lo que deberían, se puede comprometer la resistencia de la mezcla, al punto que prefieren añadir la menor cantidad de agregado posible en busca de concretos de mayor resistencia, manteniendo la misma relación agua-cemento.



- Se considera que la mezcla no se ve afectada por las condiciones ambientales en las que se encuentre: En las encuestas realizadas a los maestros de obra, estos aseguraron proteger bien el cemento en un espacio de poca humedad y buena ventilación.
- Mala costumbre del regado del concreto: La práctica del curado del concreto, no se trata en el manual del constructor popular principal guía de estos maestros de obra, y el conocimiento general que existe, indica que el concreto únicamente se riega “al día siguiente” de su vaciado, las normas venezolanas indican que durante un periodo de tiempo de 7 días a partir del inicio del fraguado del concreto, se debe mantener una condición de humedad tal que el concreto en ningún punto pierda agua por evaporación, o que la misma sea repuesta inmediatamente, este tiempo puede reducirse a 3 días en los casos de curado acelerado (Capítulo 5.8 Norma Venezolana 1753- 2006); la falta de conocimiento genera la falsa idea de que lo mejor es agregar entonces más agua a la mezcla para evitar las fracturas después, solo regar al día siguiente, y que una vez que el concreto ya ha endurecido, es innecesario volver a regarlo.

4.9.2 Errores De Área Efectiva De Acero

Frente a la escasez de materia prima, y la poca diversidad de cabillas existentes, la demanda surtida en su totalidad por la siderúrgica venezolana, se ve comprometida al cumplir con las necesidades de variedad de los diámetros de acero de refuerzo requeridos.

Entre los errores y creencias más comunes que afectan la construcción popular se encuentran:

- Se deja poco espacio entre las cabillas para el paso del agregado: El principal problema en el cambio respecto al diseño original es la disminución de la resistencia aportada por el acero, no obstante, existe otro problema, el cual no será estudiado en este proyecto, que implica el incumplimiento de la separación mínima que debe haber entre cabillas, en especial en las uniones viga-columna, el aumento en cantidad de cabillas que ocurre muchas veces ocasiona la traba del agregado, incapaz de



solucionarse solo mediante el vibrado, son estos inconvenientes los que ocasionan una distribución no homogénea, con la resultante de secciones de columna completamente vacías internamente, y en ocasiones de manera externa.

- Dificultades a la hora de hacer la colocación: Esta referencia incluye anclajes, longitudes de transferencia y desarrollo, y cerramientos de refuerzos transversales. En la mayoría de los casos y en la totalidad de las obras visitadas, no se cumplen los parámetros correctos de colocación de acero, se utilizan anclajes a 90° , las longitudes de transferencia y desarrollo se promedian con la intención de no tener que cortar las cabillas para disminuir los desperdicios, y los estribos se cierran a 90° por comodidad.

4.9.3 Parámetros Utilizados En La Construcción Irregular

En este trabajo, para conocer los métodos constructivos del sector se realizaron encuestas tanto a maestros de obras como a los habitantes de las viviendas, no solo a los de las viviendas más vulnerables, sino, también a gente de la zona, para determinar con mayor precisión los métodos usados por los pobladores.

Las siguientes características son referenciales, es decir, no simbolizan la totalidad de los diseños, son solo una muestra real y representativa de los hábitos constructivos de la zona.

En las encuestas, se hicieron preguntas como:

- Preparación de la mezcla de concreto.
- Colocación de acero en vigas y columnas.
- Diámetro de cabillas usadas en vigas y columnas.
- Espaciamiento entre el acero de confinamiento y el diámetro del mismo.
- Material de entre piso.



Concreto

Para la mezcla de concreto se pudo observar que en general se usa:

- Dos (2) carretillas de agregado fino.
- Una (1) carretilla de agregado grueso.
- Un saco de cemento.

Equivalencias obtenidas del “*Manual del constructor popular*”:

- Un (1) saco de cemento = 28,3 lts y/o 42,5 Kg
- Una lata = 18 lts.
- Una (1) carretilla = 3 latas.

Como se puede observar de los datos suministrados por los constructores y maestros de obra, el agregado fino duplica el grueso, esto lo hacen para que la mezcla tenga mayor trabajabilidad, pero en consecuencia disminuye la resistencia del concreto, ya que la grava es el elemento que más aporta en cuanto a resistencia se refiere en la mezcla. Como ejemplo se tiene que para una resistencia del concreto de 220kg/cm^2 a 180kg/cm^2 (siendo este último valor considerado como menor valor aceptable para concreto estructural), la mezcla se considera que debería tener las siguientes proporciones:

- Un (1) saco de cemento.
- Entre 65 a 80 lts de agregado fino.
- Entre 80 a 95 lts de agregado grueso.

Pero si contemplamos la mezcla usada en la comunidad estudiada, tenemos los siguientes valores:

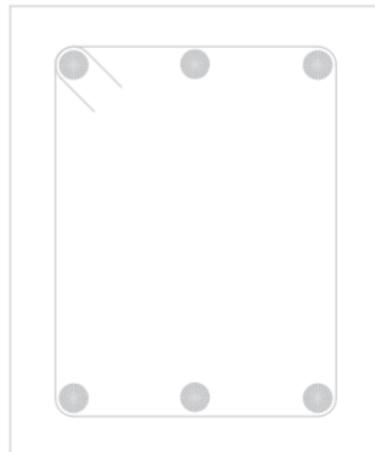
- Un (1) saco de cemento.
- Agregado grueso 54 lts.
- Agregado fino 108 lts.



Se aprecia como las proporciones no son las adecuadas, en consecuencia, se considera que el concreto utilizado en la estructura es pobre, por esto para el análisis se utilizará una resistencia $f'c$ de 140 kg/cm^2 .

Colocación de acero de refuerzo

De las encuestas realizadas y durante las visitas a la comunidad, se pudo observar que la colocación y diámetro de cabillas, tanto en las vigas como en las columnas no varía, siendo la colocación la siguiente:



En cuanto al acero transversal se tiene que, usan cabillas de $3/8''$ colocadas cada 15 cm .

Parámetros no apreciados

Ciertas características del diseño y/o métodos constructivos no fueron considerados, o tomados en cuenta al momento de ejecutar el análisis de la estructura, aunque se conoce que



representan un factor de vital importancia al momento de estudiar la respuesta de una estructura frente a un sismo, como lo son:

- Longitud de transferencia o desarrollo.
- Deficiencias en el encofrado.
- Edad del concreto.
- Calidad de los agregados.
- Humedad de los agregados.

4.10 GLOSARIO

Acabado: Dícese del último tratamiento que recibe un elemento de la construcción.

Análisis: Determinación, según modelos matemáticos, de las respuestas correspondientes de las acciones previstas.

Aceleración sísmica: es una medida utilizada en terremotos que consiste en una medición directa de las aceleraciones que sufre la superficie del suelo.

Amenaza: es la intensidad máxima de un fenómeno natural perturbador cuya recurrencia no es previsible. Se asume que en un lugar determinado, pero no hay tiempo determinado.

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.

Centro de Rigidez de un Nivel: Punto del nivel donde al aplicar una fuerza cortante horizontal, el nivel se traslada sin rotar respecto al nivel inferior.

Concreto: Mezcla homogénea de cemento Portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregados finos y gruesos y agua, con o sin aditivos.



Concreto Armado: Concreto que contiene el refuerzo metálico adecuado, diseñado bajo la hipótesis que los dos componentes actuarán conjuntamente para resistir las solicitaciones a las cuales está sometido.

Concreto Pobre: Es el concreto de baja resistencia, que equivale a tener poca cantidad de cemento y /o su relación agua cemento es alto, su $f'c=100$ kg/cm² aproximadamente.

Columna: Elemento estructural vertical, usado para soportar losas y elementos elevados, comúnmente construido en sitio y son parte fundamental para la construcción de edificios.

Cortante Basal: es una Fuerza de Reacción que presenta la estructura cuando está sujeta principalmente a Fuerzas Accidentales (horizontales) como viento o sismo en todos los marcos que compongan una estructura y se localiza en su base.

Curva de capacidad.: Es la relación entre la fuerza cortante basal y el desplazamiento en el nivel superior de la estructura. Esta curva generalmente se construye para representar la respuesta del primer modo de vibración de la estructura basado en la suposición que el modo fundamental de vibración es el que predomina en la respuesta estructural. Esta suposición generalmente es válida para estructuras con un periodo fundamental de vibración alrededor de un segundo.

Demanda sísmica: Solicitaciones que genera la acción de una fuerza externa (la producida por el sismo en este caso) a la estructura.

Demolición: Trabajo de destrucción de una edificación o parte de ella, en contraposición a remoción, que implica el desarmar y recuperar casi todas sus partes.

Deriva: Diferencia de los desplazamientos laterales totales entre dos niveles o pisos consecutivos.



Diafragma: Parte de la estructura, generalmente horizontal, con suficiente rigidez en su plano, diseñada para transmitir las fuerzas a los elementos verticales del sistema resistente a sismos.

Diseño: En un miembro estructural, conocidas sus solicitaciones, es la determinación racional y económica de sus dimensiones, así como la distribución y detallado adecuado de todos sus materiales y componentes, satisfaciendo a cabalidad de normas.

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.

Edificación: Es una estructura que posee diafragmas, que compatibilizan los desplazamientos horizontales de los miembros que llegan a ese nivel.

Efecto de Columna Corta: Marcada reducción de la longitud libre de columnas por efecto de restricciones laterales.

Espectro: Representación gráfica de los valores máximos de una serie cronológica en función de sus frecuencias y periodos.

Espectro de Diseño: Espectro que incorpora el factor de reducción de respuesta correspondiente al sistema resistente a sismos adoptado.

Espectro de Respuesta: 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.

Estructura: Conjunto de miembros y elementos cuya función es resistir y transmitir las acciones al suelo a través de las fundaciones.



Fuerzas Permanentes: Son aquellas que obran en forma continua sobre la estructura y cuya intensidad puede considerarse que no varía con el tiempo.

Fuerzas Variables: Son aquellas que obran sobre la estructura con una intensidad variable con el tiempo, pero que alcanzan valores significativos durante lapsos grandes.

Fuerzas Accidentales: Son aquellas que no se deben al funcionamiento normal de la construcción y que pueden tomar valores significativos sólo durante pequeñas fracciones de la vida útil de la estructura. Se incluyen en esta categoría acciones excepcionales; como sismos, viento, oleaje y explosiones.

Losa: Elemento estructural formado comúnmente de concreto y acero, están colocadas en forma horizontal en edificaciones y forman el piso de niveles superiores.

Mampostería: Es la obra hecha con ladrillos, bloques, adobes o piedras que se unen con mortero.

Modelo Matemático: Formulación de la situación real en forma idealizada, adecuada para el cálculo y con propósitos de predicción y control.

Mortero: Mezcla homogénea constituida por arena, cal o cemento y agua en proporciones convenientes para asegurar una resistencia adecuada.

Norma: Es una especificación técnica u otro documento a disposición del público, elaborado con la colaboración y consenso o aprobatorio general de todos los intereses afectados por ella, basada en resultados consolidados de la ciencia, tecnología y experiencia, dirigida a promover beneficios óptimos para la comunidad y aprobada por un organismo reconocido a nivel nacional, regional o internacional.

Nivel: Cada uno de las plantas que integran la edificación.



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.

Niveles de Desempeño: Es una expresión de la máxima extensión del daño, donde se considera tanto la condición de los elementos estructurales como de los elementos no estructurales, lo cual es relacionado con la función de la edificación.

Peligro Sísmico: Cuantifica la probabilidad de ocurrencia de eventos sísmicos futuros que pueden afectar en forma adversa la integridad de edificaciones y sus ocupantes.

Período Fundamental: Para un cuerpo sujeto a una vibración, es el tiempo requerido para dar una oscilación y el fundamental es aquel de mayor duración por lo que introduce mayor daño a la estructura ya que origina los mayores desplazamientos.

Reforzamiento de estructuras: Técnicas y utilización de diversos materiales con el fin de fortalecer un inmueble con el fin de prevenir los posibles efectos provocados por un desastre o emergencia.

Reparación: Restituir propiedades fundamentales de una estructura .

Requisitos Mínimos: Son las condiciones necesarias para un funcionamiento seguro y adecuado de una edificación.

Riesgo: Se refiere a los daños o pérdidas probables que puede sufrir una comunidad (o cualquier agente afectable, como por ejemplo, la infraestructura pública) por los efectos de un fenómeno natural perturbador.



Solicitaciones: Conjunto de fuerzas axiales, fuerzas cortantes, momentos flectores, momentos torsores y bimomentos que permiten el diseño de las secciones de los elementos y miembros estructurales.

Tabique: Es una pared que no cumple función estructural sino la de dividir o limitar espacios.

Vida Útil: Tiempo o duración en la cual se supone que una edificación se va a utilizar para el propósito que fue diseñada. La Norma COVENIN 1756-2011 supone una vida útil de 50 años.

Viga: Elemento estructural rígido, generalmente horizontal, proyectado para soportar y transmitir las cargas transversales a que está sometido hacia los elementos de apoyo.

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.

5. REPRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 DESCRIPCIÓN DE LAS EDIFICACIONES

De las encuestas realizadas se seleccionaron dos tipos de viviendas consideradas las típicas y vulnerables, las estructuras a estudiar son del tipo aporticadas con columnas y vigas de concreto reforzado, el concreto que usaron los constructores puede considerarse pobre, junto con el uso de tabelones y/o losa maciza.

Las viviendas presentan las siguientes características:

Vivienda Nro. 1:

- Niveles: Cinco (5).
- Distancia entre niveles: Tres (3) metros.



- Altura total: 15 metros.
- Dimensiones en planta de los primeros tres (3) niveles: Cinco (5) metros de ancho por nueve (9) de largo.
- Dimensiones en planta de los últimos dos (2) niveles: Cinco (5) metros de ancho por 12 metros de largo.
- Ejes en “X”: consta de tres (3) ejes, separados a 2,5 metros entre ellos.
- Ejes en “Y”: En los primeros tres (3) niveles consta de cuatro (4) ejes separados entre ellos a tres (3) metros y los dos últimos niveles consta de cinco (5) ejes, separados entre ellos a tres (3) metros.
- Área en planta: De los primeros tres (3) pisos 45 m² y de los últimos dos (2) pisos 60m².
- Columnas: 30x25 cm.
- Vigas: 20x25 cm.
- Entrepiso: Formados por tabelones.
- Colocación de las correas: las correas están colocadas en sentido del eje X.
- Observación: esta vivienda se encuentra con dos niveles por encima del nivel de la calle, es decir, la entrada y tres niveles por debajo de la entrada principal.

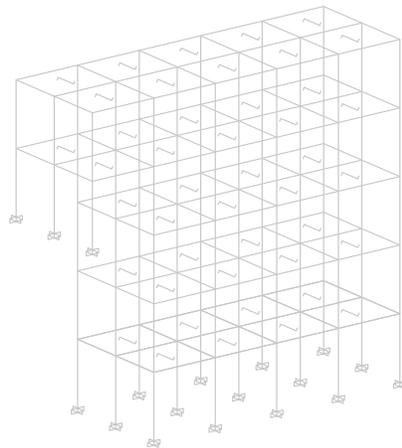
Vivienda Nro. 2:

- Niveles: Cinco (5).
- Distancia entre niveles: Tres (3) metros.
- Altura total: 15 metros.
- Dimensiones en planta de los primeros tres (3) niveles: Cinco (5) metros de ancho por nueve (9) de largo.
- Dimensiones en planta de los últimos dos (2) niveles: Cinco (5) metros de ancho por 12 metros de largo.
- Ejes en “X”: consta de tres (3) ejes, separados a 2,5 metros entre ellos.

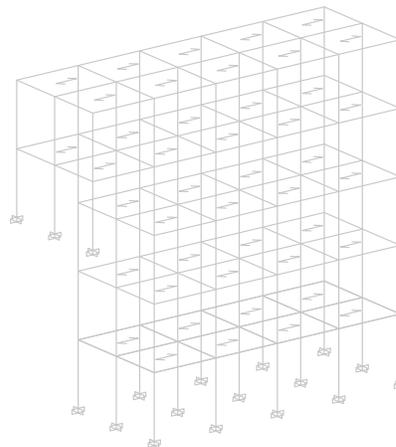


- Ejes en “Y”: En los primeros tres (3) niveles consta de cuatro (4) ejes separados entre ellos a tres (3) metros y los dos últimos niveles consta de cinco (5) ejes, separados entre ellos a tres (3) metros.
 - Área en planta: De los primeros tres (3) pisos 45 m^2 y de los últimos dos (2) pisos 60 m^2 .
 - Columnas: $30 \times 25\text{ cm}$.
 - Vigas: $20 \times 25\text{ cm}$.
 - Entrepiso: Formados por tabelones.
 - Colocación de las correas: las correas están colocadas en sentido del eje Y.
- Observación: esta vivienda se encuentra con dos niveles por encima del nivel de la calle, es decir, la entrada y tres niveles por debajo de la entrada principal.

Los edificios son viviendas características del callejón Las Clavellinas, ubicado en Baruta Estado Miranda.



Vivienda Nro. 1



Vivienda Nro. 2

Figura 11. Edificaciones. Fuente: Propia



5.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

El concreto a utilizar en los miembros posee una resistencia de $F'c$ 140 Kg/cm² y el acero de refuerzo un Fy de 2800 Kg/m².

Esto considerando el mal diseño de mezcla de concreto y en cuanto al acero se considera este valor dado a que en estos sectores se suele comprar el material más económico.

5.1.2 VALORES DE CARGA

Basados en recomendaciones de cargas de la Norma Venezolana Covenin Mindur 2002-88: CRITERIOS Y ACCIONES MÍNIMAS PARA EL PROYECTO DE EDIFICACIONES

Cargas Permanentes		
	Unidad	Cantidad
Tabiquería	Kg/m ²	150
Tabelones	Kg/m ²	165
Friso	Kg/m ²	30
Acabado	Kg/m ²	80
Total CP	Kg/m ²	425
Cargas Vivas		
CV Vivienda	Kg/m ²	175
CV Techo	Kg/m ²	100

Peso Total de la Vivienda Nro. 1 =267,75 Tn.



El peso total de la vivienda se calculó para el predimensionamiento de los elementos de la estructura y así tener mayor idea de cuales debería ser sus dimensiones, este peso fue obtenido por el método de volumen tributario en el cual se multiplica el peso específico de la estructura que para estos casos se considera de $350 \text{ kg}/\text{m}^3$ por el volumen del edificio el cual es de 765 m^3 , dando como resultado un peso de 267,75 Tn.

Con esto se puede predimensionar las columnas, obteniendo su área dividiendo el peso entre un coeficiente que depende de la ubicación de las columnas, este coeficiente es:

- Columnas de esquina $0,15 \times F'c$
- Columnas laterales $0,20 \times F'c$
- Columnas centrales $0,25 \times F'c$

Considerando que el $F'c$ supuesto es de $140 \text{ kg}/\text{cm}^2$, tenemos que para las columnas que hacen esquina se obtiene un área de 12.750 cm^2 , para las laterales $9.562,5 \text{ cm}^2$, y para las centrales 7.650 cm^2 . y como se sabe de las encuestas realizadas se tiene un área transversal de 750 cm^2 .



DATOS SÍSMICOS

Estructura Nro. 1		
Zona Sísmica	5,00	COVENIN 1756-2001
Aceleración (Ao)	0,30	COVENIN 1756-2001
Tipo de Estructura	I	COVENIN 1756-2001
Nivel de Importancia (α)	1,00	COVENIN 1756-2001
Nivel de Diseño (ND)	ND3	COVENIN 1756-2001
Factor de reducción de respuesta	1,00	COVENIN 1756-2001
Espectro del Suelo	S2	Asumido
Valor de ϕ	0,95	Asumido
Valor de β	2,6	COVENIN 1756-2001
Valor de T_0	0,175	COVENIN 1756-2001
Valor de T^*	0,7	COVENIN 1756-2001

Dado a que no hay estudios geotécnicos de la zona, se asume un suelo firme/medio denso, con la idea de que si las viviendas no han colapsado aún no puede ser un suelo blando, pero tampoco se puede afirmar que sea firme. Adicionalmente se considera un nivel de diseño 3 porque esto es lo que se le debería exigir a una vivienda, para que cumpla con los requisitos mínimos de la norma aunque se conoce gracias a estudios previos sobre las condiciones de estas estructuras que apenas se diseñan para un nivel de diseño 1.

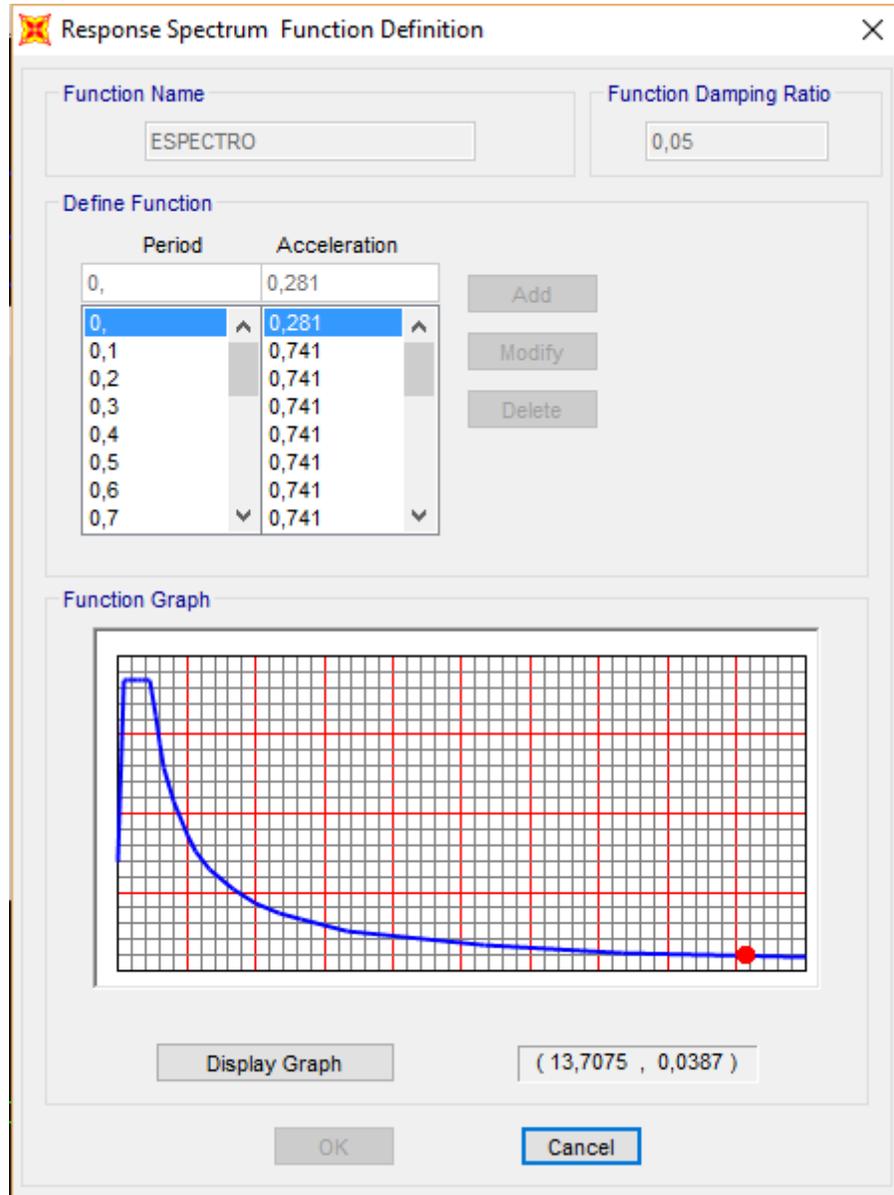


Figura 12. Espectro de Diseño. Fuente: SAP2000



5.1.3 GEOMETRÍA Y ESTADO

Vivienda Nro. 1

El edificio está formado por un sistema ortogonal de 2 (dos) luces de 2,5 m en el sentido "X" en todos los pisos, en los tres (3) primeros pisos cuenta con tres (3) luces de tres 3m y en los dos últimos pisos está formado por cuatro (4) luces de 3 m. Posee una altura total de 15 m conformado por 5 niveles de 3 m respectivamente. . Está conformado por tabelones en la dirección "X".

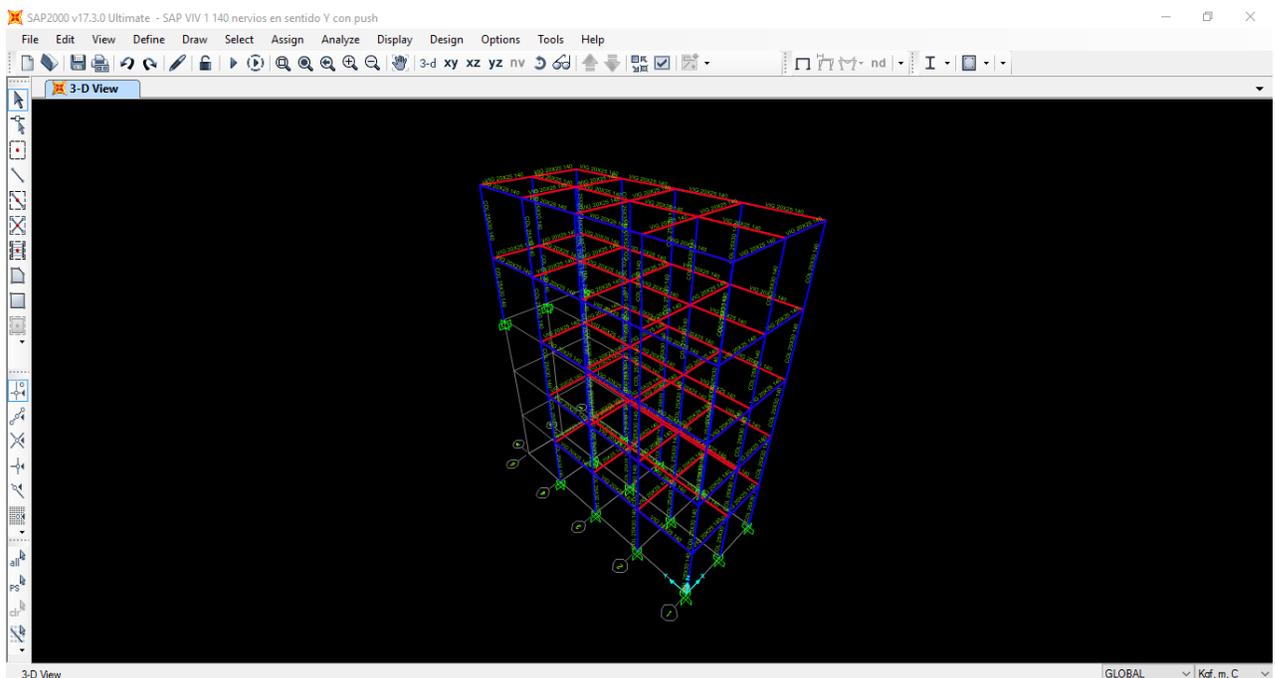


Figura 13. Estado y Secciones. Fuente: SAP2000



Vivienda Nro.2

El edificio está formado por un sistema ortogonal de 2 (dos) luces de 2,5 m en el sentido "X" en todos los pisos, en los tres (3) primeros pisos cuenta con tres (3) luces de tres 3m y en los dos últimos pisos está formado por cuatro (4) luces de 3 m. Posee una altura total de 15 m conformado por 5 niveles de 3 m respectivamente. Está conformado por tabloneros en la dirección "Y". Es decir, la vivienda tiene la misma estructuración que la 1, a diferencia de la colocación de las corres las que aunque no se observan distribuyen las cargas dependiendo de su colocación.

5.2 DIAFRAGMAS RÍGIDOS

La edificación posee 5 diafragmas rígidos, que corresponden a los tabloneros de cada nivel.

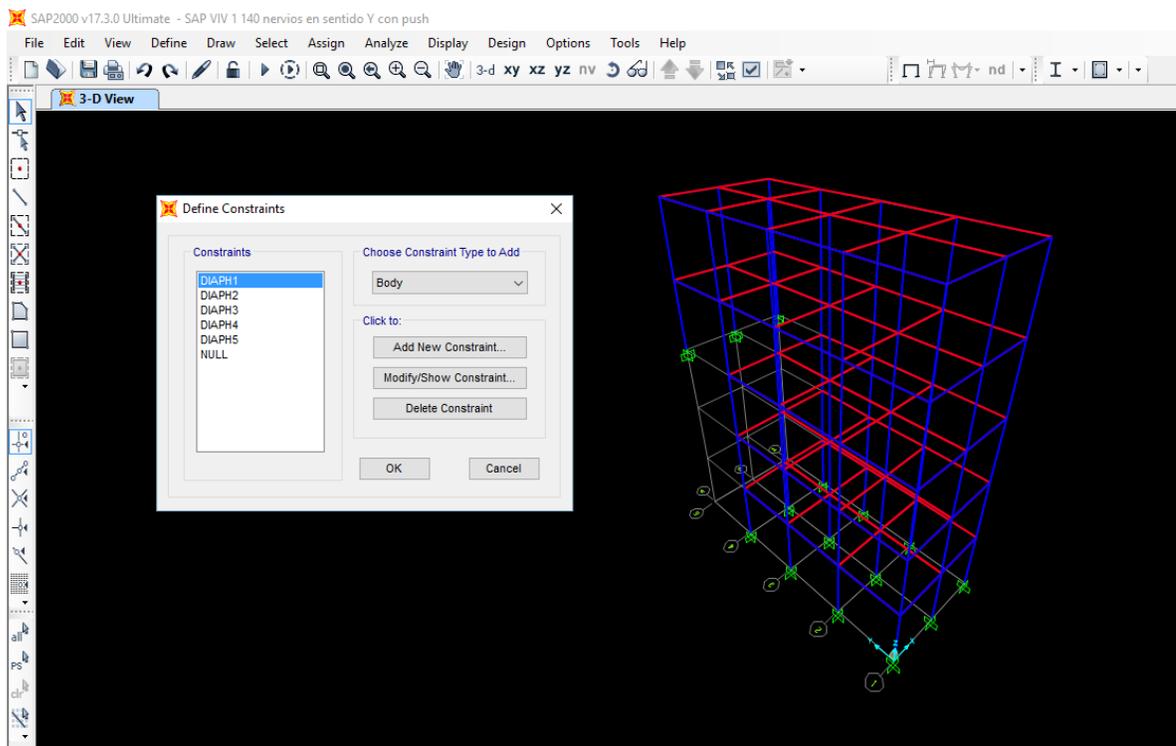


Figura 14. Diafragmas. Fuente: SAP2000



5.3 ASIGNACIÓN DE GRUPOS

Para agilizar el proceso se crearon 3 grupos de elementos:

- COLS: se refiere a todas las columnas de la edificación.
- COL CALLE: se refiere a las columnas que están en el eje "6", las cuales forman parte del pórtico que da hacia el lado de la calle.
- VIG: se refiere a todas las vigas d la edificación.

De esta manera al momento de asignar las secciones acelerará el proceso, y también cuando se cambien las secciones de los elementos al reforzar.

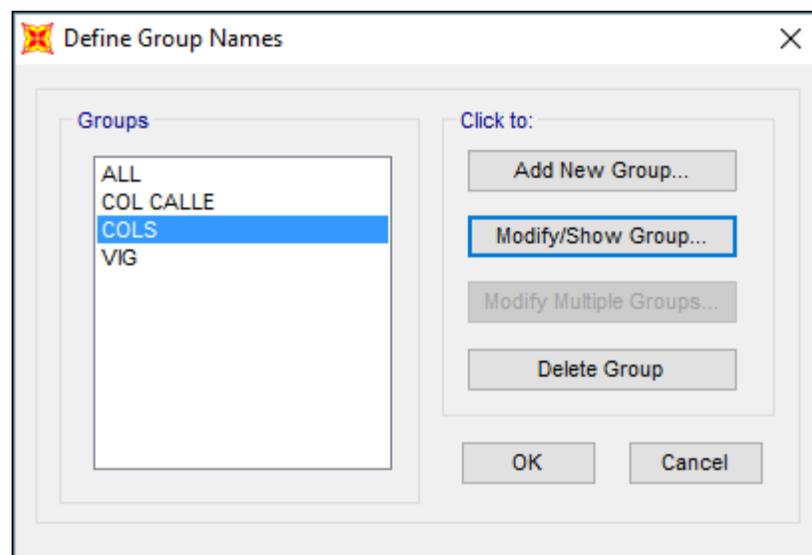


Figura 15. Grupos. Fuente: SAP2000



5.4 FUERZA CORTANTE BASAL

$$V_o = \mu A_d W \quad (\text{Ec. 1})$$

$$\mu_1 = 0,8 + \frac{1}{20} \left(\frac{T}{T^*} - 1 \right) \quad (\text{Ec. 2})$$

$$\mu_2 = 1,4 \left(\frac{N+9}{2N+12} \right) \quad (\text{Ec. 3})$$

$$T_a = 0,05 * hn^{0,75} \quad (\text{Ec. 4})$$

$$T_{\text{diseño}} = 1,6 T_a \quad (\text{Ec. 5})$$

Cálculo de Fuerza Cortante Basal	
μ_1	0,79
μ_2	0,89
Tdiseño	0,61
V_o (Kg)	36903,68

Tabla 1. Cortante Basal. Fuente: Propia

5.5 PUSHOVER (ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL)

A raíz de que en este estudio, se analizan 2 edificaciones de concreto armado de mediana altura, es necesario cerciorarse de la factibilidad de aplicar el análisis Pushover a este tipo de estructuras con el fin de asegurar resultados óptimos y otorgarle un respaldo al análisis.

Según el documento FEMA 356, el Análisis No lineal Estático se permite para estructuras en las cuales los efectos de modos altos no son significativos. Para determinar



esto, se debe realizar un análisis modal espectral a cada estructura incluyendo los modos de vibración necesarios para considerar una participación de masa modal superior al 90%.

Alternativamente, se puede utilizar el Análisis Pushover Modal de Chopra y Goel, el que cuenta con un gran respaldo teórico y es evaluado como uno de los mejores. Cabe señalar que este método fue especialmente desarrollado para soslayar este problema.

5.6 USO DEL PROGRAMA SAP2000

Como se ha mencionado anteriormente, el Análisis Pushover será realizado en el programa SAP2000, y la versión disponible es 17.3.0. Este software tiene las herramientas para realizar un análisis Pushover, mediante la realización de varios pasos. En general, estos son los pasos:

- Creación de modelo a estudiar.
- Definición de los patrones de cargas a ser aplicadas a la estructura, que serán usadas en el análisis Pushover.
- Detallar los casos de carga del análisis Pushover, hay que tomar en cuenta que los casos de carga deben ser identificados como, no-lineales. Aquí pueden crearse distintos casos de carga y/o puede utilizarse el estado final de uno como la condición inicial del otro. En este trabajo, se utilizó el caso que incluye las cargas gravitacionales como el primero, siendo así su estado último, el inicial para los casos de carga lateral.
- Se seleccionan los miembros a los cuales se le asignarán rótulas plásticas.
- Se definen las rótulas tomando en cuenta sus criterios de aceptación, los cuales son controlados por la norma COVENIN 1756-2001. Las rótulas se asignarán según el elemento que sea.
- Se corre el modelo.
- Análisis de resultados.



5.7 NODO DE CONTROL

Se seleccionó como el nodo de control de análisis el nro. 7, situado en el nivel superior.

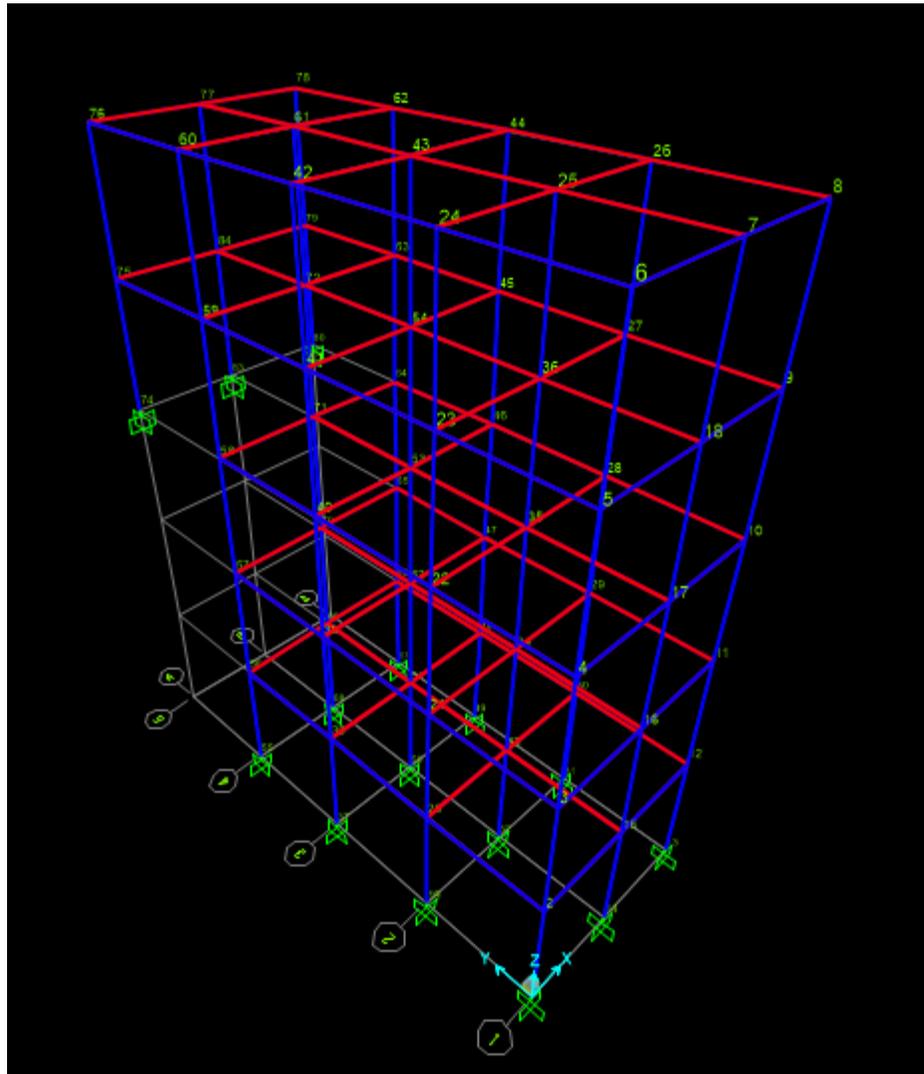


Figura 16. Nodos de la estructura. Fuente: SAP2000



5.8 COMBINACIÓN DE CARGA

Las cargas gravitacionales que actúan en combinación de la carga monotónica Q_c QG, se obtienen de la Ecuación (3-3) del documento FEMA 356 (2000).

$$QG = 1.1 QD + QL + QS \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

QD = Carga Muerta.

QL = Carga Viva Efectiva, igual al 25% de la carga viva de diseño sin reducir.

5.9 CARGA LATERAL

La carga lateral que se usará para empujar la estructura puede ser, por aceleración o modal, no hará falta la creación de otro patrón de carga. En este estudio se utilizó la función modal usando el primer modo de vibración de la estructura.

5.10 ZONAS DE PLASTIFICACIÓN

La modelación de las rótulas plásticas se realiza mediante la definición de las curvas de Carga-Deformación. En estas curvas se establecen los Niveles de desempeño, que no es más que la aceptación de daños admisible por la estructura. La FEMA 356 establece 3 curvas de relaciones carga-deformación que dependen de si es un elemento estructural primario o secundario. Primario son aquellos que proveen la capacidad de resistir la acción de las fuerzas sísmicas sin colapsar y los secundarios no proveen una resistencia de dicha capacidad a la estructura.

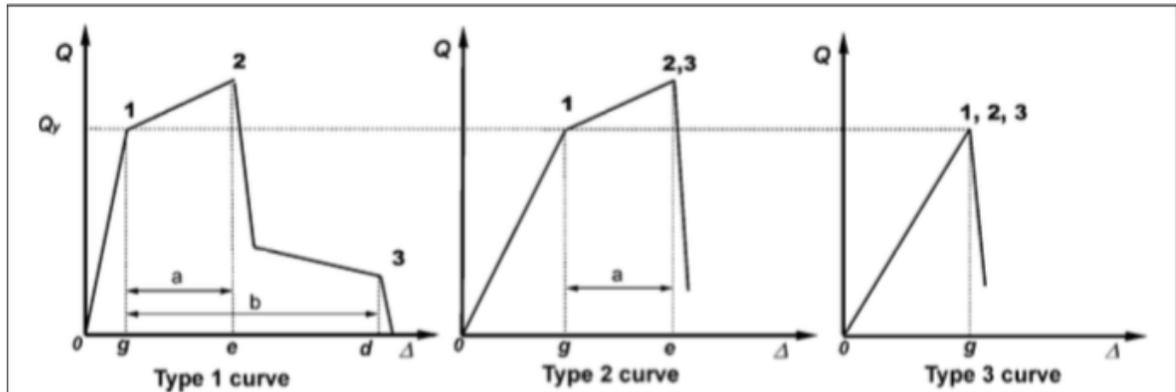


Figura 17. Curvas Fuerza vs desplazamiento, considerando o no la participación de elementos primarios y/o secundarios. Fuente: FEMA 356

En este estudio se trabajará por lo que define la FEMA 356 como "Procedimiento Estático No lineal Simplificado", en el cual no se incluyen en el análisis los elementos secundarios. Por lo que las características de la curva Fuerza-Deformación de los elementos primarios es bilineal. Los elementos que se han degradado no pueden ser utilizados con confianza para estimar los límites de la respuesta secundaria. Por lo que, sólo se consideran las zonas de comportamiento elástico y plástico de la curva generalizada.



Se muestra la tabla 6-7 de la FEMA356, de la cual el programa SAP2000 establece los valores para los puntos A, B, y C, para vigas y columnas.

Table 6-7 Modeling Parameters and Numerical Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—Reinforced Concrete Beams

Conditions	Modeling Parameters ²			Acceptance Criteria ²						
	Plastic Rotation Angle, radians		Residual Strength Ratio	Plastic Rotation Angle, radians						
				Performance Level						
	a	b	c	IO	Component Type					
					Primary		Secondary			
LS					CP	LS	CP			
I. Beams controlled by flexure¹										
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_{bal}}$	Trans. Reinf. ²	$\frac{V}{b_w d_v \sqrt{f'_c}}$								
≤ 0.0	C	≤ 3	0.025	0.05	0.2	0.010	0.02	0.025	0.02	0.05
≤ 0.0	C	≥ 6	0.02	0.04	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.04
≥ 0.5	C	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≥ 0.5	C	≥ 6	0.015	0.02	0.2	0.005	0.005	0.015	0.015	0.02
≤ 0.0	NC	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≤ 0.0	NC	≥ 6	0.01	0.015	0.2	0.0015	0.005	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	≤ 3	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	≥ 6	0.005	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.005	0.005	0.01
II. Beams controlled by shear¹										
Stirrup spacing ≤ d/2			0.0030	0.02	0.2	0.0015	0.0020	0.0030	0.01	0.02
Stirrup spacing > d/2			0.0030	0.01	0.2	0.0015	0.0020	0.0030	0.005	0.01
III. Beams controlled by inadequate development or splicing along the span¹										
Stirrup spacing ≤ d/2			0.0030	0.02	0.0	0.0015	0.0020	0.0030	0.01	0.02
Stirrup spacing > d/2			0.0030	0.01	0.0	0.0015	0.0020	0.0030	0.005	0.01
IV. Beams controlled by inadequate embedment into beam-column joint¹										
			0.015	0.03	0.2	0.01	0.01	0.015	0.02	0.03

- When more than one of the conditions i, ii, iii, and iv occurs for a given component, use the minimum appropriate numerical value from the table.
- "C" and "NC" are abbreviations for conforming and nonconforming transverse reinforcement. A component is conforming if, within the flexural plastic hinge region, hoops are spaced at ≤ d/3, and if, for components of moderate and high ductility demand, the strength provided by the hoops (V_p) is at least three-fourths of the design shear. Otherwise, the component is considered nonconforming.
- Linear interpolation between values listed in the table shall be permitted.

Figura 18. Parámetros, vigas de concreto reforzado. Fuente: FEMA356



Tabla 6-8 de la FEMA356. Parámetros y Criterios de Modelado Numérico de Aceptación de Procedimientos No Lineales-- Vigas de Concreto Armado

Table 6-8 Modeling Parameters and Numerical Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—Reinforced Concrete Columns										
Conditions	Modeling Parameters ⁴					Acceptance Criteria ⁴				
	Plastic Rotation Angle, radians		Residual Strength Ratio	Plastic Rotation Angle, radians						
				Performance Level						
	a	b	c	IO	Component Type					
					Primary		Secondary			
LS					CP	LS	CP			
I. Columns controlled by flexure¹										
$\frac{P}{A_g f_c}$	Trans. Reinf. ²	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}}$								
≤ 0.1	C	≤ 3	0.02	0.03	0.2	0.005	0.015	0.02	0.02	0.03
≤ 0.1	C	≥ 6	0.016	0.024	0.2	0.005	0.012	0.016	0.016	0.024
≥ 0.4	C	≤ 3	0.015	0.025	0.2	0.003	0.012	0.015	0.018	0.025
≥ 0.4	C	≥ 6	0.012	0.02	0.2	0.003	0.01	0.012	0.013	0.02
≤ 0.1	NC	≤ 3	0.006	0.015	0.2	0.005	0.005	0.006	0.01	0.015
≤ 0.1	NC	≥ 6	0.005	0.012	0.2	0.005	0.004	0.005	0.008	0.012
≥ 0.4	NC	≤ 3	0.003	0.01	0.2	0.002	0.002	0.003	0.006	0.01
≥ 0.4	NC	≥ 6	0.002	0.008	0.2	0.002	0.002	0.002	0.005	0.008
II. Columns controlled by shear^{1,3}										
All cases ⁵			—	—	—	—	—	—	.0030	.0040
III. Columns controlled by inadequate development or splicing along the clear height^{1,3}										
Hoop spacing ≤ d/2			0.01	0.02	0.4	0.005	0.005	0.01	0.01	0.02
Hoop spacing > d/2			0.0	0.01	0.2	0.0	0.0	0.0	0.005	0.01
IV. Columns with axial loads exceeding 0.70P_o^{1,3}										
Conforming hoops over the entire length			0.015	0.025	0.02	0.0	0.005	0.01	0.01	0.02
All other cases			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

1. When more than one of the conditions i, ii, iii, and iv occurs for a given component, use the minimum appropriate numerical value from the table.
2. "C" and "NC" are abbreviations for conforming and nonconforming transverse reinforcement. A component is conforming if, within the flexural plastic hinge region, hoops are spaced at ≤ d/3, and if, for components of moderate and high ductility demand, the strength provided by the hoops (V₂) is at least three-fourths of the design shear. Otherwise, the component is considered nonconforming.
3. To qualify, columns must have transverse reinforcement consisting of hoops. Otherwise, actions shall be treated as force-controlled.
4. Linear interpolation between values listed in the table shall be permitted.
5. For columns controlled by shear, see Section 6.5.2.4.2 for acceptance criteria.

Figura 19. Parámetros, columnas de concreto reforzado. Fuente: FEMA356



5.11 CRITERIOS DE DISCRETIZACIÓN

Como los modelos a analizar deben ser discretizados y así representar la respuesta de Carga-Deformación de cada componente y así identificar las zonas de comportamiento inelástico. Este trabajo de grado usará el análisis Pushover, el cual estudia el comportamiento global inelástico de la estructura.

Por ello se demuestra que los diagramas de momento en vigas y columnas ante la acción de una fuerza horizontal que actúe sobre la estructura, presenta sus máximos momentos en los extremos de los elementos. Lo cual es indicativo de una alta probabilidad de que se generen rótulas plásticas en esos puntos.

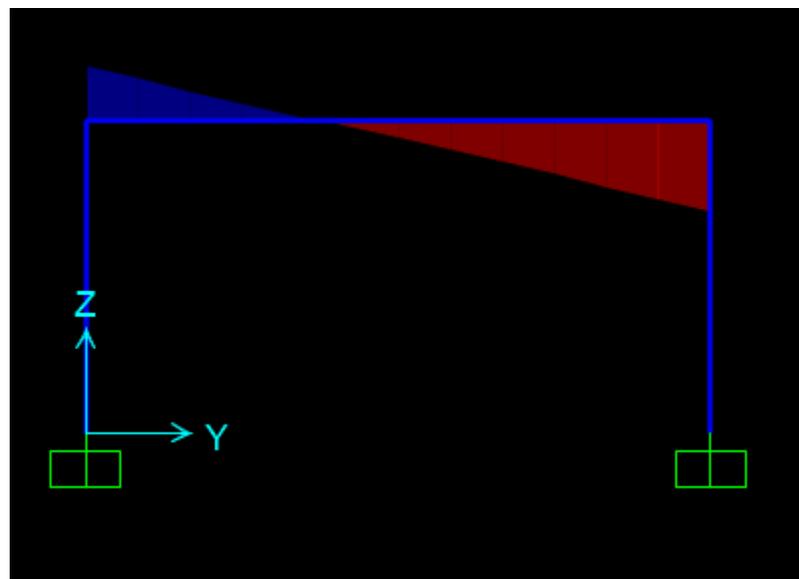


Figura 20. Esfuerzos en pórtico sometido a cargas laterales. Fuente: Propia

Por lo antes dicho, sólo se definirán rótulas plásticas en los extremos de los elementos, buscando controlar el problema.



5.12 MODELADO Y PROCESAMIENTO

5.12.1 DEFINICIÓN DE PATRONES DE CARGA

Para el análisis Pushover se definen tres (3) patrones de carga, los cuales son: Carga Muerta, Carga Viva, Carga Viva Techo y el Espectro.

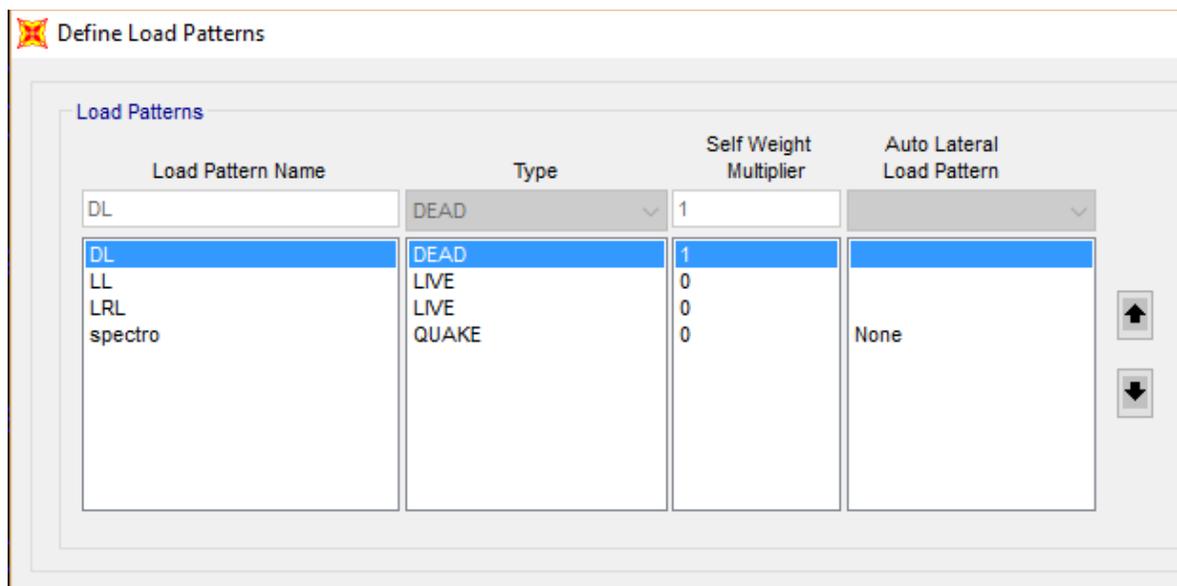


Figura 21. Patrones de carga. Fuente: SAP2000

5.12.2 Definición De Casos De Carga

En el análisis de la estructura se aplicarán tres casos de carga:

- Modal: El cual depende de que los modos de vibración de la estructura permitan una participación mayor al 90% de la masa total.
- GRAV: Se corresponde con un caso de carga del tipo no-lineal, el cual contiene la carga muerta con un factor multiplicador de 1.1 y las cargas vivas con un factor multiplicador de 0.25, como lo señala la FEMA 356. En este caso se considera el



efecto P-Delta, como lo indica la COVENIN 1756-2001. La condición inicial de este caso será "0".

- PUSHH: este es el análisis estático no lineal, será del tipo no-lineal, su estado de carga parte del caso GRAV, su factor multiplicador será la gravedad 9.81. Y será aplicado por control de desplazamiento, en el cual se le seleccionará un nodo de control en el último nivel de la estructura, permitiéndole un máximo desplazamiento, para evaluar el desempeño de la estructura hasta el desplazamiento permitido.

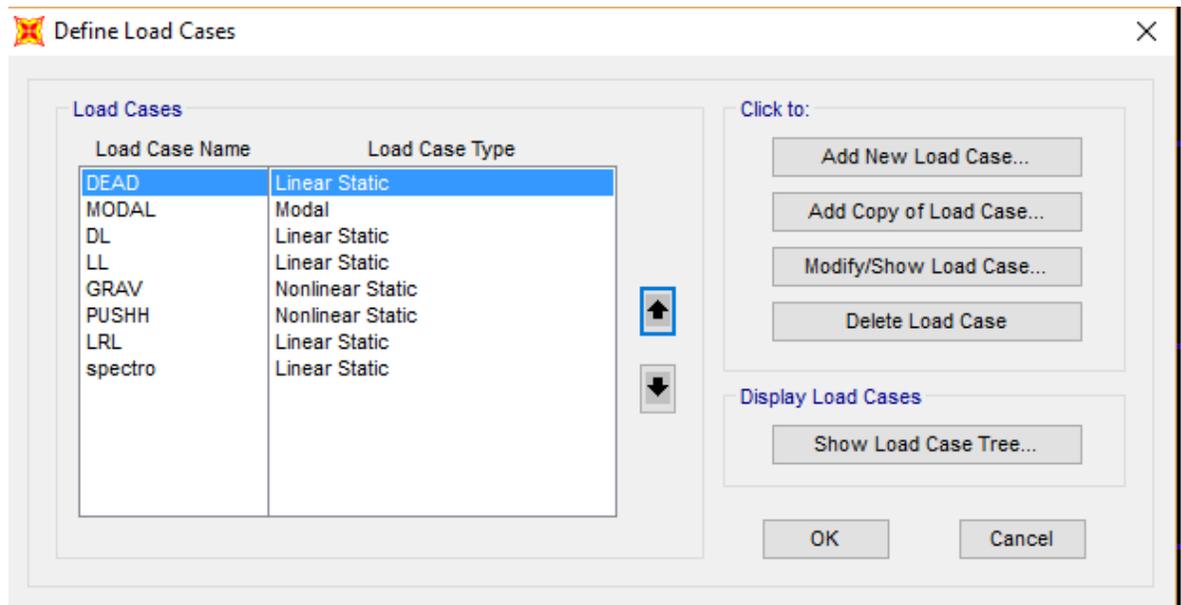


Figura 22. Casos de Carga. Fuente: SAP2000



Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: GRAV **Notes:**

Load Case Type: Static

Initial Conditions:
 Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
 Continue from State at End of Nonlinear Case
Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Analysis Type:
 Linear
 Nonlinear
 Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case:
All Modal Loads Applied Use Modes from Case: MODAL

Geometric Nonlinearity Parameters:
 None
 P-Delta
 P-Delta plus Large Displacements

Mass Source: Previous

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern <input type="button" value="v"/>	DL <input type="button" value="v"/>	1,1
Load Pattern	DL	1,1
Load Pattern	LL	0,25
Load Pattern	LRL	0,25

Other Parameters:
Load Application: Full Load
Results Saved: Multiple States
Nonlinear Parameters: Default

Figura 23. Definición de carga gravitaciona Estático No-Lineal. Fuente: SAP2000



The image shows three overlapping dialog boxes from the SAP2000 software. The largest dialog is "Load Case Data - Nonlinear Static". It contains the following sections:

- Load Case Name:** PUSHH
- Load Case Type:** Static
- Initial Conditions:** Continue from State at End of Nonlinear Case (GRAV)
- Analysis Type:** Nonlinear
- Geometric Nonlinearity Parameters:** None
- Modal Load Case:** All Modal Loads Applied Use Modes from Case (MODAL)
- Loads Applied:** A table with columns "Load Type", "Load Name", and "Scale Factor". It contains one entry: Mode 1, Load Name 1, Scale Factor 9,81.
- Other Parameters:** Load Application (Displ Control), Results Saved (Multiple States), Nonlinear Parameters (User Defined).

The "Load Application Control for Nonlinear Static Analysis" dialog is overlaid on the right, showing:

- Load Application Control:** Displacement Control
- Control Displacement:** Use Monitored Displacement
- Monitored Displacement:** DOF U1 at Joint 7

The "Results Saved for Nonlinear Static Load Cases" dialog is overlaid at the bottom, showing:

- Results Saved:** Multiple States
- For Each Stage:** Minimum Number of Saved States: 1, Maximum Number of Saved States: 300
- Save positive Displacement Increments Only:** Checked

Figura 24. Definición de Carga Lateral Estático No-Lineal. Fuente SAP2000



5.12.3 Asignación de Rótulas Plásticas.

La definición y asignación de las rótulas plásticas se rigen por lo explicado anteriormente, considerando en todos los casos los elementos como primarios y asumiendo que las rótulas se forman a un 5% y al 95% de la longitud total del elemento.

Con el uso de los grupos se seleccionan todas las vigas para seleccionarle las rótulas, tomando en cuenta que son vigas de concreto armado y la carga que le llegará es la GRAV.

Auto Hinge Assignment Data

Auto Hinge Type
From Tables In FEMA 356

Select a FEMA356 Table
Table 6-7 (Concrete Beams - Flexure) Item i

Component Type
 Primary
 Secondary

Degree of Freedom
 M2
 M3

V Value From
 Case/Combo
 User Value
GRAV
V2

Transverse Reinforcing
 Transverse Reinforcing is Conforming

Reinforcing Ratio (p - p)
 From Current Design
 User Value

Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity
 Drops Load After Point E
 Is Extrapolated After Point E

OK Cancel

Figura 25. Asignación de rótulas plásticas en vigas. Fuente: SAP2000



Luego en los grupos seleccionamos COLS para seleccionar todas las columnas y les asignamos las rótulas considerando que estas también son de concreto armado y las cargas las obtendrán del PUSHH.

Auto Hinge Assignment Data

Auto Hinge Type
From Tables In FEMA 356

Select a FEMA356 Table
Table 6-8 (Concrete Columns - Flexure) Item i

Component Type
 Primary
 Secondary

Degree of Freedom
 M2
 M3
 M2-M3
 P-M2
 P-M3
 P-M2-M3

P and V Values From
 Case/Combo
 User Value
PUSHH
P
V2
V3

Transverse Reinforcing
 Transverse Reinforcing is Conforming

Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity
 Drops Load After Point E
 Is Extrapolated After Point E

OK Cancel

Figura 26. Asignación de rótulas plásticas en columnas. Fuente: SAP2000



6. ANÁLISIS Y REVISIÓN DE LOS RESULTADOS

6.1 VIVIENDA EN LA ACTUALIDAD

Antes que nada, debemos mencionar los aspectos relacionados con la calidad de los materiales, los cuales son determinantes para el correcto modelado de las edificaciones. Seguidamente, se evaluará como se comportan las viviendas en las condiciones que se encuentra actualmente, para así saber que elementos son los primeros en fallar o las zonas de riesgo de la estructura. Después se utilizarán los métodos de reforzamiento en la estructura, para evaluar las diferencias en el desempeño de las mismas con y sin el reforzamiento.

Y al conocer que miembros fallan y zonas con alto riesgo de colapso, se pueden tomar consideraciones para reforzar la estructura y ver como varía en rendimiento de la misma. También podremos apreciar el comportamiento de la curva de rendimiento de la estructura, al aplicarle los métodos de reforzamiento en comparación a su estado actual.

Para poder realizar el análisis Pushover es necesario incorporar el espectro correspondiente a las condiciones del sitio, hay que recordar que varias de estas son asumidas por el autor por falta de datos. El espectro está definido en la figura 12. Acto seguido se corre la estructura en el SAP2000.

Vivienda Nro. 1

Cuando observamos el comportamiento de la estructura en las figuras anteriores, puede notarse que la primera aparición de rótulas es en las vigas y que a medida que aumenta el desplazamiento, aumenta la aparición de estas.

También podemos observar la pronta aparición de rótulas en las columnas antes de llegar al punto de rendimiento, punto en el cual se refleja el efecto máximo que tendría el sismo sobre la estructura, cosa que no es deseada ya que al fallar ellas prácticamente colapsa la estructura, por esto hay que evitar la presencia de estas, aunque al contemplar las rótulas



formadas se hace notar que aún no se encuentran en el rango de IO, desempeño alcanzado al seguir aplicando la fuerza lateral.

Punto de Rendimiento		
	ATC.40	FEMA 356
Corte basal (Tn)	12,82	12,82
Desplazamiento(cm)	18	17

De esto se puede apreciar que el pórtico de acceso a la calle colapsa rápidamente, haciendo que la estructura se tenga que comportar distinto.

Es por ello que la estructura se reforzará, en la búsqueda de un aumento de su resistencia, para que la misma se acerque en lo posible a los valores que debería de tener si hubiese tenido un buen diseño.

También se aprecia que el comportamiento es mayormente inelástico, en la primera rama de la curva la estructura se comporta como elástica hasta las 8 Tn aproximadamente valor en donde se empiezan a formar articulaciones en las columnas, a partir de ahí se entra en el rango inelástico, hasta llegar a un valor en el que la estructura colapsa a los 19 cm soportando un corte basal de 13 Tn aproximadamente.

Vivienda Nro. 2

Cuando observamos el comportamiento de la estructura, puede notarse que la primera aparición de rótulas es en las vigas y que a medida que aumenta el desplazamiento, aumenta la aparición de estas.

También podemos observar la pronta aparición de rótulas en las columnas antes de llegar al punto de rendimiento, punto en el cual se refleja el efecto máximo que tendría el



sismo sobre la estructura, cosa que no es deseada ya que al fallar ellas prácticamente colapsa la estructura, por esto hay q evitar la presencia de estas, aunque al contemplar las rótulas formadas se hace notar que aún no se encuentran en el rango de IO, desempeño alcanzado al seguir aplicando la fuerza lateral inclusive LS.

Además se puede apreciar como el pórtico de acceso a la calle colapsa rápidamente, haciendo que la estructura se tenga que comportar distinto, además empeorar el nivel de articulaciones en la base de la estructura, colapsando las mismas.

Punto de Rendimiento		
	ATC.40	FEMA 356
Corte basal (Tn)	13,13	13.13
Desplazamiento(cm)	13	13,5

Es por ello que la estructura se reforzará, en la búsqueda de un aumento de su resistencia, para que la misma se acerque en lo posible a los valores que debería de tener si hubiese tenido un buen diseño.

También se aprecia que el comportamiento es mayormente inelástico, en la primera rama de la curva la estructura se comporta como elástica hasta las 8 Tn aproximadamente valor en donde se empiezan a formar articulaciones en las columnas, a partir de ahí se entra en el rango inelástico, hasta llegar a un valor en el que la estructura colapsa a los 16 cm soportando un corte basal de 13,3 Tn aproximadamente.



Ductilidad

La ductilidad en las estructuras puede conocerse fácilmente de la curva Pushover, en este trabajo se hará visualmente. Y se obtiene de la división del punto donde la estructura alcanza la cedencia, entre el punto de la deformación última.

Al observar las curvas anteriores tenemos que:

Vivienda Nro.	Desplazamiento del techo (cm)		Ductilidad
	Punto de cedencia	Deformación última	
1	4,75	18,75	3,95
2	3,5	16,5	4,71

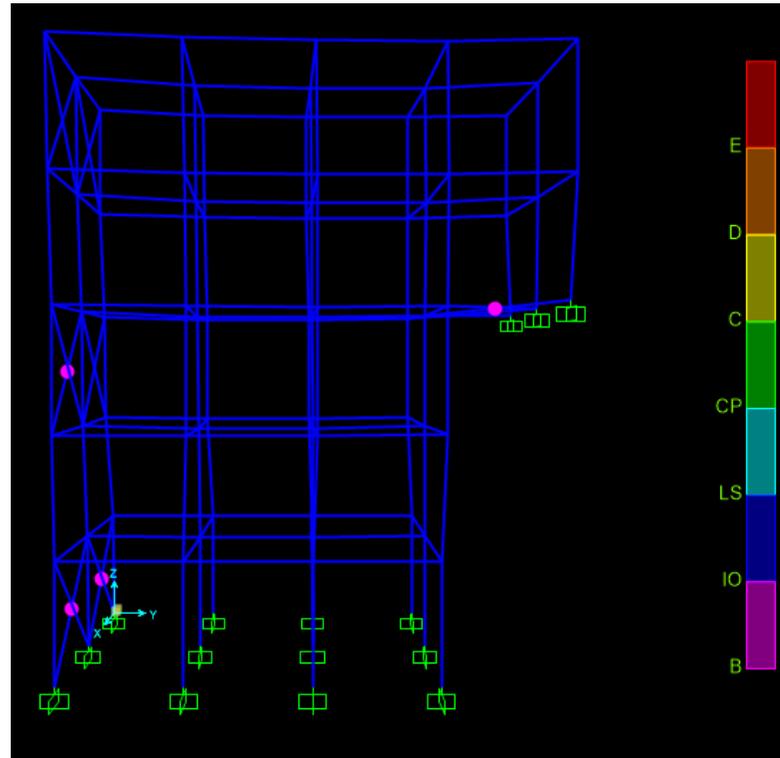
Tabla 2. Ductilidad, estado actual. Fuente: Propia

6.2 REFORZAMIENTO DE LA VIVIENDA

6.2.1 Vivienda Nro.1

Reforzamiento mediante Arriostramiento

Al observar el diseño de la estructura, se puede notar que en la entrada (eje 5) las bases de la vivienda no está al mismo nivel que el resto, y tampoco están conectadas a la estructura mediante vigas de riostra, es por ello que el primer paso al reforzar es conectar estas columnas con el resto de la estructura.



En este caso se reforzará con perfiles IPE100, serán colocados en equis para posteriormente asignarles las rótulas plasticas definidas por el programa las cuales estan ubicadas en el centro del elemento.

Punto de Rendimiento		
	ATC.40	FEMA 356
Corte basal (Tn)	N.A.	21.56
Desplazamiento(cm)	N.A.	7.9

Tabla 3. PR Viv. 1, arriostrada perfiles I. Fuente: Propia



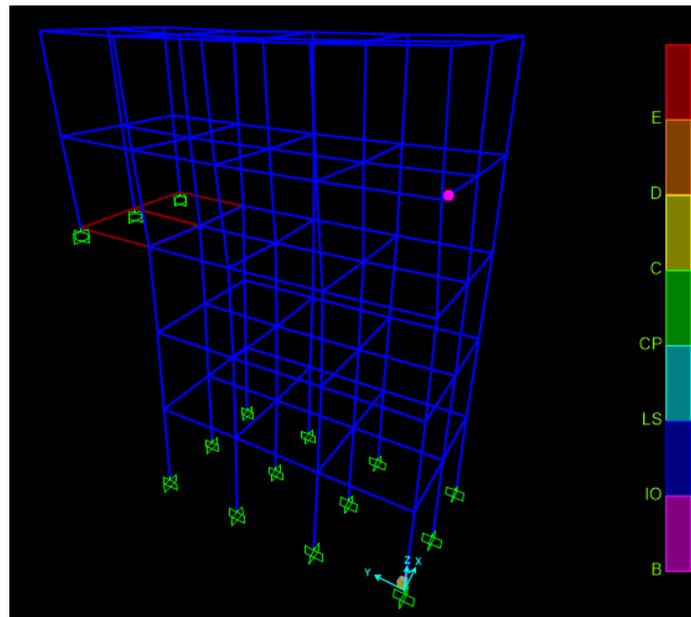
- Ductilidad

Vivienda Nro.	Desplazamiento del techo (cm)		Ductilidad
	Punto de cedencia	Deformación última	
1	0.8	6.4	8

Tabla 4. Ductilidad Viv. 1 arriostrada perfiles I. Fuente: Propia

Reforzamiento mediante Muros Portantes

Al igual que en el caso anterior de arriostramientos se buscó conectar la estructura mediante una losa maciza en la entrada del edificio, hacer esto como se muestra, no es aconsejable ya que aporta mucha rigidez a una estructura muy dúctil, volviéndola muy frágil y por ello la estructura soporta menores cargas laterales y tiene un desplazamiento menor.





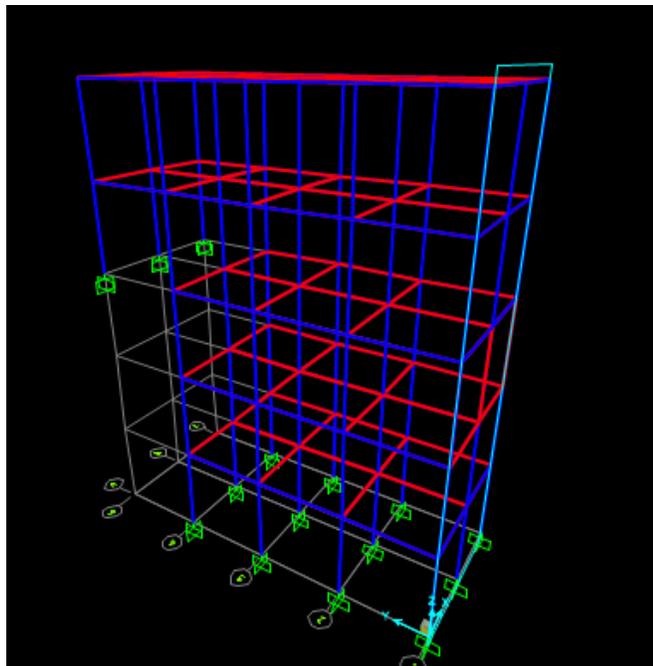
Punto de Rendimiento		
	ATC.40	FEMA 356
Corte basal (Tn)	11.69	12.48
Desplazamiento(cm)	2.9	3.3

Tabla 5. PR Viv. 1 Muro nivel piso. Fuente: Propia

A pesar de ello en este estudio, se siguió intentando mejorar la estructura con este método de reforzamiento, colocando muros en el pórtico del eje 1 en los pórticos del eje 1 justo por debajo del nivel de acceso y fue analizado, posteriormente se estudió el comportamiento de la vivienda colocando muros a nivel de piso en la entrada en combinación con muros en los pórticos más solicitados.

De estos casos se obtuvo:

- Muro en pórtico de eje 1

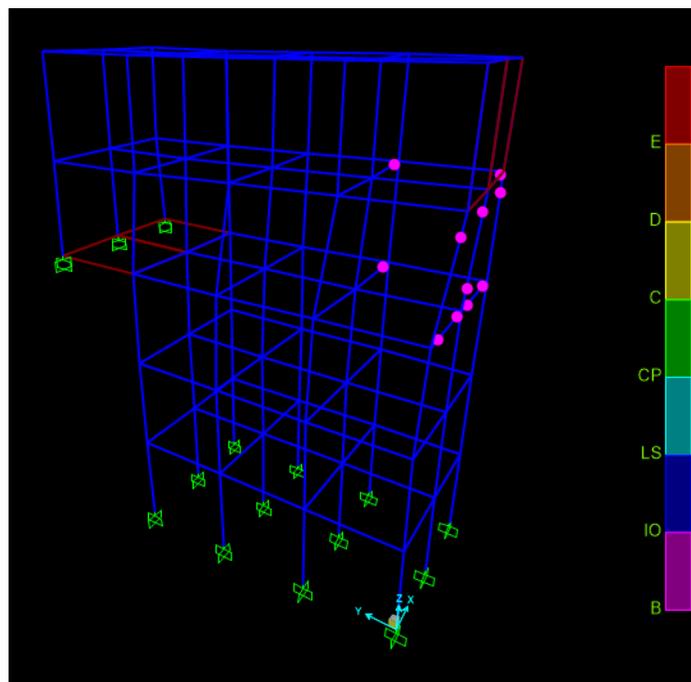




Punto de Rendimiento		
	ATC.40	FEMA 356
Corte basal (Tn)	N.A.	12.6
Desplazamiento(cm)	N.A.	13.6

Tabla 6. PR Viv. 1 Muro en pórtico. Fuente: Propia

- Combinación de losa y muro



Punto de Rendimiento		
	ATC.40	FEMA 356
Corte basal (Tn)	14.47	14.4
Desplazamiento(cm)	3.1	3

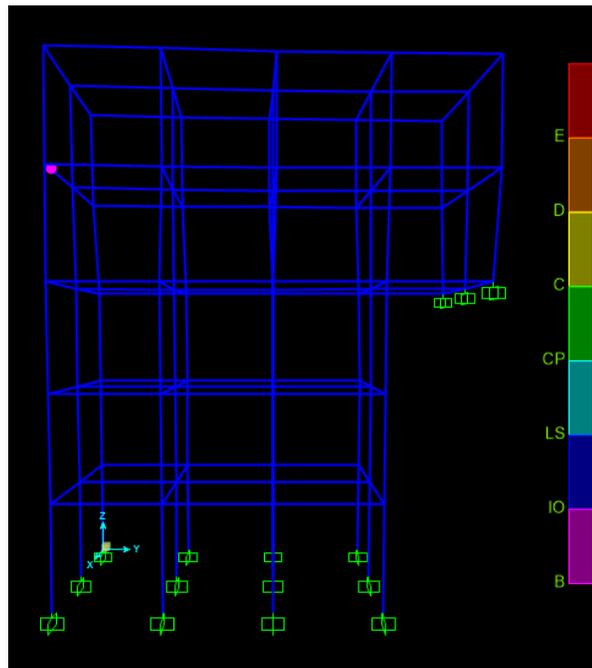
Tabla 7. PR Viv. 1 Muro nivel piso y pórtico. Fuente: Propia



Vigas de riostra

Visto el mal diseño de la estructura, este se mejoró adicionándole vigas de riostra la cuales conectan las bases de las columnas del eje 5 con el resto de la estructura.

Considerando que estas sería construidas por los mismos habitantes, se le asignó la misma calidad de materiales y secciones de que poseen las vigas ya existentes.



De los resultados arrojados por las curvas de capacidad cuando se colocan las vigas de riostra tenemos que:

Punto de Rendimiento		
	ATC.40	FEMA 356
Corte basal (Tn)	24.61	22.82
Desplazamiento(cm)	11.9	8.8

Tabla 8. PR Viv. 1 Vigas de riostra Fuente: Propia



- Ductilidad

Vivienda Nro.	Desplazamiento del techo (cm)		Ductilidad
	Punto de cedencia	Deformación última	
1	2	12.5	6.25

Tabla 9. Ductilidad Viv. 1 Vigas de riostra. Fuente: Propia

En este comportamiento se forman rótulas tanto en vigas como columnas, en las columnas se generan antes de alcanzar en punto de desempeño, lo cual no es bueno, dado a que en el pórtico de entrada se generan articulaciones con un nivel de desempeño LS que a pesar de todo garantiza que no hayan pérdidas humanas.

Placas Metálicas

Para la colocación de las placas metálicas, se utilizaron láminas de $\frac{1}{4}$ ". Y para su simulación se aplicó el método de sección transformada, pasando la sección de acero al concreto estructural usado en la estructura, aumentado la sección de los miembros.

Hay que mencionar que se asupuso la colocación de la plancha por todas las caras y a lo largo de las columnas reforzadas, esto debido a que se está tomando en cuenta que se conoce que en muchos casos de las viviendas de autoconstrucción no consideran las normas y muchas veces improvisan los métodos constructivos viéndose afectados aspectos del diseño como separación de ligaduras, longitud de desarrollo, entre otros.

Método de sección transformada:

$$E_c = 178.665 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_{\text{placa}} = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$



$$n = \frac{2,1 \times 10^6}{178.665}$$

$$n = 11,75$$

Por ello la sección aumentó 7,5 cm por cara.

Ya que este método está siendo aplicado junto con la colocación de la viga de riostra, para disminuir la colocación de las placas metálicas, solo se reforzaron las columnas del pórtico de entrada, el cual como se ha visto anteriormente es el más solicitado.





Punto de Rendimiento		
	ATC.40	FEMA 356
Corte basal (Tn)	N.A.	25.6
Desplazamiento(cm)	N.A.	8.1

Tabla 10. PR Viv. 1 Combinación vigas de riostra, placas metálicas Fuente: Propia

- Ductilidad

Vivienda Nro.	Desplazamiento del techo (cm)		Ductilidad
	Punto de cedencia	Deformación última	
1	2	10	5

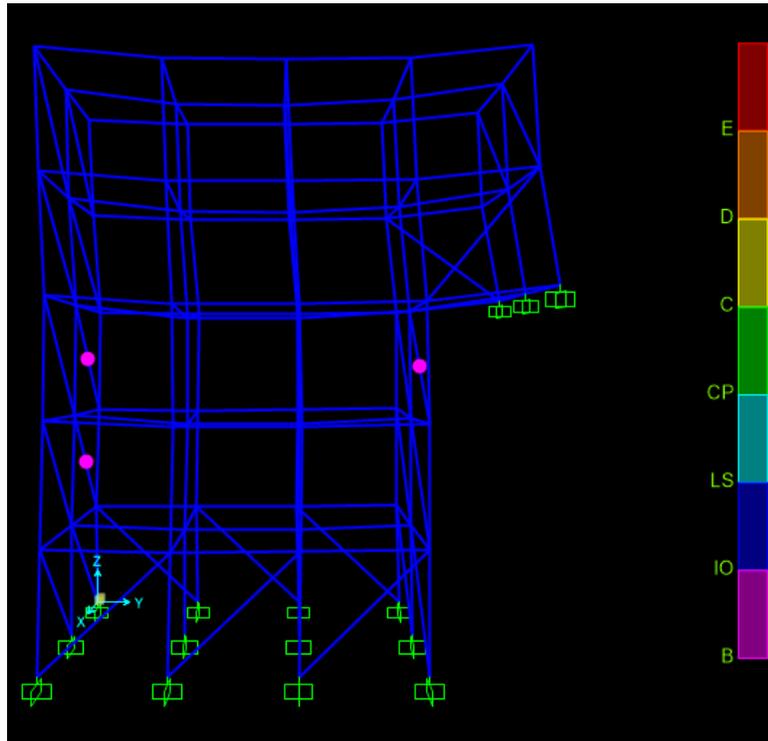
Tabla 11. Ductilidad Viv. 1 Combinación vigas de riostra, placas metálicas Fuente: Propia

La ductilidad obtenida con este método es muy buena debido a que es muy cercana a la que se usa en el diseño, la cual es de 6.

En este comportamiento se forman rótulas tanto en vigas como columnas, en las columnas se generan antes de alcanzar en punto de desempeño, lo cual no es bueno, dado a que en el pórtico de entrada se generan articulaciones con un nivel de desempeño IO, por lo que no habrán apenas apreciables.

Considerando aporte de Mampostería Confinadas

Aunque esta investigación no considera el aporte de la mampostería, se quiere demostrar el cambio de desempeño de la estructura al considerarla. Solo se consideró el aporte de la mampostería en los pórticos que después de los análisis ya realizados fueron considerados como los más solicitados del sistema.



Para la simulación de la mampostería se agregaron diagonales con perfiles IPE100, asignándoles rótulas plásticas basadas en estudio Theoktisto, Victor; González, Nestor; Rodríguez, Francisco; Márquez, Brigitte, titulado “EVALUACION DE MUROS DE MAMPOSTERIA CONFINADA REFORZADOS CON MALLAS PLASTICAS” y de esto se obtuvieron los siguientes resultados:

Punto de Rendimiento		
	ATC.40	FEMA 356
Corte basal (Tn)	7.7	N.A.
Desplazamiento(cm)	0.03	N.A.

Tabla 12. PR Viv. 1 Diagonales. Fuente: Propia



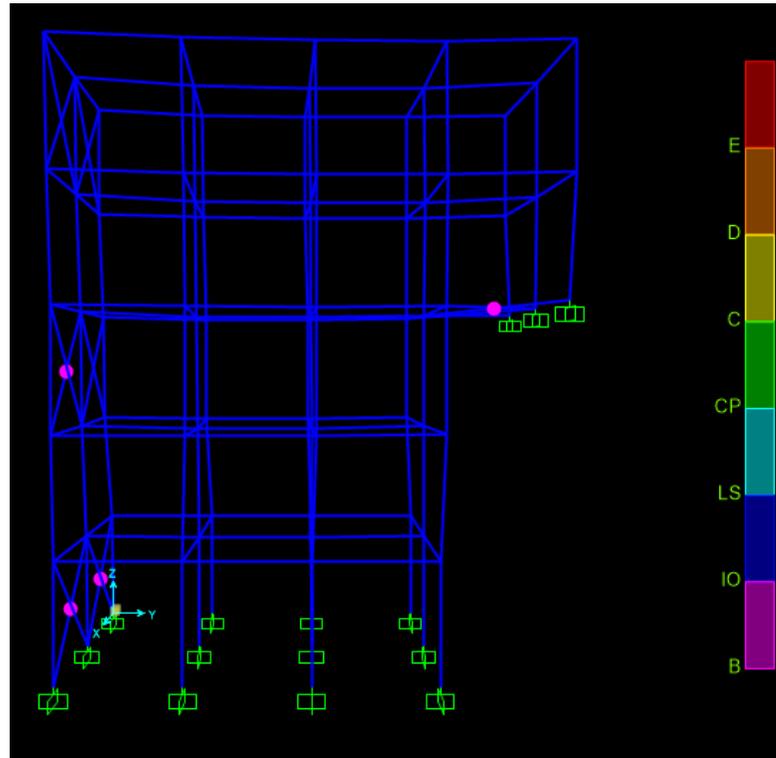
Al ver la curva de capacidad se observa los quiebres que tiene la misma, reflejo de las rótulas que se forman en las diagonales esto dado a que son las primeras solicitadas, y al fallar estas es que los demás miembros son solicitados, como un efecto "dominó".

6.2.2 Vivienda Nro.2

Reforzamiento mediante arriostramiento

Al observar el diseño de la estructura, se puede notar que en la entrada (eje 5) las bases de la vivienda no está al mismo nivel que el resto, y tampoco están conectadas a la estructura mediante vigas de riostra, es por ello que el primer paso al reforzar es conectar estas columnas con el resto de la estructura.

En este caso se reforzará con perfiles IPE100, serán colocados en equis para posteriormente asignarles las rótulas plasticas definidas por el programa las cuales estan ubicadas en el centro del elemento.



Punto de Rendimiento		
	ATC.40	FEMA 356
Corte basal (Tn)	16.68	17
Desplazamiento(cm)	3.6	3.4

Tabla 13. PR Viv.2 , arriostrada perfiles I . Fuente: Propia

- Ductilidad

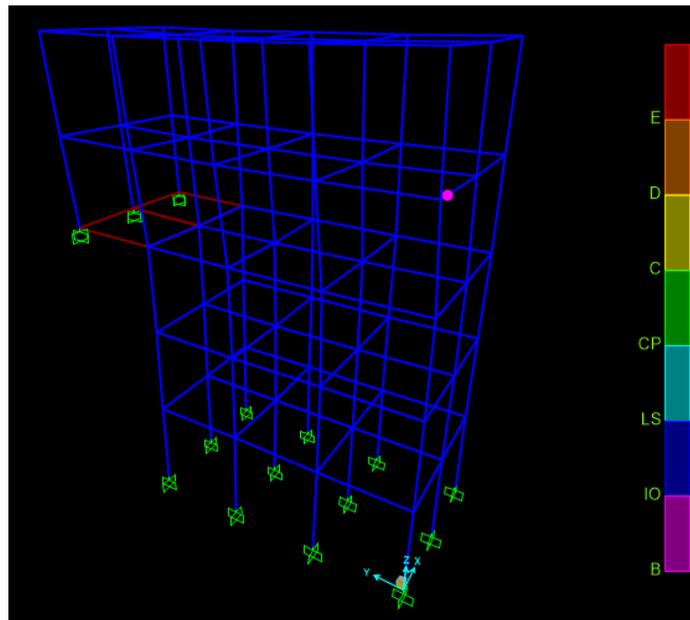
Vivienda Nro.	Desplazamiento del techo (cm)		Ductilidad
	Punto de cedencia	Deformación última	
2	0.8	5.4	6.75

Tabla 14. Ductilidad Viv.2 , arriostrada perfiles I . Fuente: Propia



Reforzamiento mediante Muros Portantes

Al igual que en el caso anterior de arriostramientos se buscó conectar la estructura mediante una losa maciza en la entrada del edificio, hacer esto como se muestra, no es aconsejable ya que aporta mucha rigidez a una estructura muy dúctil, volviéndola muy frágil y por ello la estructura soporta menores cargas laterales y tiene un desplazamiento menor.



Punto de Rendimiento		
	ATC.40	FEMA 356
Corte basal (Tn)	11.69	12.48
Desplazamiento(cm)	2.9	3.3

Tabla 15. PR Viv.2 , Muros nivel de suelo . Fuente: Propia

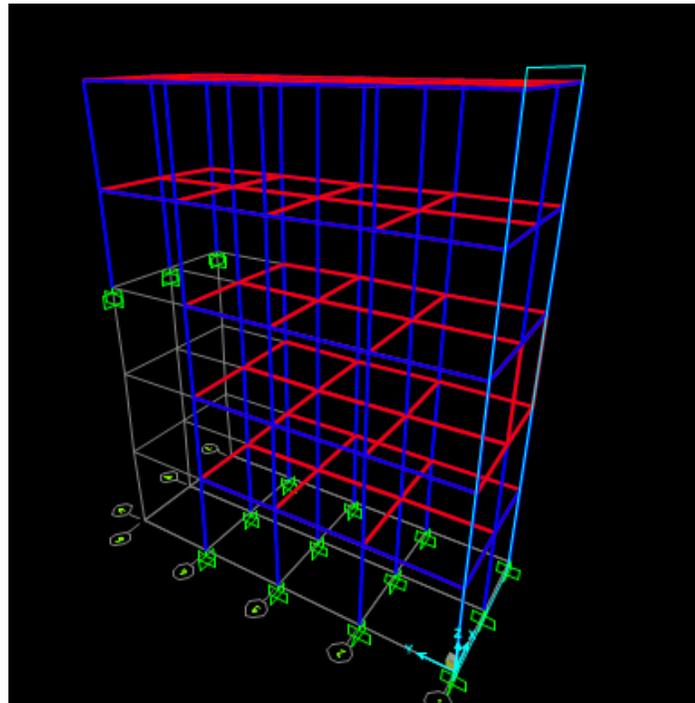
A pesar de ello en este estudio, se siguió intentando mejorar la estructura con este método de reforzamiento, colocando muros en el pórtico del eje 1 en los pórticos del eje 1 justo por debajo del nivel de acceso y fue analizado, posteriormente se estudió el



comportamiento de la vivienda colocando muros a nivel de piso en la entrada en combinación con muros en los pórticos más solicitados.

De estos casos se obtuvo:

- Muro en pórtico de eje 1

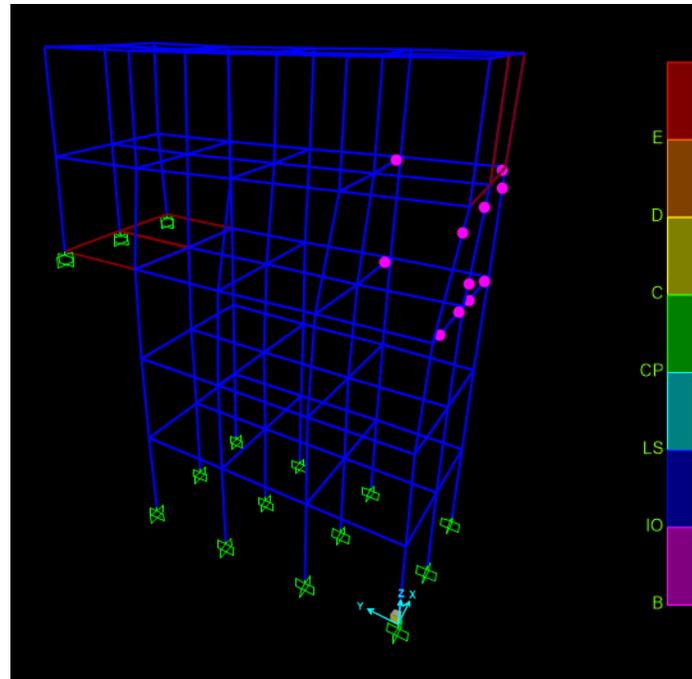


Punto de Rendimiento		
	ATC.40	FEMA 356
Corte basal (Tn)	N.A.	12.6
Desplazamiento(cm)	N.A.	13.6

Tabla 16. PR Viv.2 , Muros en pórtico . Fuente: Propia



- Combinación de losa y muro



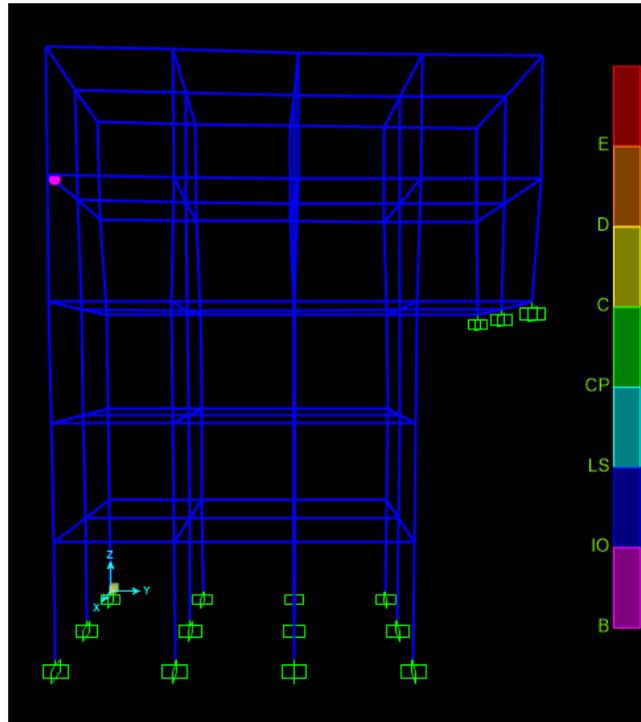
Punto de Rendimiento		
	ATC.40	FEMA 356
Corte basal (Tn)	13.56	14.31
Desplazamiento(cm)	2	2.4

Tabla 17. PR Viv.2 , Muros nivel de suelo y pórticos. Fuente: Propia

Vigas de riostra

Visto el mal diseño de la estructura, este se mejoró adicionándole vigas de riostra las cuales conectan las bases de las columnas del eje 5 con el resto de la estructura.

Considerando que estas serían construidas por los mismos habitantes, se le asignó la misma calidad de materiales y secciones de que poseen las vigas ya existentes.



De los resultados arrojados por las gráficas cuando se colocan las vigas de riostra tenemos que:

Punto de Rendimiento		
	ATC.40	FEMA 356
Corte basal (Tn)	24.1	22.78
Desplazamiento(cm)	8.1	6.8

Tabla 18. PR Viv. 2 vigas de riostra Fuente: Propia

Como podemos observar el simple hecho de colocar las vigas de riostra hace que la estructura se comporte mucho mejor aumentando su desempeño, disipación de energía y corte basal.



- Ductilidad

Vivienda Nro.	Desplazamiento del techo (cm)		Ductilidad
	Punto de cedencia	Deformación última	
2	1.5	12	8

Tabla 19. Ductilidad Viv. 2 vigas de riostra Fuente: Propia

En este comportamiento se forman rótulas tanto en vigas como columnas, en las columnas se generan antes de alcanzar en punto de desempeño, lo cual no es bueno, dado a que en el pórtico de entrada se generan articulaciones con un nivel de desempeño LS que a pesar de todo garantiza que no hayan pérdidas humanas.

Placas Metálicas

Para la colocación de las placas metálicas, se utilizaron láminas de $\frac{1}{4}$ ". Y para su simulación se aplicó el método de sección transformada, pasando la sección de acero al concreto estructural usado en la estructura, aumentando la sección de los miembros.

Hay que mencionar que se supuso la colocación de la plancha por todas las caras y a lo largo de las columnas reforzadas, esto debido a que se está tomando en cuenta que se conoce que en muchos casos de las viviendas de autoconstrucción no consideran las normas y muchas veces improvisan los métodos constructivos viéndose afectados cosas del diseño como separación de ligaduras, longitud de desarrollo, entre otros.

Método de sección transformada:

$$E_c = 178.665 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_{\text{placa}} = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$



$$n = \frac{2,1 \times 10^6}{178.665}$$

$$n = 11,75$$

Por ello la sección aumentó 7,5 cm por cara.

Ya que este método está siendo aplicado junto con la colocación de la viga de riostra, para disminuir la colocación de las placas metálicas, solo se reforzaron las columnas del pórtico de entrada, el cual como se ha visto anteriormente es el más solicitado.





Punto de Rendimiento		
	ATC.40	FEMA 356
Corte basal (Tn)	24.99	24.47
Desplazamiento(cm)	6.7	6.3

Tabla 20. PR Viv. 2 Combinacion vigas de riostra y placas metálicasFuente: Propia

Se observa un mejoramiento en el cortante basal, lo que indica una mejor disipación de energía en la estructura.

- Ductilidad

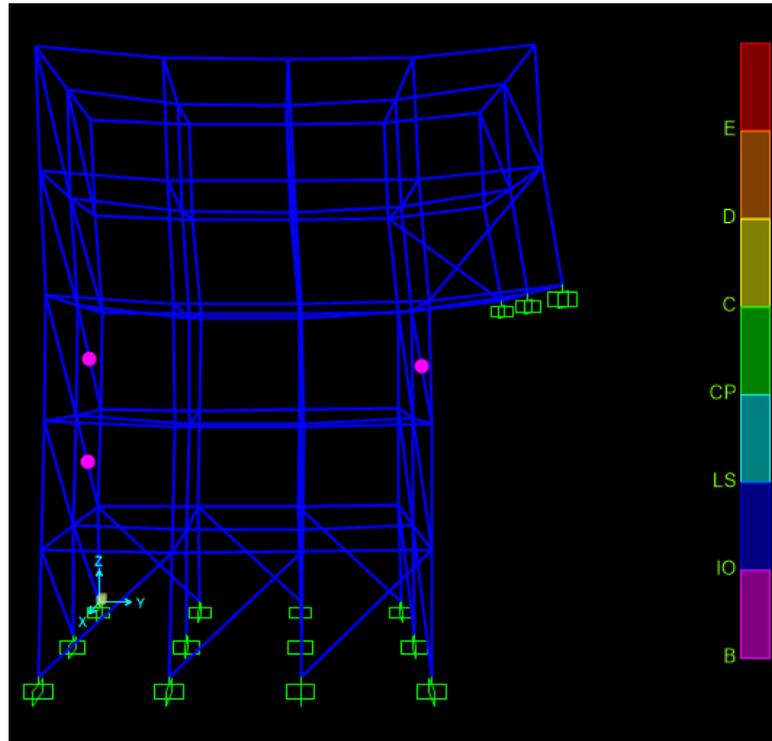
Vivienda Nro.	Desplazamiento del techo (cm)		Ductilidad
	Punto de cedencia	Deformación última	
2	1.5	14	9.3

Tabla 21. Ductilidad Viv. 2 Combinacion vigas de riostra y placas metálicasFuente: Propia

En este comportamiento se forman rótulas tanto en vigas como columnas, en las columnas se generan antes de alcanzar en punto de desempeño, lo cual no es bueno, dado a que en el pórtico de entrada se generan articulaciones con un nivel de desempeño IO, por lo que no habrán apenas apreciables, y estas se generan justo antes de llegar al punto de desempeño.

Considerando aporte de Mampostería Confinadas

Aunque esta investigación no considera el aporte de la mampostería, se quiere demostrar el cambio de desempeño de la estructura al considerarla. Solo se consideró el aporte de la mampostería en los pórticos que después de los análisis ya realizados fueron considerados como los más solicitados del sistema.



Para la simulación de la mampostería se agregaron diagonales con perfiles IPE100, asignándoles rótulas plásticas basadas en estudio Theoktisto, Victor; González, Nestor; Rodríguez, Francisco; Márquez, Brigitte, titulado “EVALUACION DE MUROS DE MAMPOSTERIA CONFINADA REFORZADOS CON MALLAS PLASTICAS” y de esto se obtuvieron los siguientes resultados:

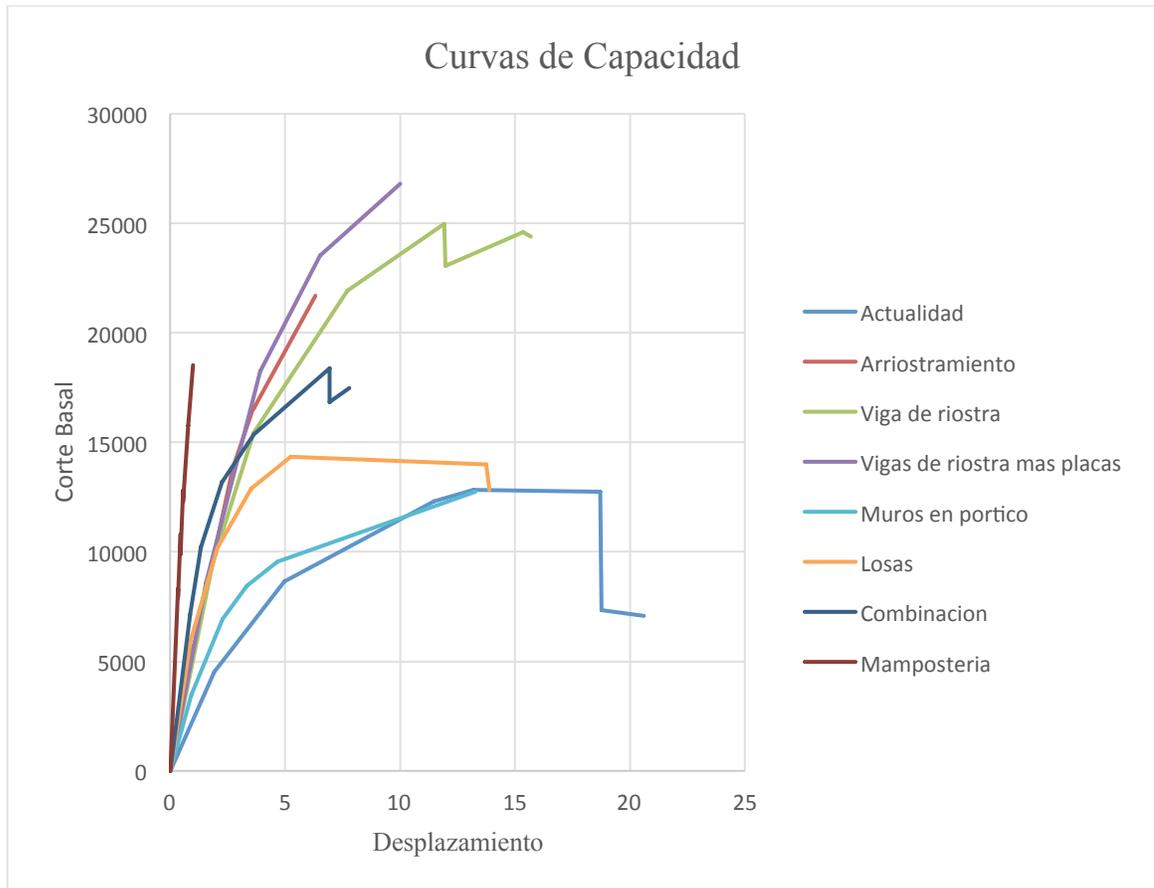
Punto de Rendimiento		
	ATC.40	FEMA 356
Corte basal (Tn)	23.11	12.81
Desplazamiento(cm)	13.4	4.3

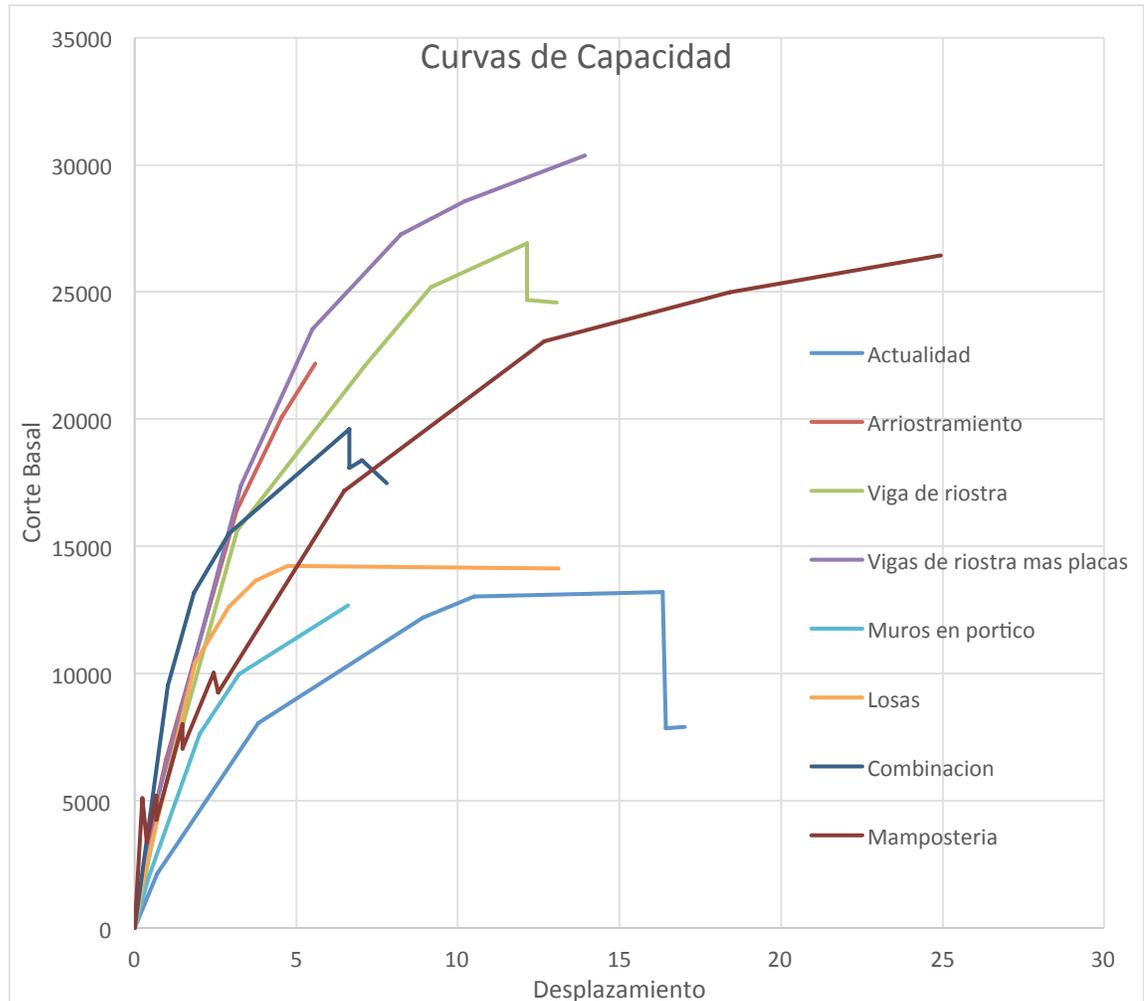
Tabla 22. PR Viv. 1 Diagonales. Fuente: Propia

En este caso como los nervios están colocados en sentido “Y”, las cargas son distribuidas al contrario que la vivienda nro. 1, y se observa como esto afecta al simular los



muros, aumento el desempeño según la ATC40, y como mantiene su desempeño según la FEMA 356.





De los resultados analizados anteriormente se puede afirmar que en ambas viviendas, el reforzamiento mediante la adición de muros no es recomendable porque estos aportan una gran rigidez haciendo la estructura muy frágil disminuyendo su capacidad de disipación de energía. El arriostramiento aumenta la resistencia de la estructura a su vez que mejoró la ductilidad de la estructura.

También se puede afirmar que con un mejor diseño que implica la adición de vigas de riostras el comportamiento de la estructura mejora considerablemente y si es aplicado en conjunto la adición de placas metálicas, se considera el mejor método no solo por el



desempeño de la estructura si no también por el factor económico ya que puede ser implementado poco a poco.

Además, a pesar del mejoramiento de ambas estructuras al ser analizadas antes y después del reforzamiento podemos observar que se comportaron de maneras similares arrojando resultados semejantes, cosa que no es así al momento de considerar el aporte de la mampostería.



7. CONCLUSIONES

En este trabajo se estudió el desempeño de dos viviendas típicas del Callejón Las Clavellinas, para ello se realizaron encuestas a los constructores y maestros de obra de la zona, con esto se pudo determinar las tendencias constructivas de este sector, la vivienda típica vulnerable y también se obtuvo la calidad de materiales y geometría de la estructura. Estas fueron modeladas en el programa SAP2000, donde se le aplicó el método estático equivalente “Pushover” para conocer el desempeño de la misma y luego se utilizaron métodos de reforzamiento para establecer cómo cambia el desempeño de las mismas con dichos reforzamientos, lo cual se resume a continuación:

- Actualidad: las viviendas presentan comportamientos muy similares como podemos observar de los resultados de las mismas, en los que ambas arrojaron puntos de rendimiento cercanos a 13 Tn y pero la vivienda nro.1 con 19 cm de desplazamiento y la nro. 2 con 16 cm. Dando como resultado ductilidades cercanas a 4 siendo estas menores a la establecida por la norma.
- Aporte de mampostería confinada: Aunque en esta investigación no consideró el aporte de la mampostería se analizó la estructura tomando en cuenta su presencia solamente en la situación actual, esto volvió la vivienda muy rígida disminuyendo su ductilidad; solo se consideraron la mampostería, en los pórticos externos en el sentido más exigido de la vivienda, provocando la disminución de la resistencia al corte basal, y desplazamiento.
- Arriostramientos: Primero debido a las condiciones de construcción de las estructuras en las cuales los pórticos de acceso no están conectados al resto de la estructura, se colocaron arriostramientos a nivel del piso en la entrada de la vivienda, con esto la estructura cambió su comportamiento y a partir de esto se observaron los pórticos más



solicitados para así reforzarlos, estos fueron ciertos pórticos en el eje “X”, específicamente los del eje 1, se colocaron poco a poco los arriostramientos mientras se observó el desempeño de la estructura. Al ser aplicado este método las estructuras mejoraron, aumentando la energía disipada durante la acción de un sismo. Esto se ve reflejado en su ductilidad la cual en ambos casos aumento de 3,95 a 8 y de 4,71 a 6,75 para la vivienda nro. 1 y la nro. 2 respectivamente.

- Adición de muros portantes: Al igual que en el caso anterior estos fueron colocados a nivel del piso en la entrada de la vivienda intentando mejorar el diseño. No obstante esto no arrojó buenos resultados ya que disminuyó la ductilidad haciendo que los desplazamientos pasaran de 19 y 16 cm en las viviendas nro 1 y 2 respectivamente a 3 cm en ambas. Luego se modeló colocando muros en los pórticos más exigidos, a pesar de cambiar la forma de afrontar el problema con este método de reforzamiento no se obtuvieron resultados satisfactorios esto debido a que se vuelve muy frágil la estructura porque soporta termina soportando cortantes menores y desplazamientos menores. Posteriormente se colocaron muros en combinación del primer diseño de refuerzo con el segundo, porque el primero cubre las deficiencias del diseño y el segundo aporta resistencia a los pórticos más exigidos. Este método observando los resultados no es recomendable dado a que aumenta la rigidez de la estructura disminuyendo su desplazabilidad, además de aportar un aumento de carga para la estructura, como reflejo de esto se observa los puntos de rendimiento de la estructura. Que disminuye alrededor de 3 cm el desplazamiento de estas al colocarle un muro a nivel de suelo buscando mejorar deficiencias del diseño de las estructuras. Y al colocar los muros en los pórticos mas exigidos no disminuye tanto su disipación de energía aunque si empeora considerando su estado actual, soportando un corte menor y disminuyendo su desplazamiento.
- Placas metálicas: en este caso primero se reforzó el diseño de la estructura adicionandole vigas de riostra en el pórtico de entrada debido a que en la vivienda no existen, la presencia de estas mejora el comportamiento prácticamente duplicando el



cortante basal a casi el doble de su capacidad en la actualidad y una ductilidad muy cercana a la de diseño para este tipo de estructura en el caso de la vivienda nro. 1, y en la vivienda nro. 2 también se observaron mejoras al aumentar su ductilidad a 8. Al observar estos resultados se reforzó el pórtico de entrada el cual es el más exigido y se reforzó con placas metálicas mejorando un poco más el desempeño de ambas estructuras, llevando el corte basal a valores cercanos a las 25 toneladas mientras que en la actualidad resiste 13,3 Tn, y por ello aumenta el área bajo la curva, lo que quiere decir que la disipación de energía es mayor.

La adición de las vigas de riostra sólo fue aplicada en combinación con las placas metálicas debido a que el pórtico que fue reforzado con estas es donde se encuentra el acceso a la vivienda, por ende no se podría agregar arriostramientos o muros portantes.

También hay que destacar que a pesar de ser viviendas que no fueron construidas bajo los criterios establecidos por la norma se cumple la condición viga débil columna fuerte, esto se evidencia en que la aparición de rótulas ocurre primero en las vigas.

En los casos de reforzamiento en que se aumentó la ductilidad de la estructura conlleva a una mejora de la disipación de energía.

De acuerdo con los resultados del desempeño de las estructuras con los tres métodos de reforzamiento se evidencia que el más viable es el que usa la adición de placas metálicas en las columnas del pórtico de entrada en combinación con la incorporación de las vigas de riostra conectando el pórtico de entrada con el próximo, debido a que la ausencia de estas hace la estructura muy vulnerable, provocando su pronto colapso. Desde el punto de vista constructivo, esto se puede lograr paso a paso, construyendo primero las vigas y luego la instalación de las placas en las columnas del pórtico de entrada, de manera que el gasto económico no sería grande ni inmediato.



A pesar de que con los reforzamientos propuestos se mejoró el desempeño de las estructuras hay que destacar, que no se logró llegar al cortante basal mínimo solicitado por la normativa venezolana el cual es de 36,9 Tn, y el mayor obtenido después de aplicar el reforzamiento es de 25,6 Tn. Sería conveniente examinar con mayor detalle otras formas de reforzar este tipo de edificaciones para tratar de alcanzar esa meta.

8.RECOMENDACIONES

De este estudio podemos observar como a pesar de que al reforzar las estructuras se mejora el desempeño de las mismas, no se logró alcanzar el cortante basal al mínimo exigido por la norma, es por ello que se aconseja estudiar con mayor detalle si estas viviendas se comportan como aperticadas o de mampostería para analizar con mayor detalle otras formas de reforzamiento para alcanzar los valores mínimos exigidos por la norma.

También se recomienda profundizar esta investigación, ya que es un realidad con la que nos encontramos en Venezuela y que con el pasar de los años se encuentra en aumento la presencia de estas viviendas de autoconstrucción.

Se recomienda analizar el reforzamiento de las fundaciones ya que estas se ven afectadas al alterar el diseño de la estructura.

Adicionalmente, se propone la correcta instrucción de los maestros de obra a fin de mejorar los criterios de construcción de viviendas populares y con los municipios establecer límites al crecimiento vertical de las mismas, a fin de reducir la vulnerabilidad y el riesgo para evitar pérdidas humanas, económicas y materiales.



9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- COVENIN (2001). Edificaciones Sismorresistentes 1756-2001. Fondonorma. Caracas.
- 2- COVENIN (1988). Criterios y Acciones Mínimas para el Proyecto de Edificaciones 2002-88. Fondonorma. Caracas.
- 3- CHOPRA ANIL K. Y GOEL RAKESH K. (2001): “A modal pushover procedure to estimate seismic demands for buildings: Theory and preliminary evaluation”. Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- 4- LÓPEZ, OSCAR A. y DEL RE RUÍZ, Gianina (2008): “Evaluación de los Métodos de Análisis Estático No lineal para Determinar la Demanda Sísmica en Estructuras Aporticadas de Concreto Armado”. Boletín Técnico Imme Volumen 46 No 3, Caracas.
- 5- Manual del constructor popular. Luis A. López R
- 6- Norma Estadounidense ATC-40. SEISMIC EVALUATION AND RETROFIT OF CONCRETE BUILDINGS.
- 7- Norma FEMA 356. GUIDELINES FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS



AGRADECIMIENTOS

Al finalizar este Trabajo Especial de Grado me doy cuenta de lo agradecido que debo estar con las personas que me han ayudado en este viaje.

Primero quiero agradecer Robert Bustamante compañero de estudio a lo largo de la carrera y buen amigo, quien me abrió las puertas de su comunidad y así poder darle inicio y sentido a este trabajo.

También quiero agradecerle al Ing. Domingo Gómez quien fue una grandísima ayuda, siempre aclarando mis dudas y aportándome conocimiento más allá del consultado.

Al Ing. Heriberto Echezuria, de verdad gracias, por todo lo que me aportó, siempre a la disposición ante cualquier inconveniente. Considero que es una persona a la que puedo acudir en cualquier momento, porque no solo un profesional, una gran persona.

Carlos Llagostera, gracias si no fuese por ti no hubiese podido iniciar este trabajo. Me decante por la ingeniería civil, gracias a comentarios que escuchaba de ti, cuando te consultaba cosas sobre este mundo aconsejándome como profesional y amigo, dándome una perspectiva distinta del mundo de la ingeniería, haciendo que cambie mi forma de ver como puedo desarrollarme como profesional. Gracias.

Reinaldo Pierral, papá gracias que en la distancia siempre has estado pendiente de mí, de cómo me va en la universidad. Ayudándome en lo que



podías, buscando a darme esos empujones hacia adelante para crecer como persona y profesional.

Anick Ascaso, muy agradecido contigo por todo lo que haz hecho por mí en las distintas etapas de mi vida. Creo que no hace falta mencionar que cada vez que me acerco a preguntar cualquier cosa, me atiendes, e contestas, buscas la forma de ayudarme, si ves que hago algo mal me lo haces notar y esto ha sido así siempre.

GRACIAS

“...mi porvenir es tu obra”



1. ANEXO A

VIVIENDA Nro.1

Estado actual

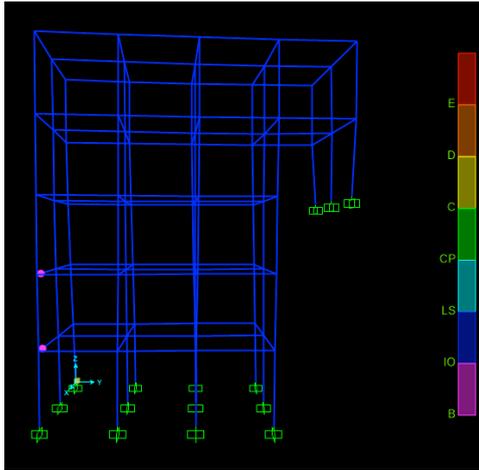


Figura 1. Aparición de Rótulas Plásticas

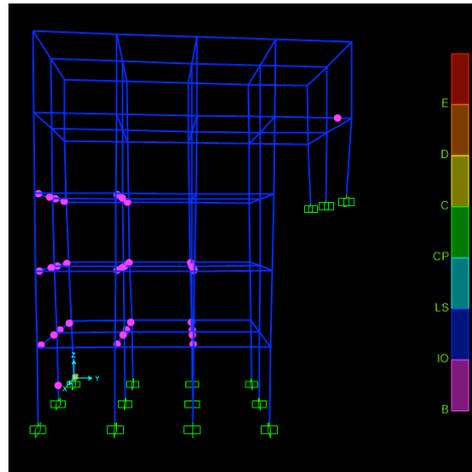


Figura 2. Aparición de Rótulas Plásticas

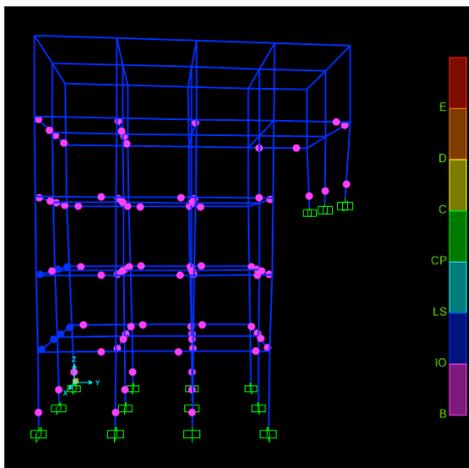


Figura 3. Aparición de Rótulas Plásticas

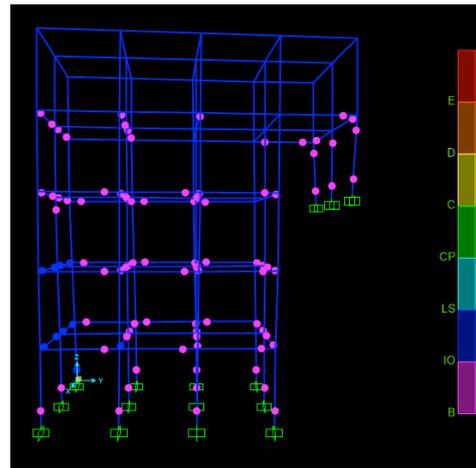


Figura 4. Aparición de Rótulas Plásticas

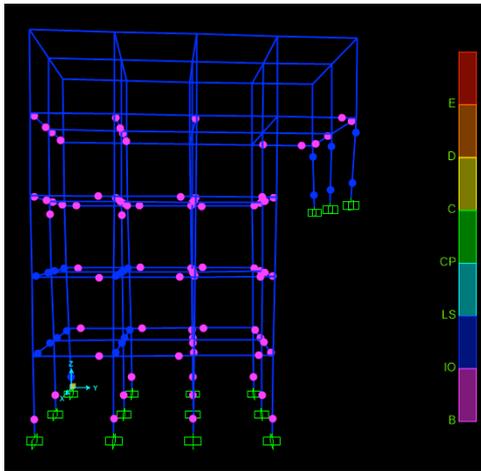


Figura 5. Aparición de Rótulas Plásticas

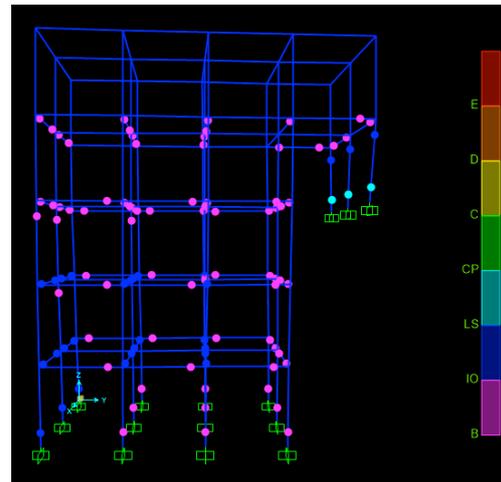


Figura 6. Aparición de Rótulas Plásticas

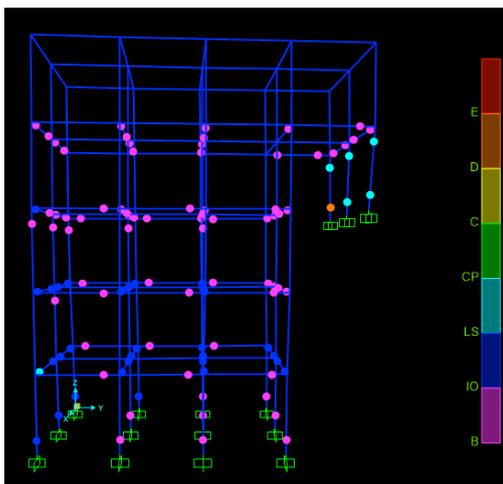


Figura 7. Aparición de Rótulas Plásticas

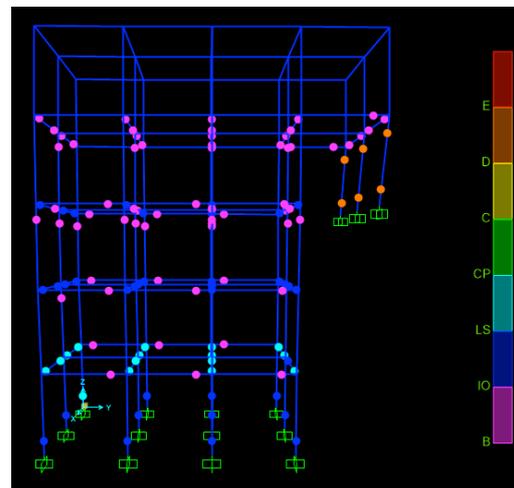
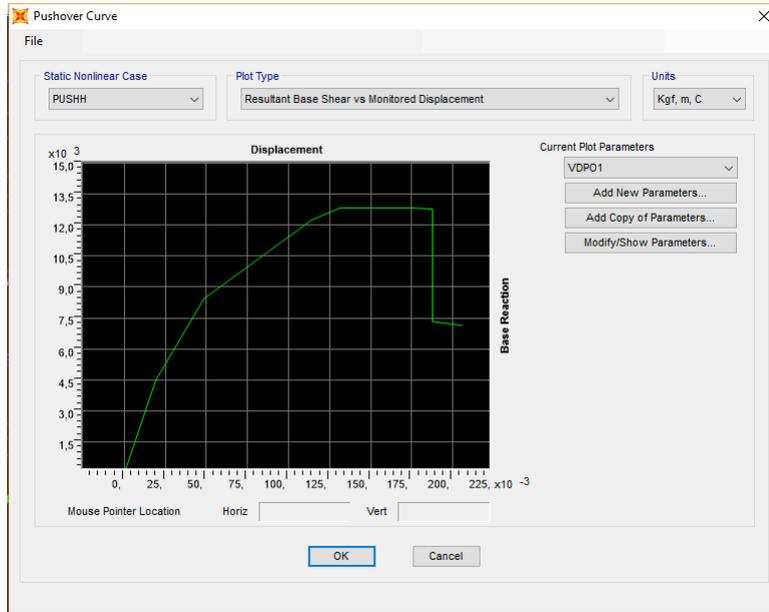
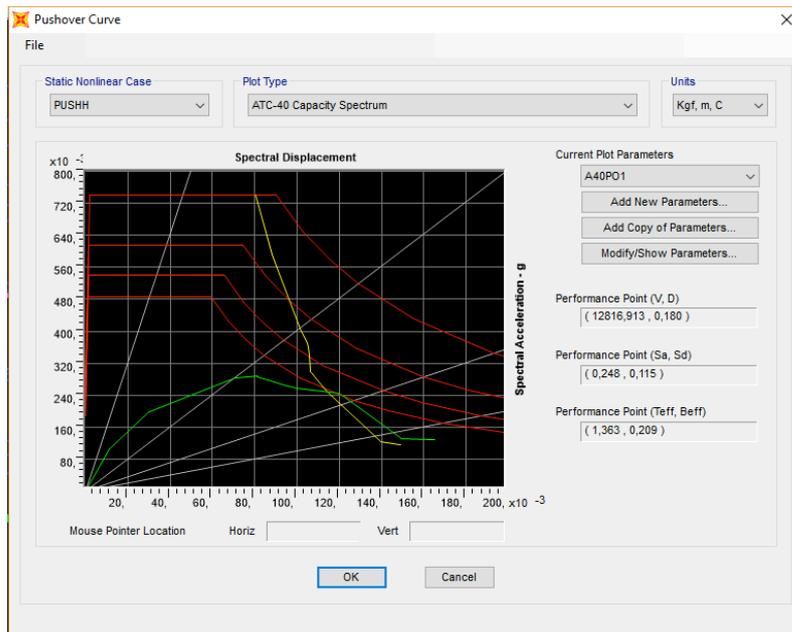


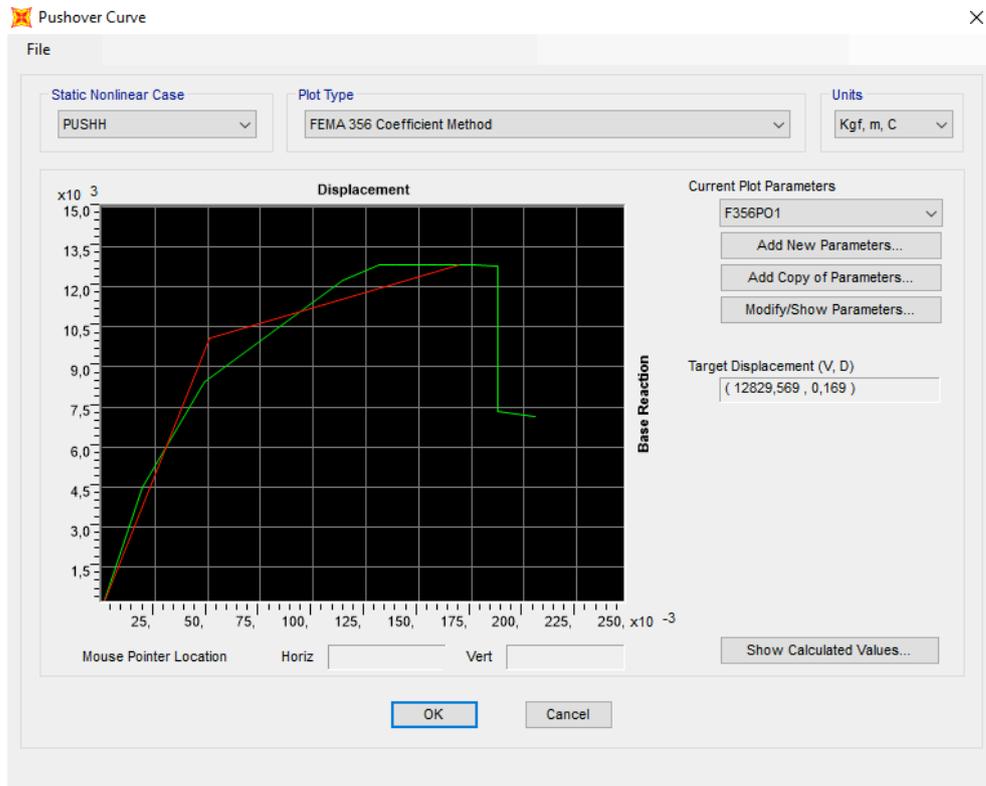
Figura 8. Aparición de Rótulas Plásticas



Curva de Capacidad 1



ATC-40 1



FEMA 1 Fuerza vs Deformación

Arriostramiento con Perfiles UPN80

Arriostramiento a nivel del suelo

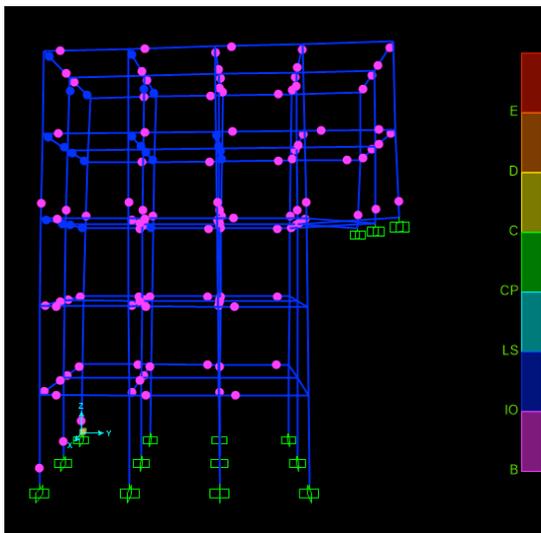
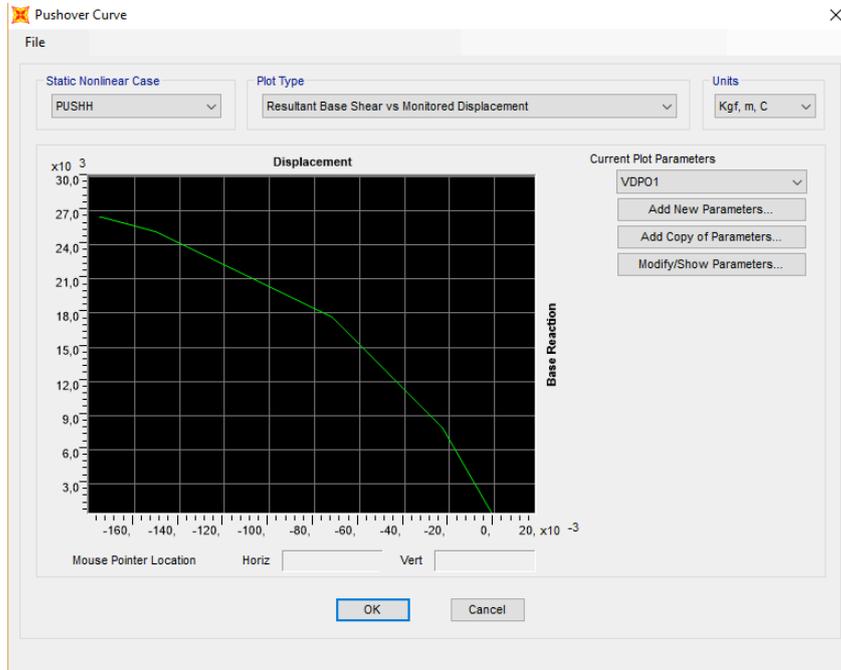
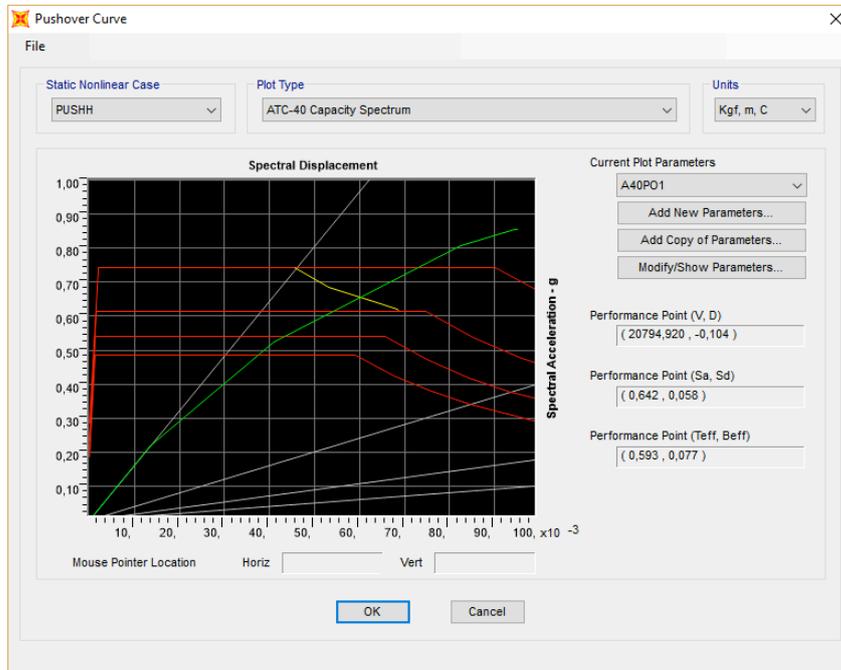




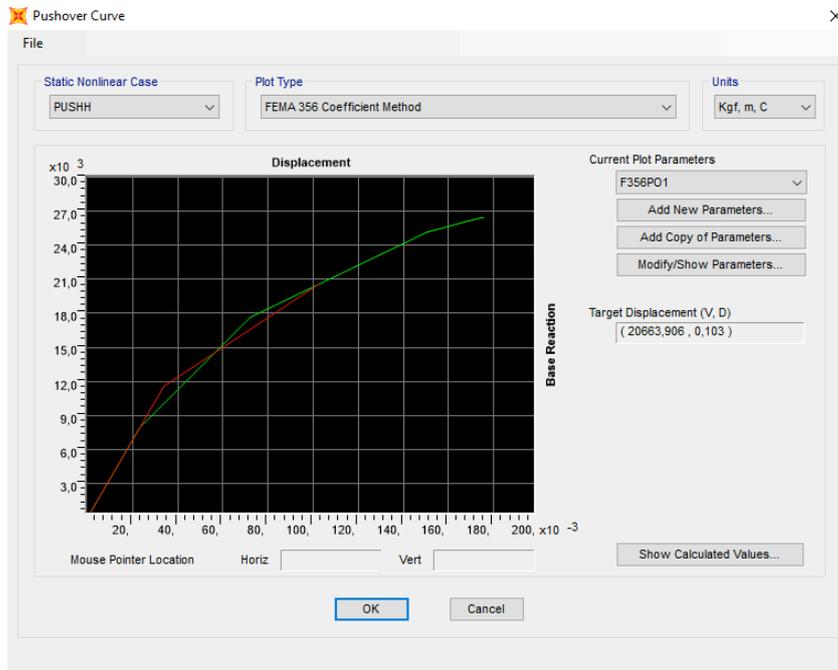
Figura 9. Aparición de Rótulas Plásticas



Curva de Capacidad 2



ATC-40 2



FEMA 2 Fuerza vs Deformación

Arriostramiento en combinación de nivel del suelo y en pórtico, con perfiles UPN80

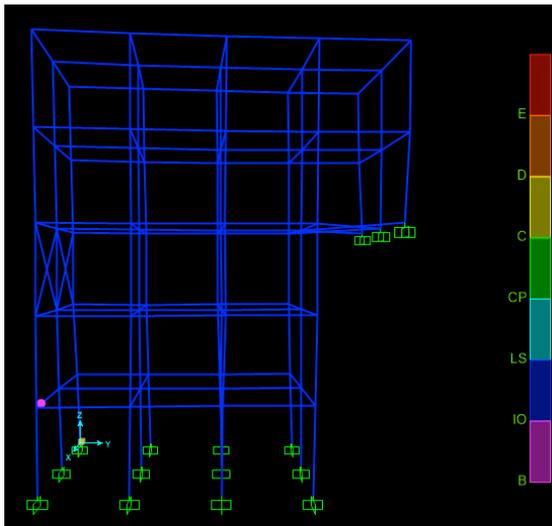


Figura 10. Aparición de Rótulas Plásticas

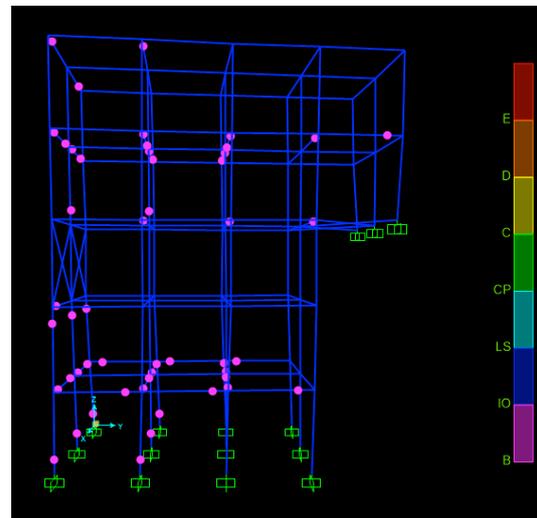


Figura 11. Aparición de Rótulas Plásticas

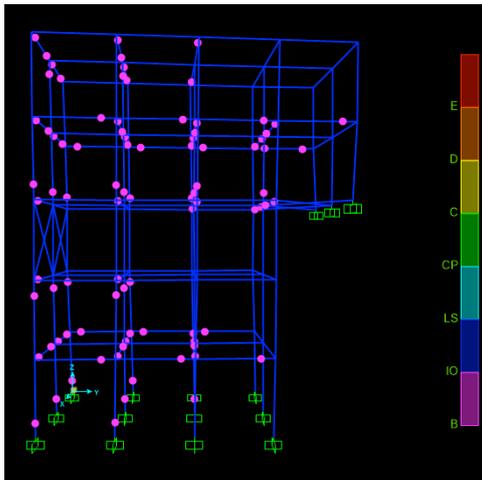


Figura 12. Aparición de Rótulas Plásticas

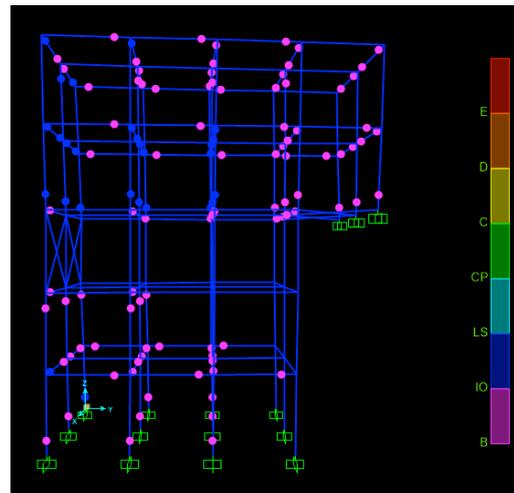
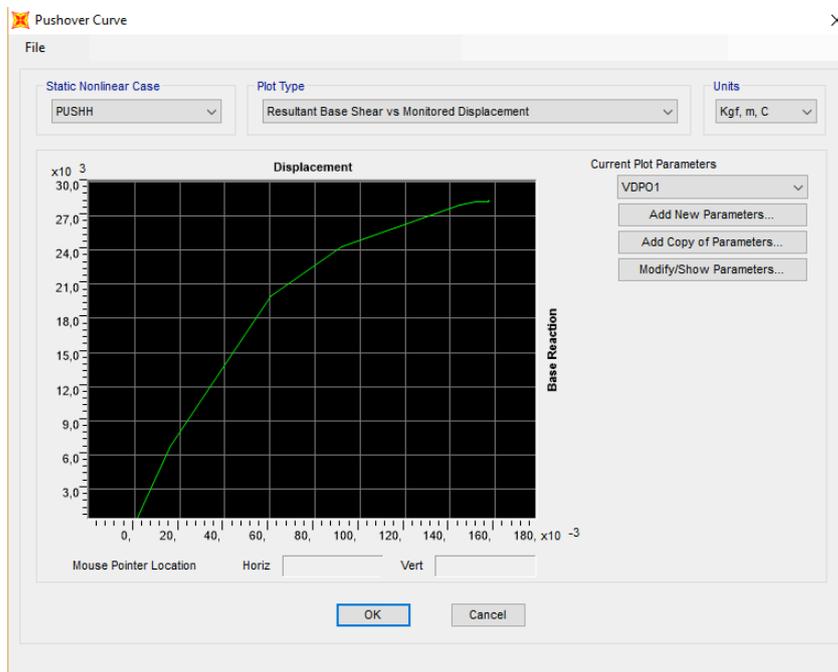
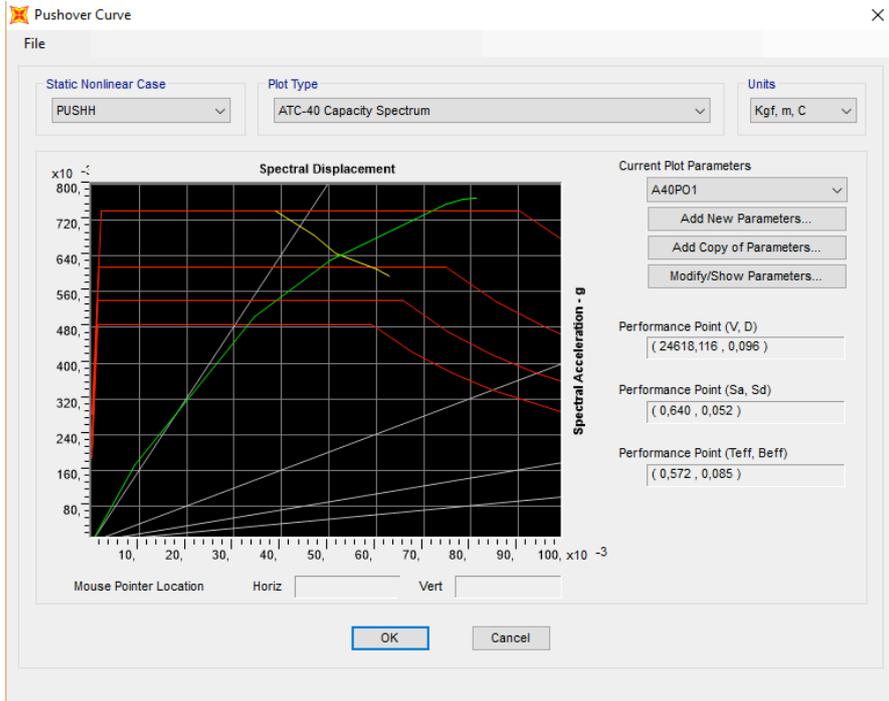


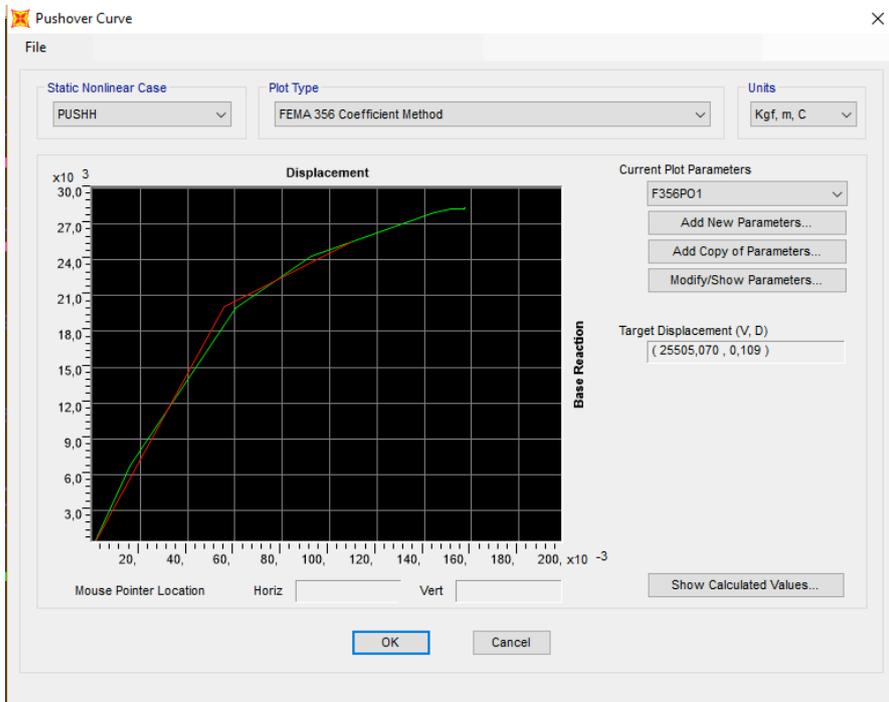
Figura 13. Aparición de Rótulas Plásticas



Curva de Capacidad 3



ATC-40 3



FEMA 3 Fuerza vs Deformación



Arriostramientos con perfiles IPN100

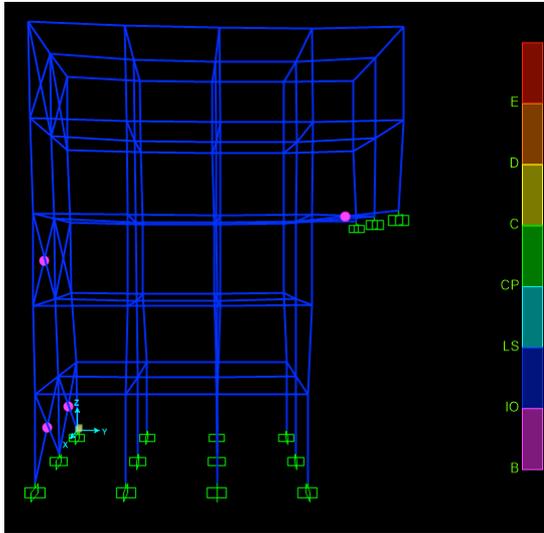


Figura 14. Aparición de Rótulas Plásticas

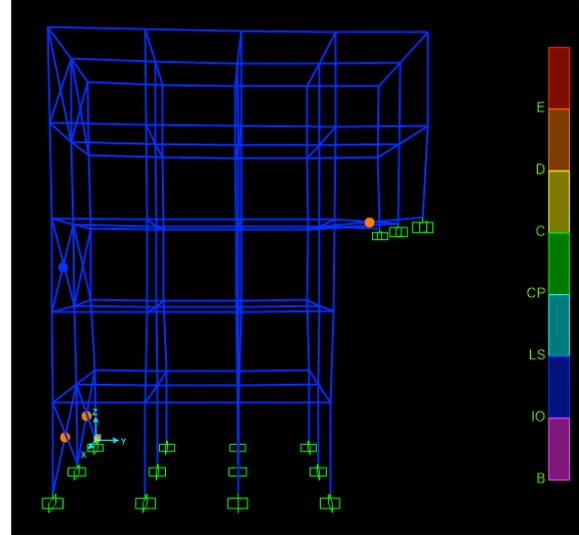


Figura 15. Aparición de Rótulas Plásticas

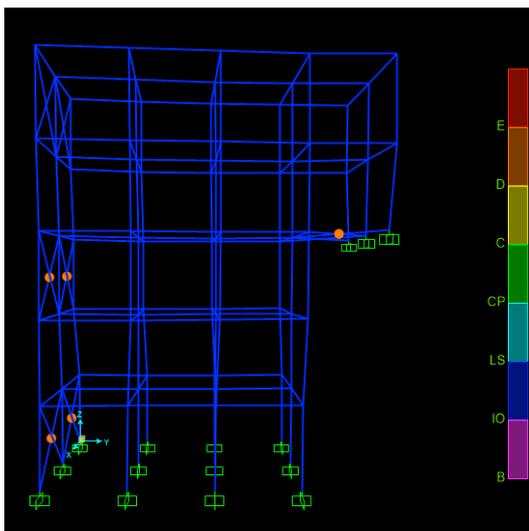


Figura 16. Aparición de Rótulas Plásticas

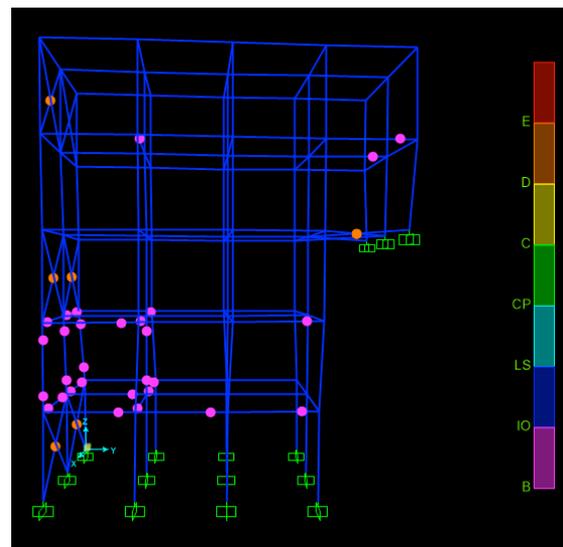


Figura 17. Aparición de Rótulas Plásticas

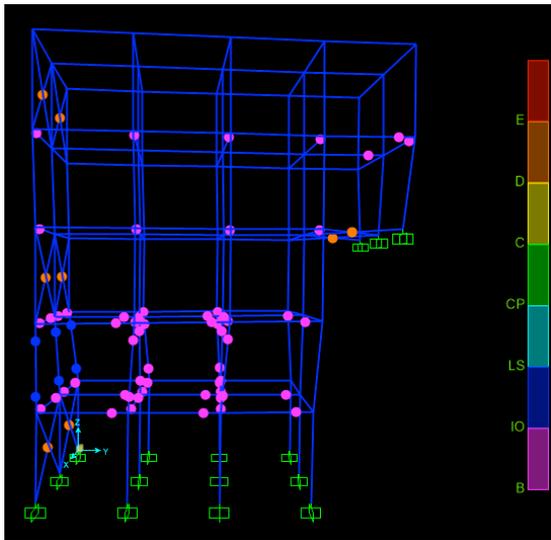
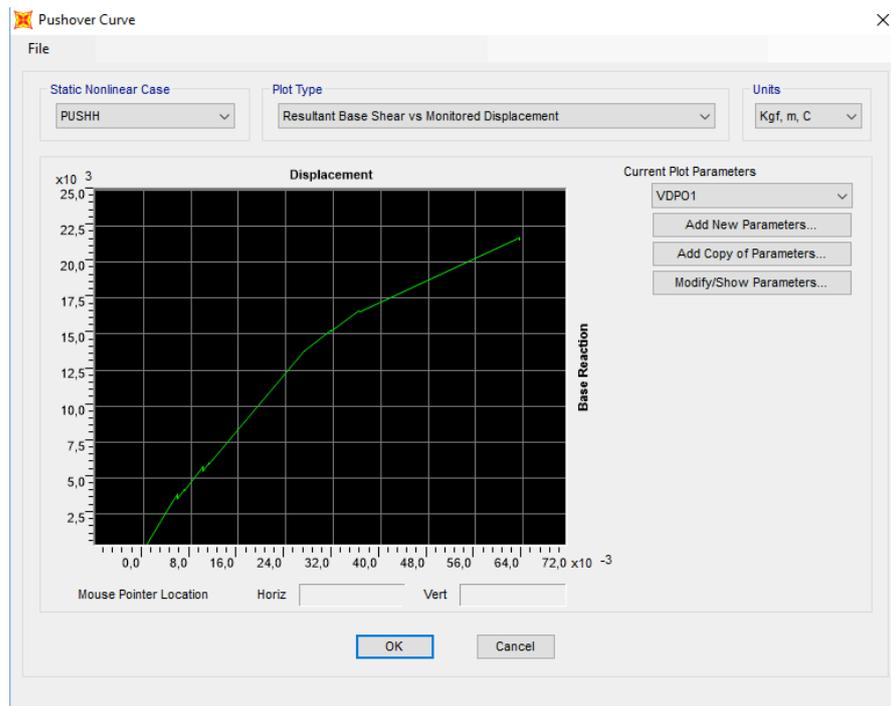
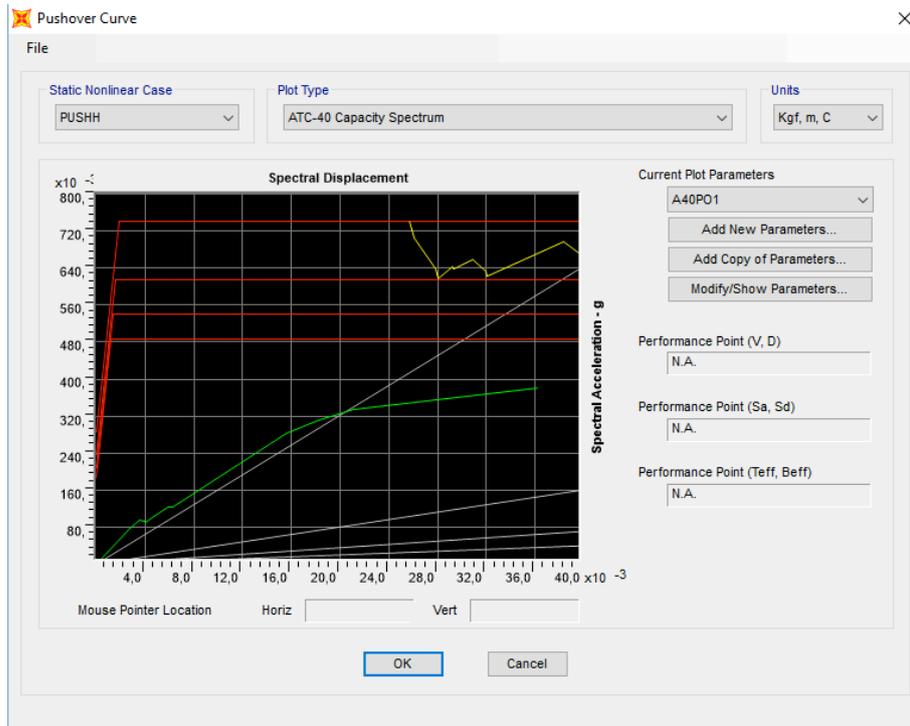


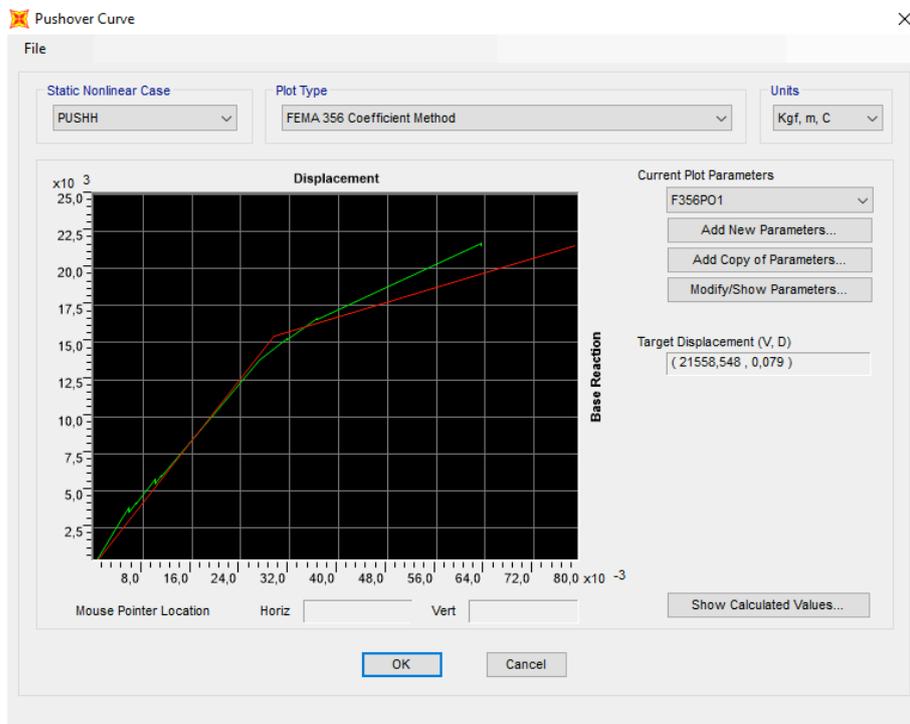
Figura 18. Aparición de Rótulas Plásticas



Curva de Capacidad 4



ATC-40 4



FEMA 4 Fuerza vs Deformación



Diagonales con perfiles IPN100

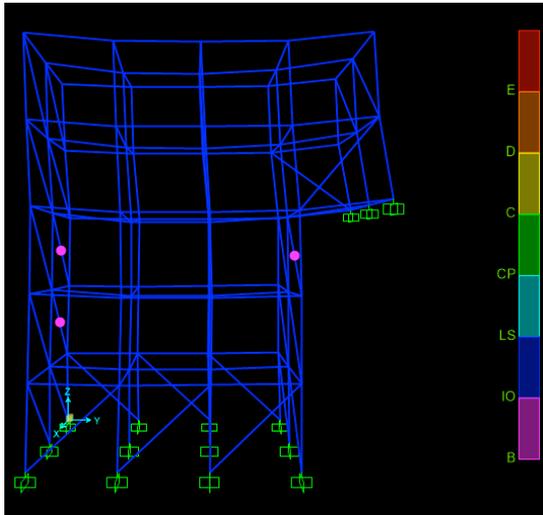


Figura 19. Aparición de Rótulas Plásticas

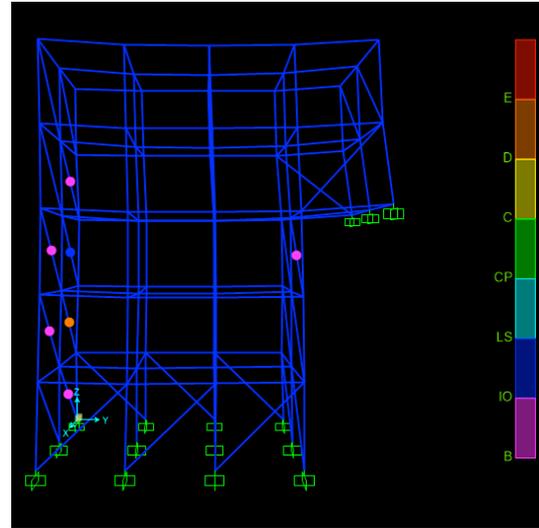


Figura 20. Aparición de Rótulas Plásticas

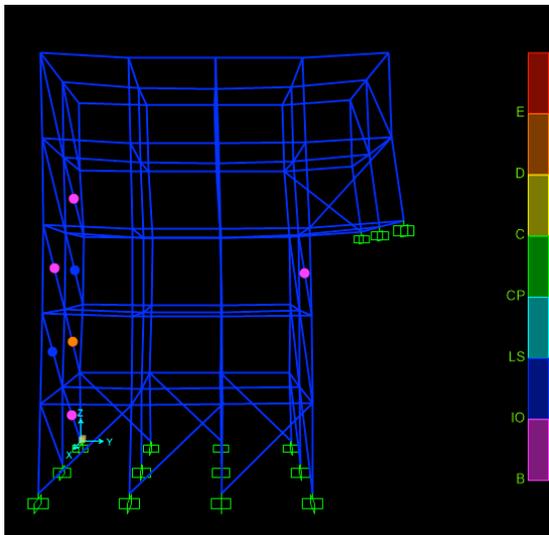


Figura 21. Aparición de Rótulas Plásticas

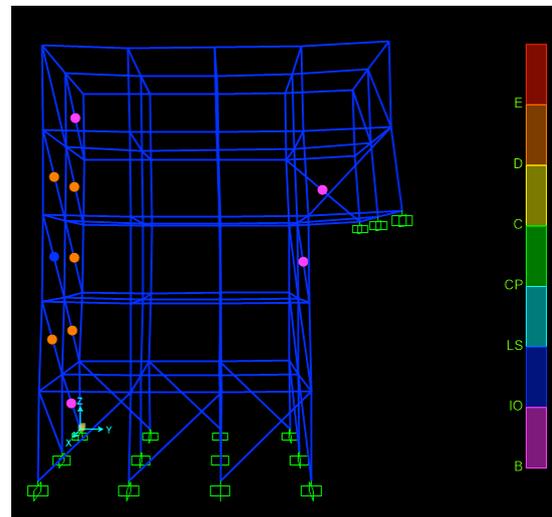


Figura 22. Aparición de Rótulas Plásticas

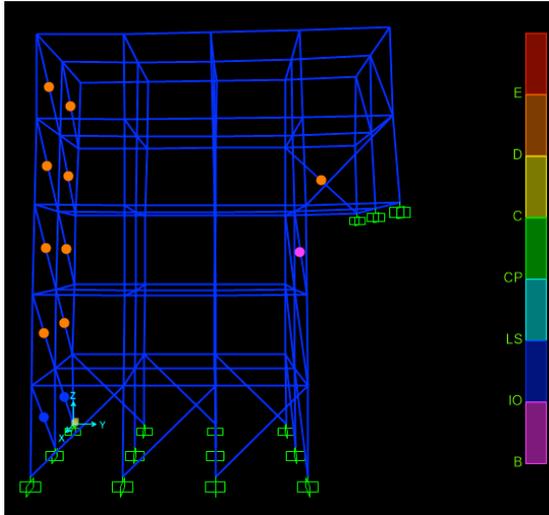


Figura 23. Aparición de Rótulas Plásticas

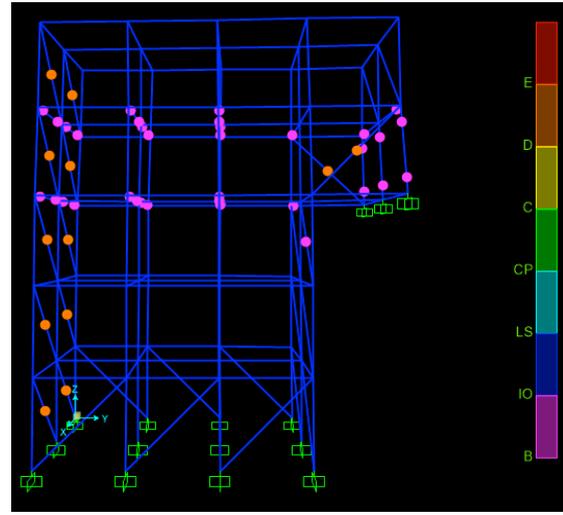


Figura 24. Aparición de Rótulas Plásticas

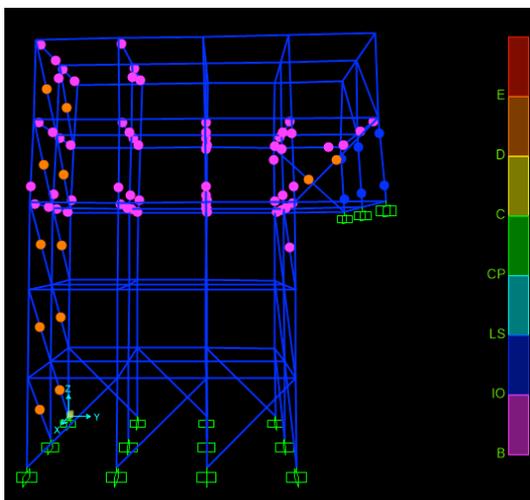


Figura 25. Aparición de Rótulas Plásticas

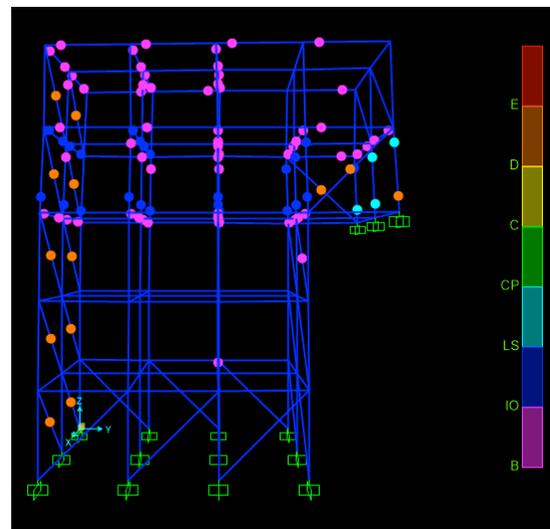
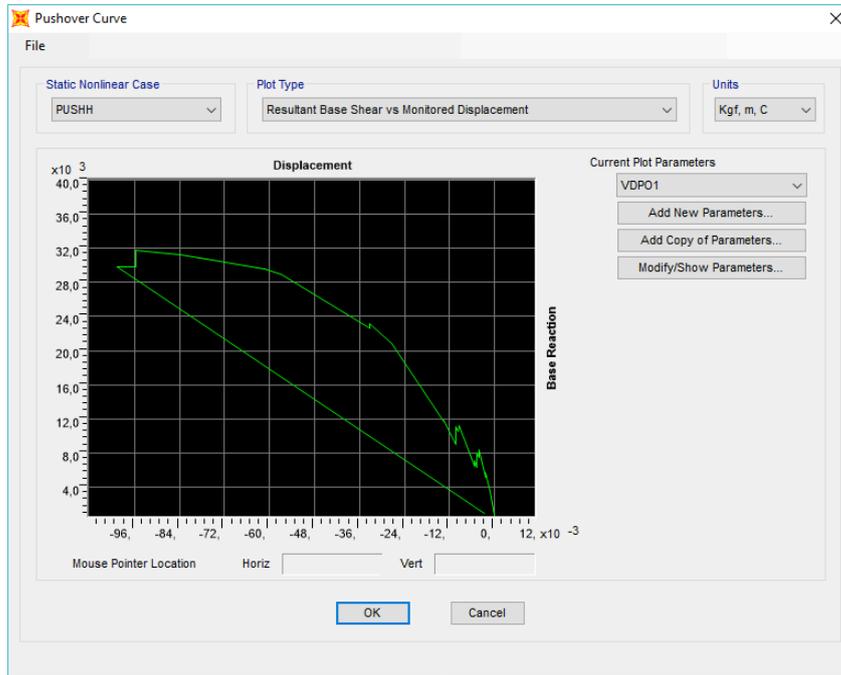
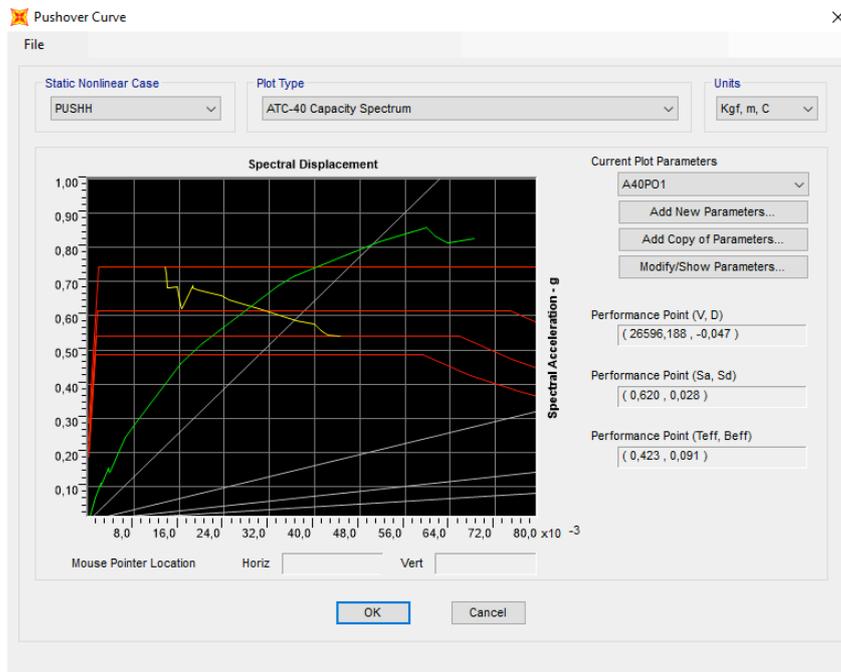


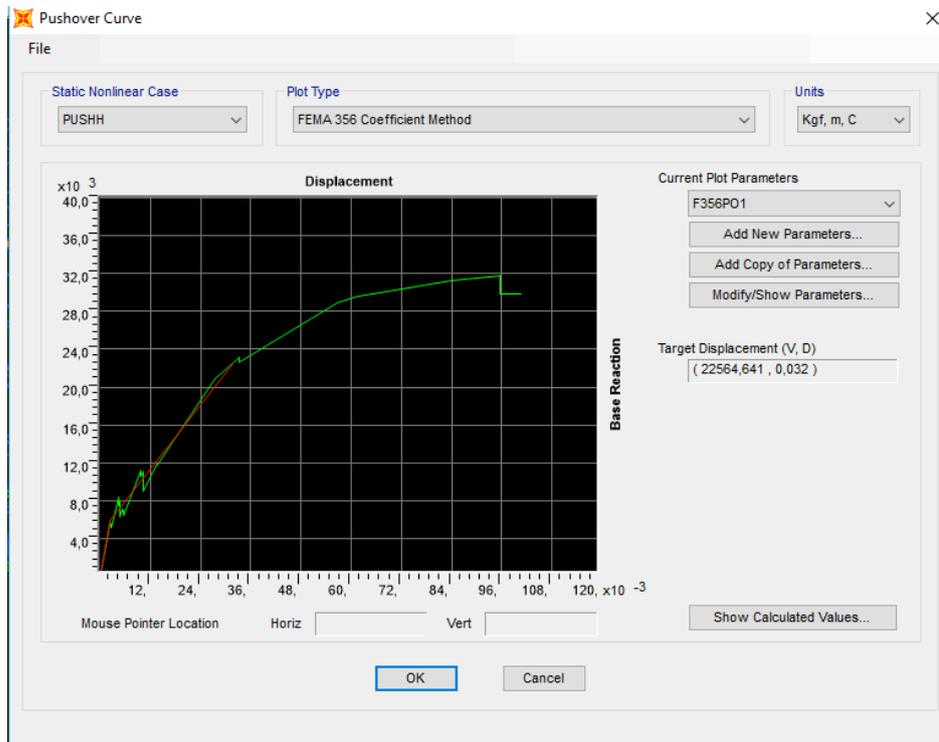
Figura 26. Aparición de Rótulas Plásticas



Curva de Capacidad 5



ATC-40 5



FEMA 5 Fuerza vs Deformación

Muros

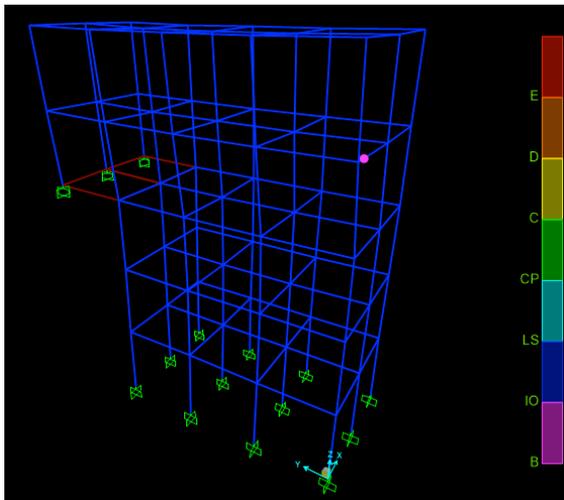


Figura 27. Aparición de Rótulas Plásticas

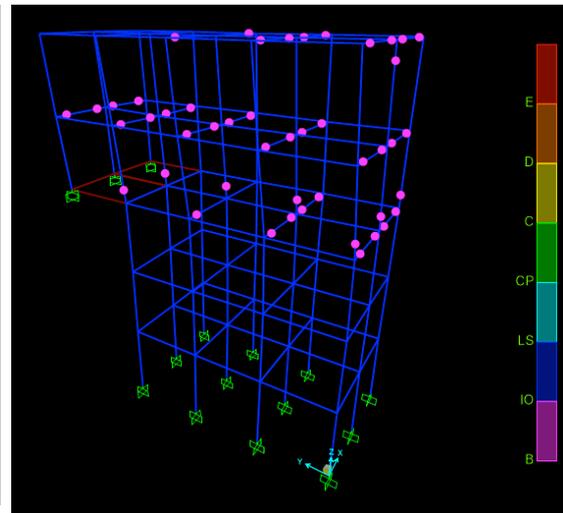


Figura 28. Aparición de Rótulas Plásticas

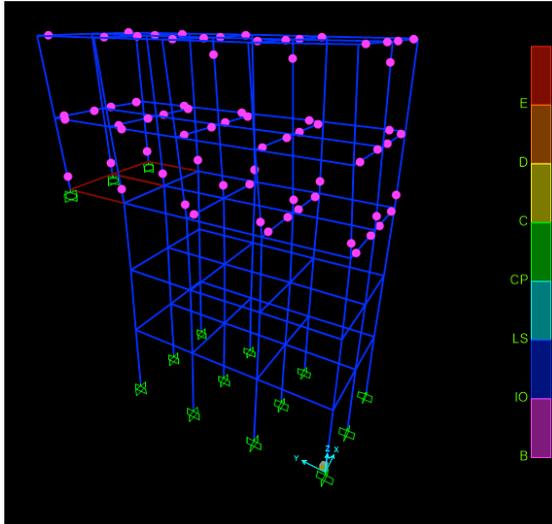


Figura 29. Aparición de Rótulas Plásticas

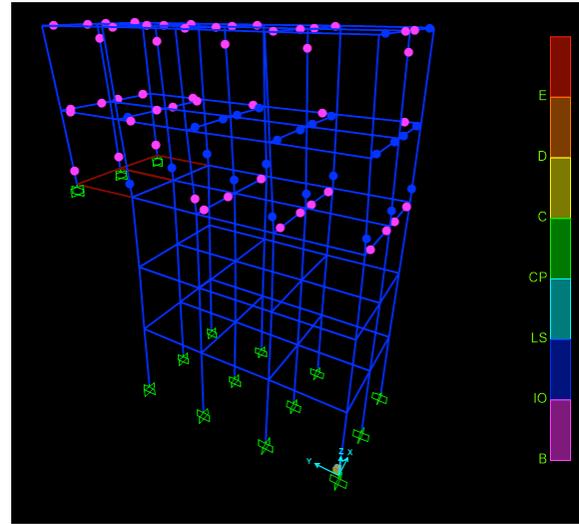
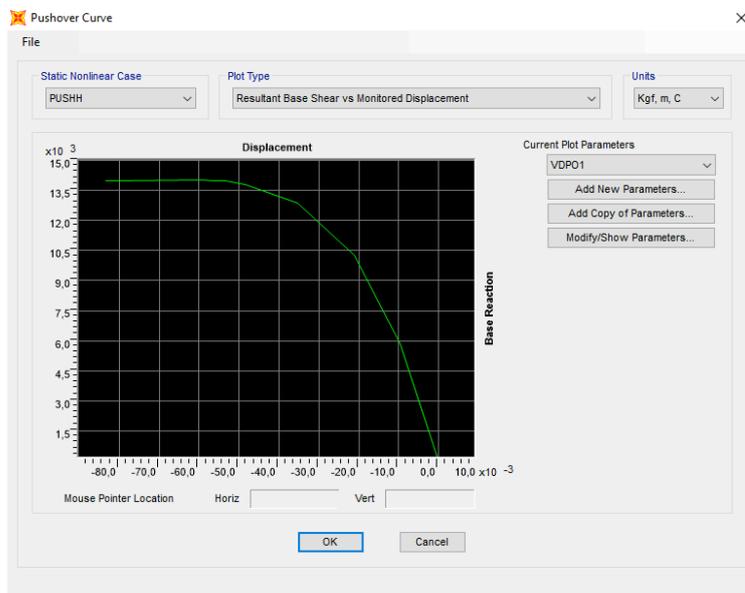
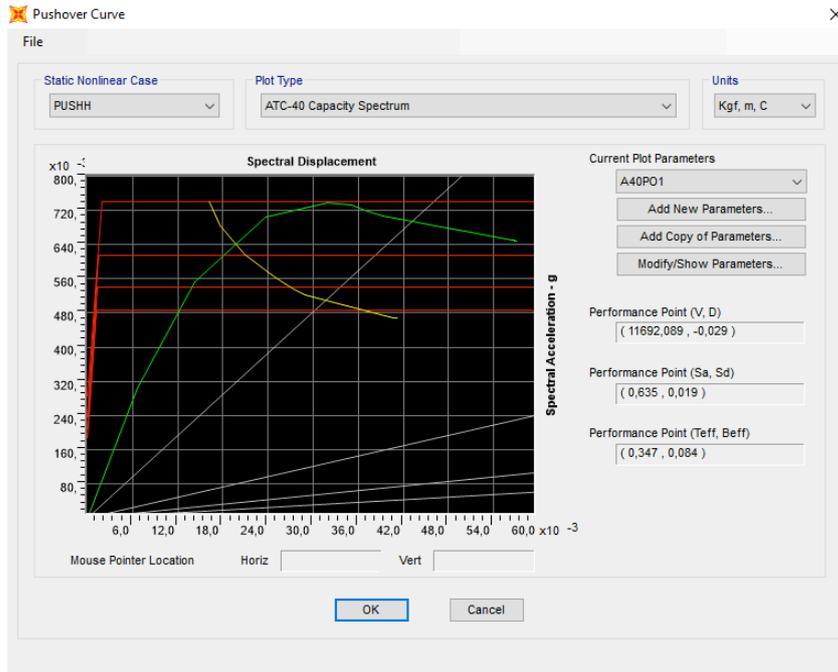


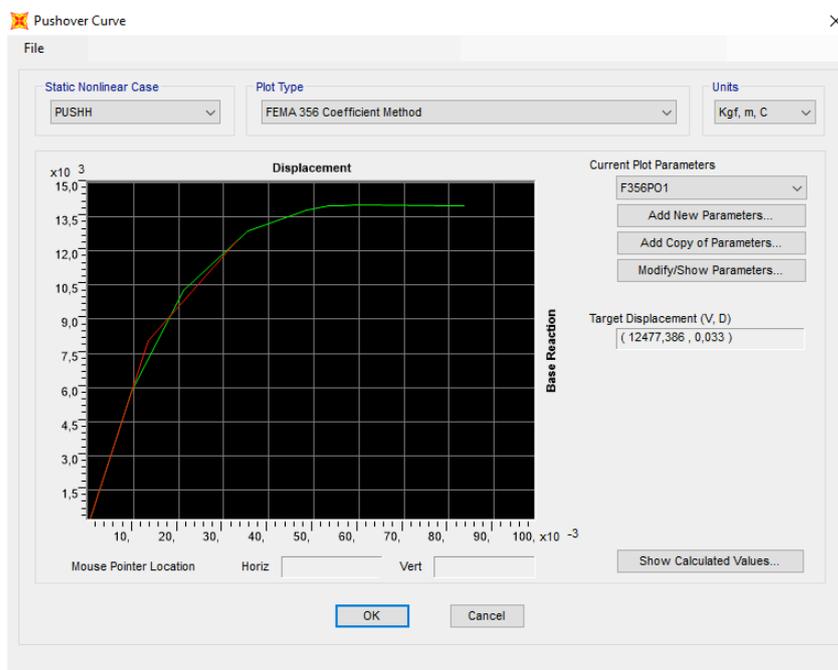
Figura 30. Aparición de Rótulas Plásticas



Curva de Capacidad 6



ATC-40 6



FEMA 6 Fuerza vs Deformación

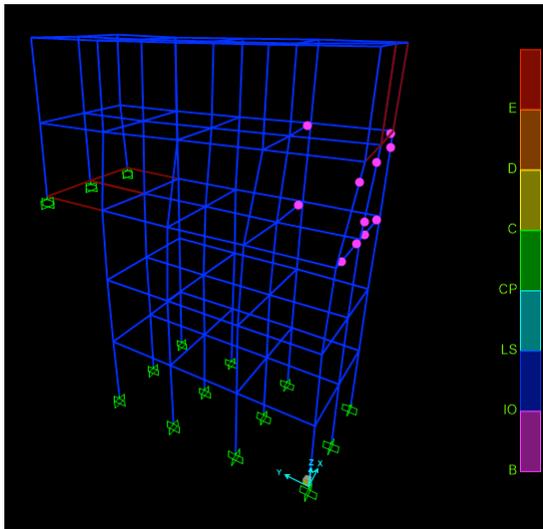


Figura 31. Aparición de Rótulas Plásticas

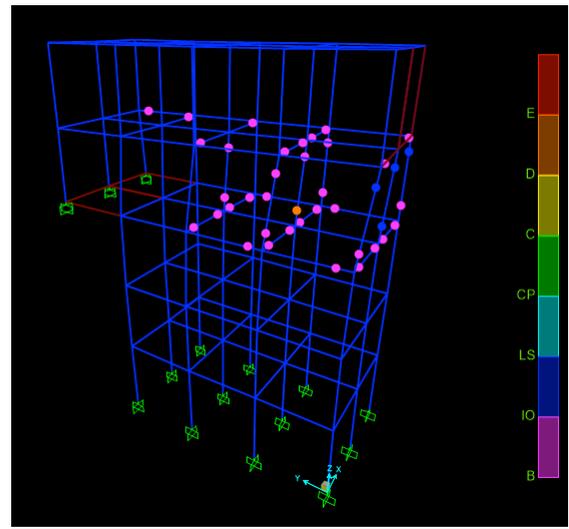
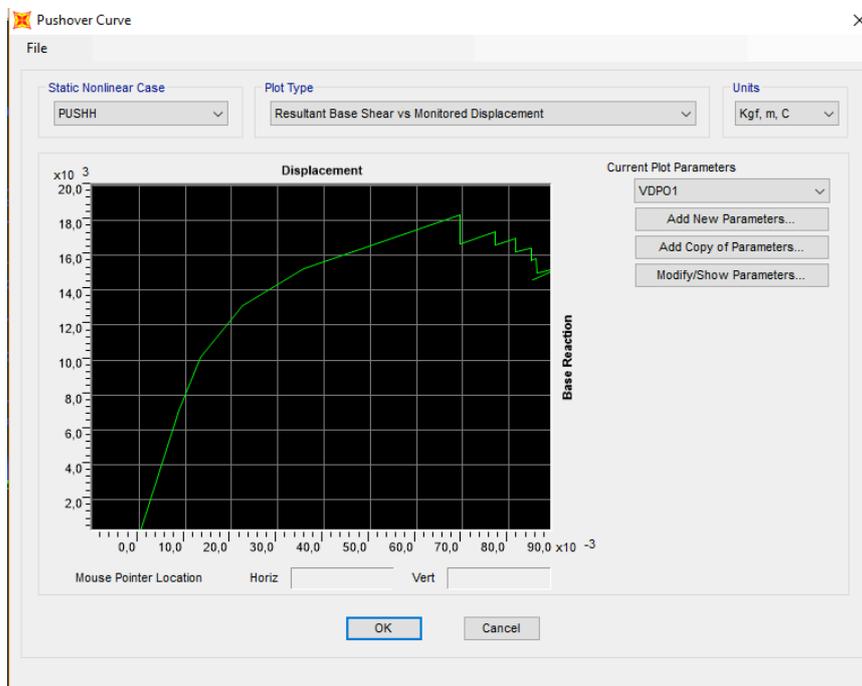
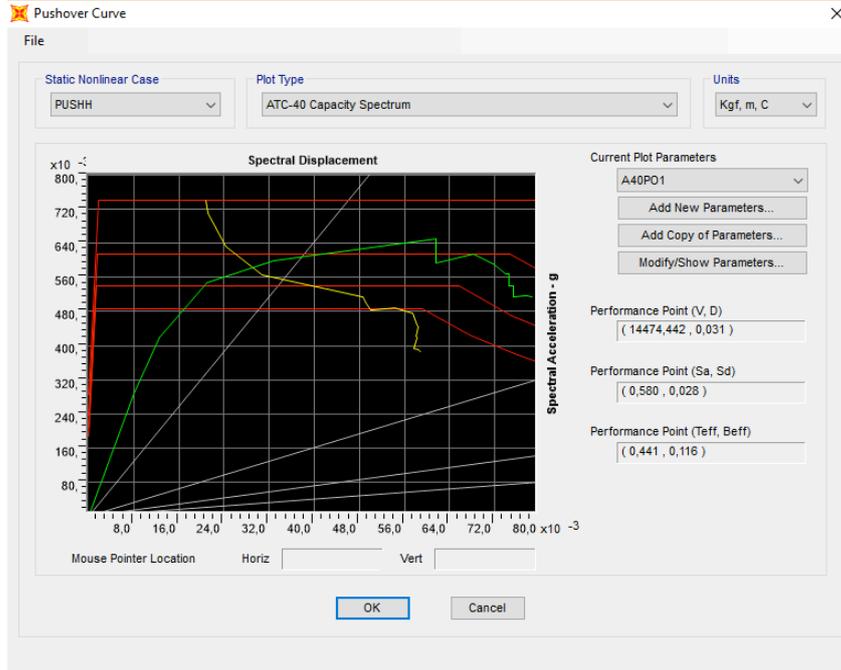


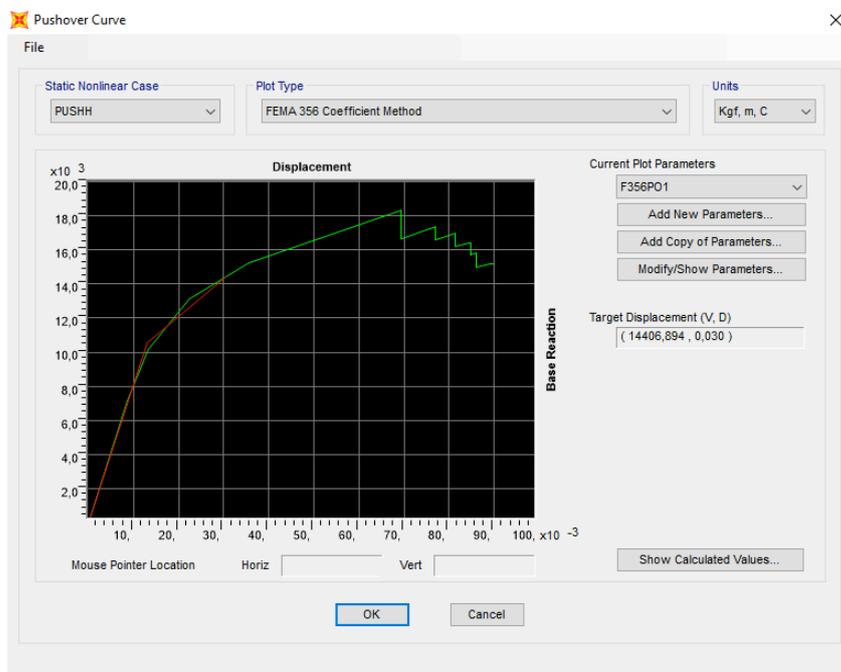
Figura 32. Aparición de Rótulas Plásticas



Curva de Capacidad 7



ATC-40 7



FEMA 7 Fuerza vs Deformación



Vigas de Riostra

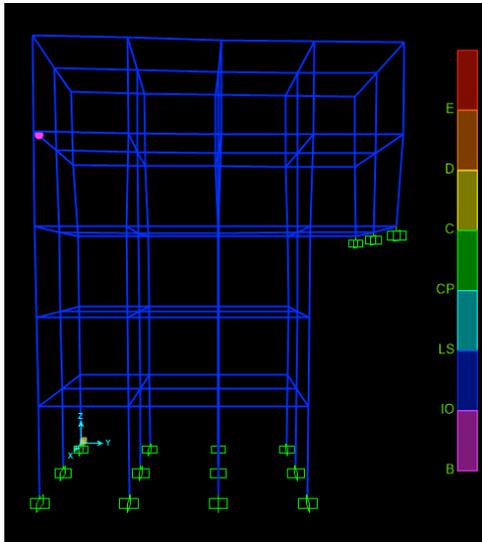


Figura 33. Aparición de Rótulas Plásticas

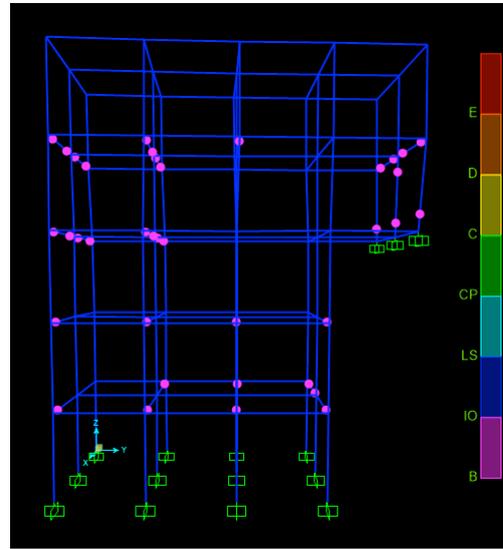


Figura 34. Aparición de Rótulas Plásticas

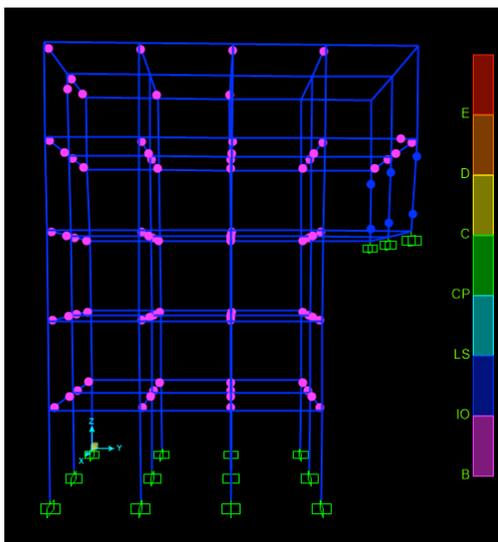


Figura 35. Aparición de Rótulas Plásticas

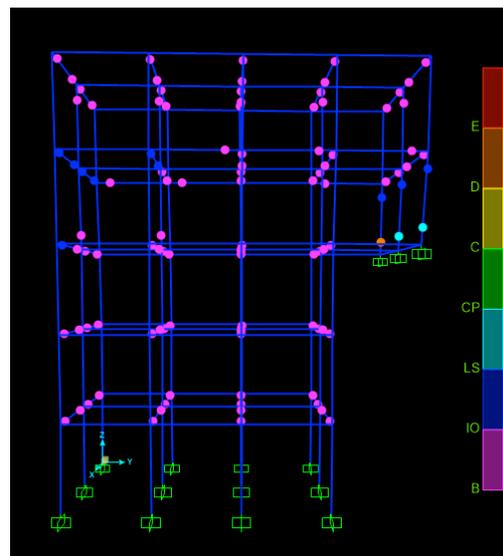


Figura 36. Aparición de Rótulas Plásticas

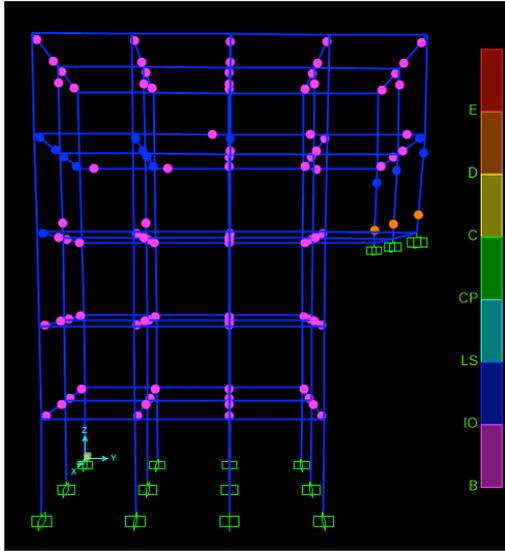


Figura 37. Aparición de Rótulas Plásticas

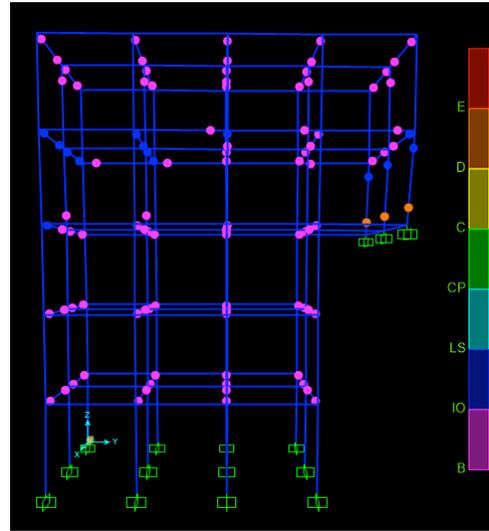


Figura 38. Aparición de Rótulas Plásticas

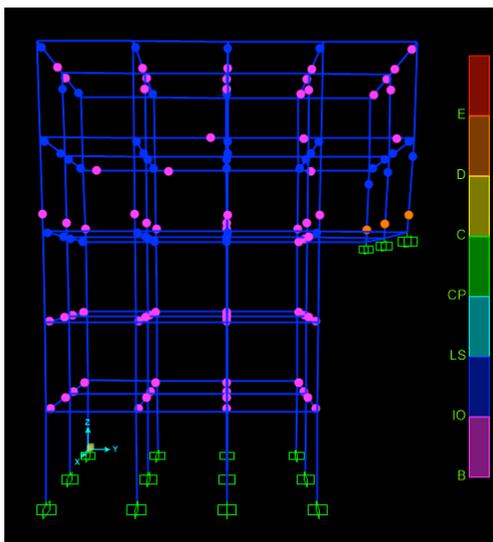
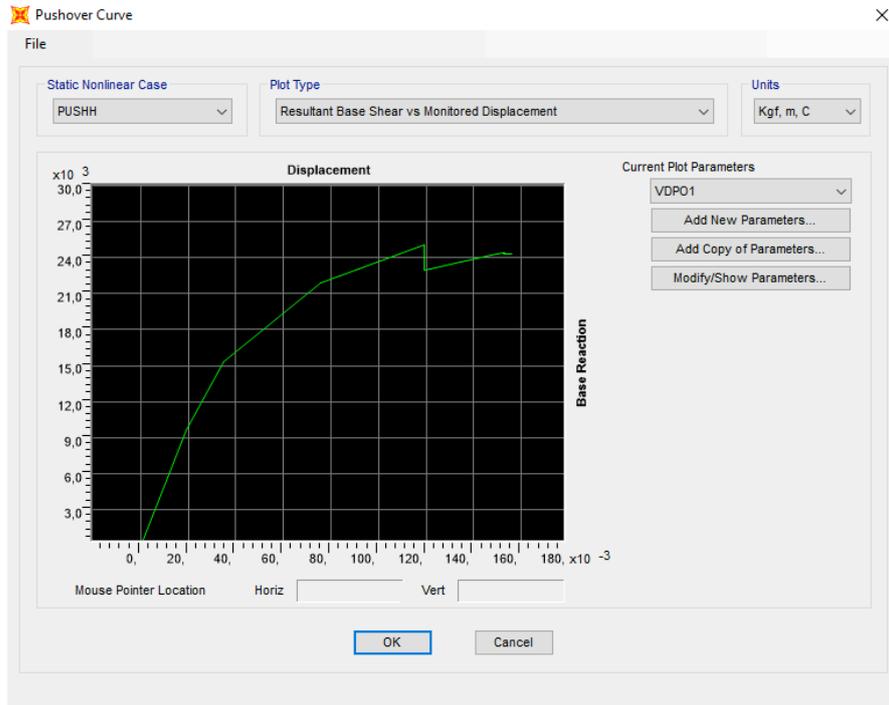
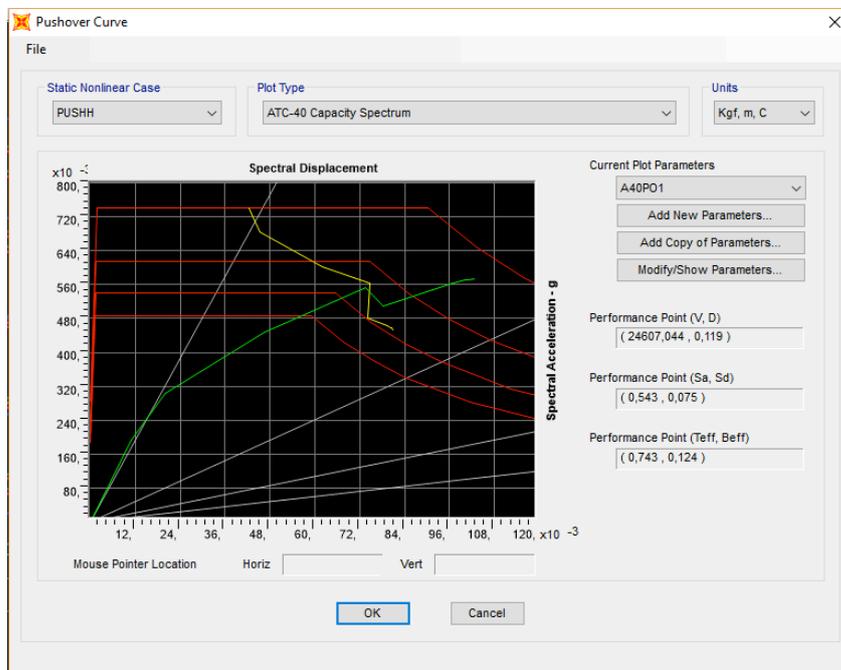


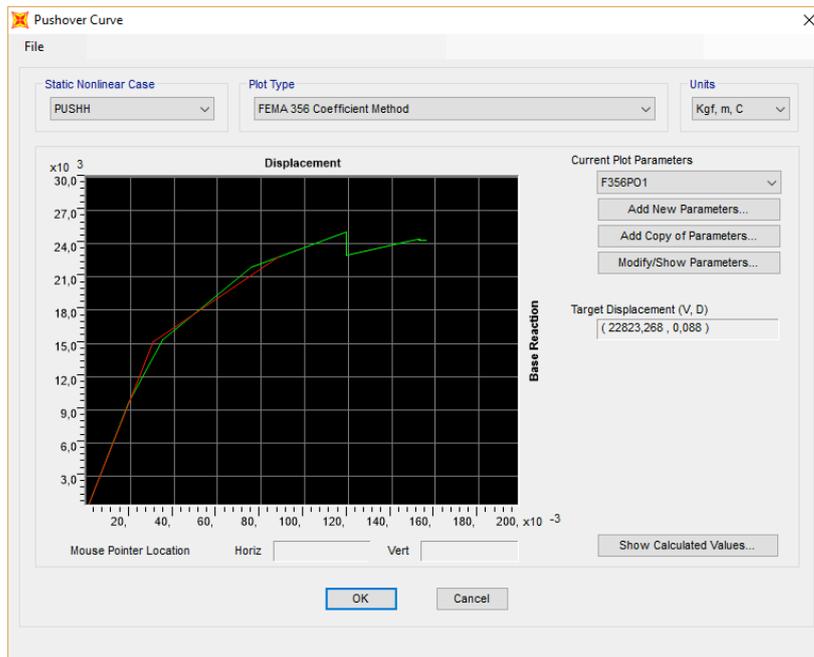
Figura 39. Aparición de Rótulas Plásticas



Curva de Capacidad 8

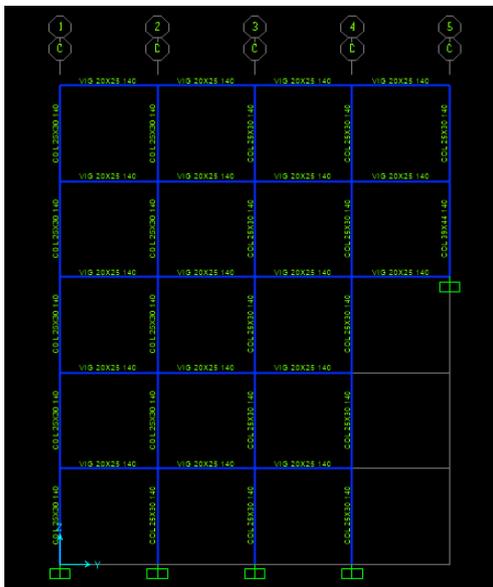


ATC-40 8



FEMA 8 Fuerza vs Deformación

Vigas de riostra en combinación con placas metálicas de 1/4"



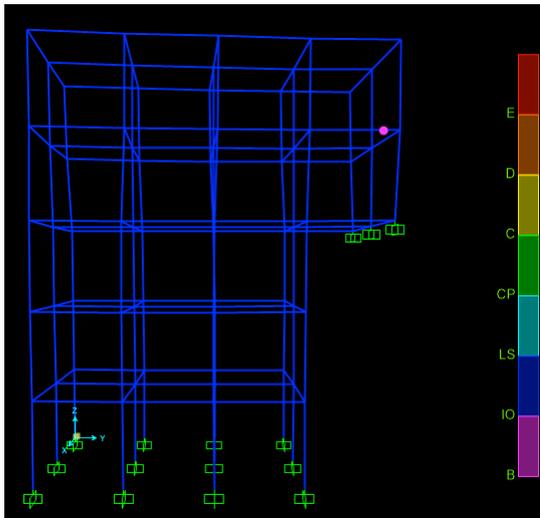


Figura 40. Aparición de Rótulas Plásticas

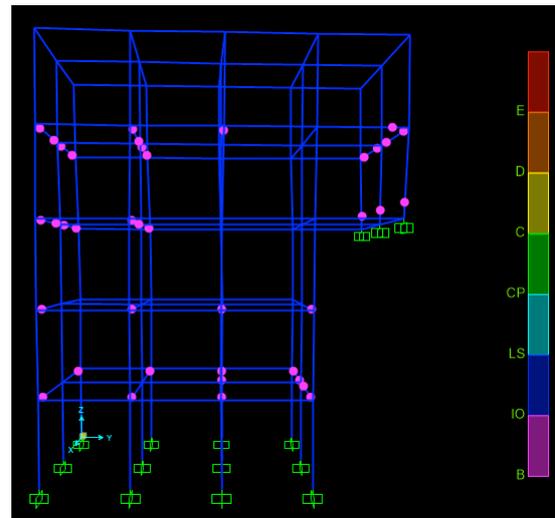


Figura 41. Aparición de Rótulas Plásticas

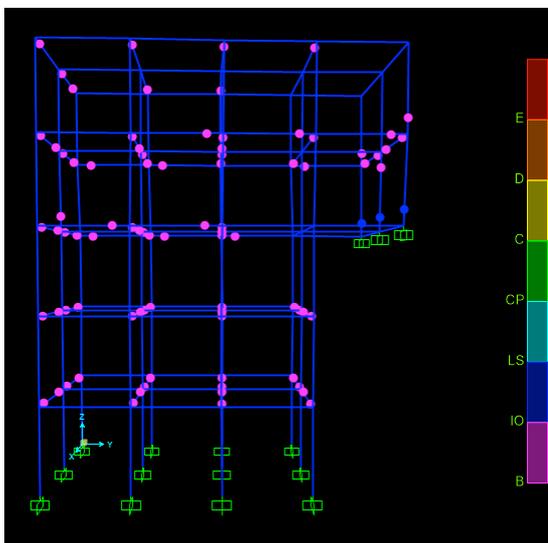


Figura 42. Aparición de Rótulas Plásticas

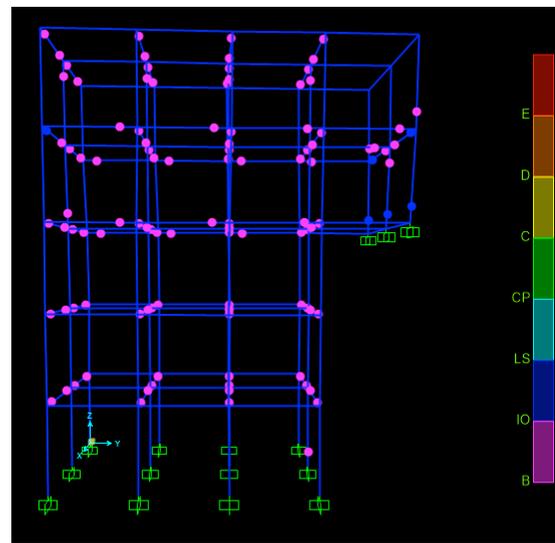


Figura 43. Aparición de Rótulas Plásticas

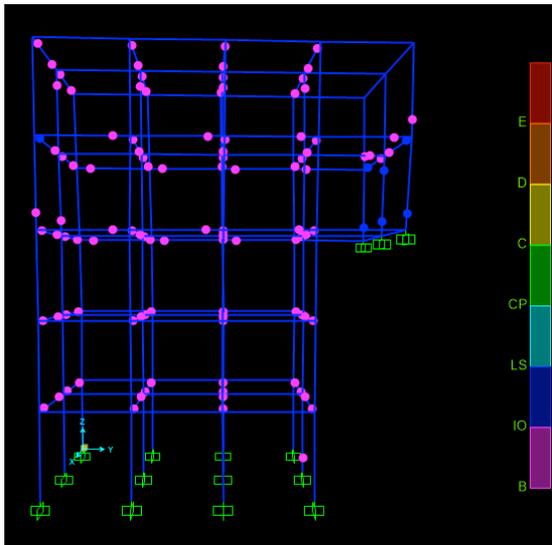
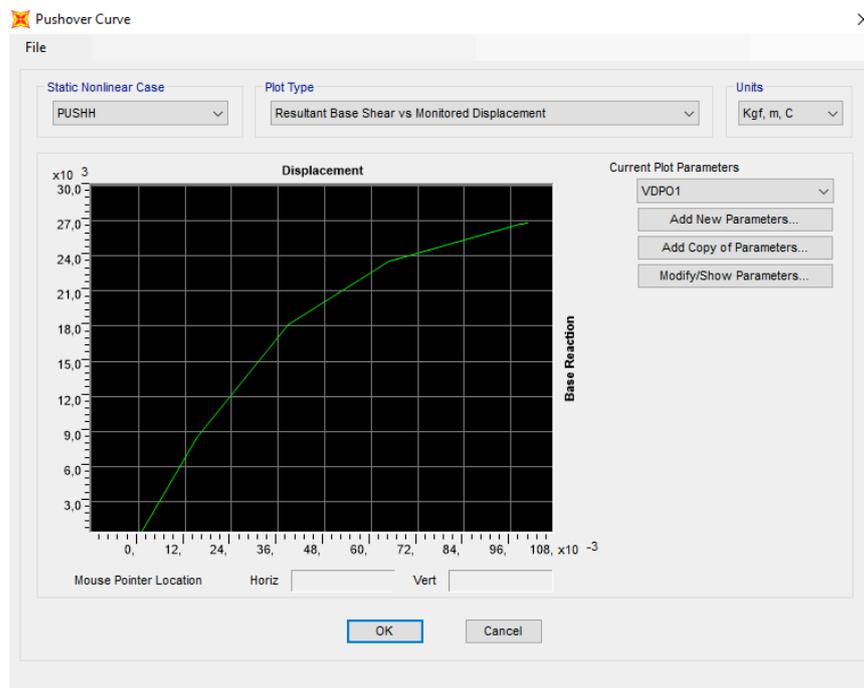
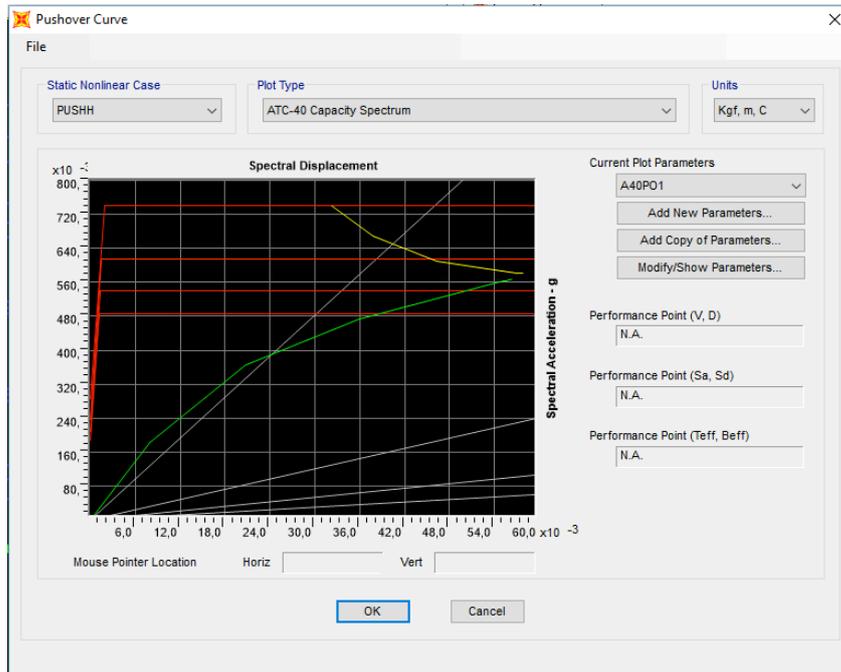


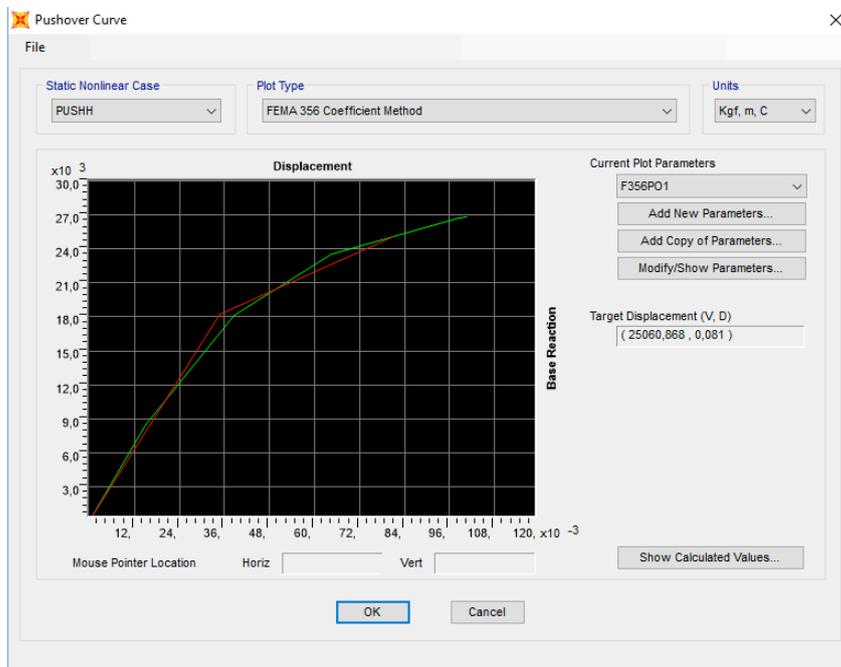
Figura 44. Aparición de Rótulas Plásticas



Curva de Capacidad 9



ATC-40 9



FEMA 9 Fuerza vs Deformación



2. ANEXO B

VIVIENDA Nro.2

Estado actual

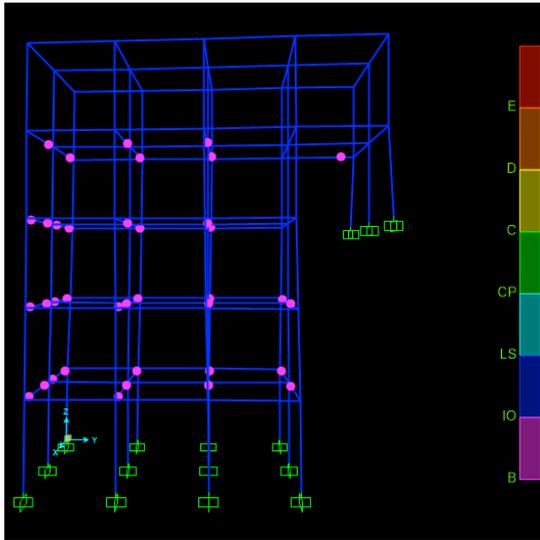


Figura 45. Aparición de Rótulas Plásticas

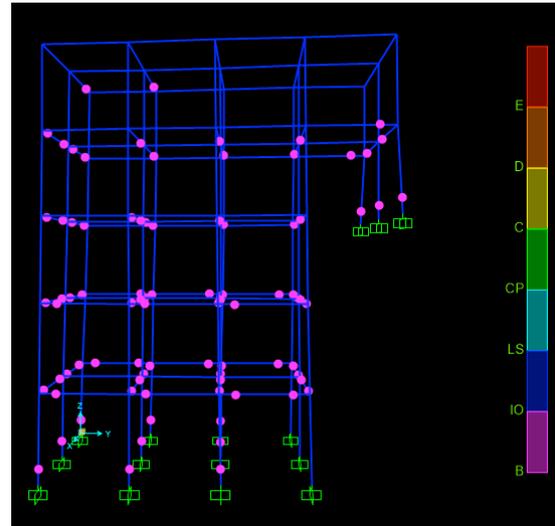


Figura 46. Aparición de Rótulas Plásticas

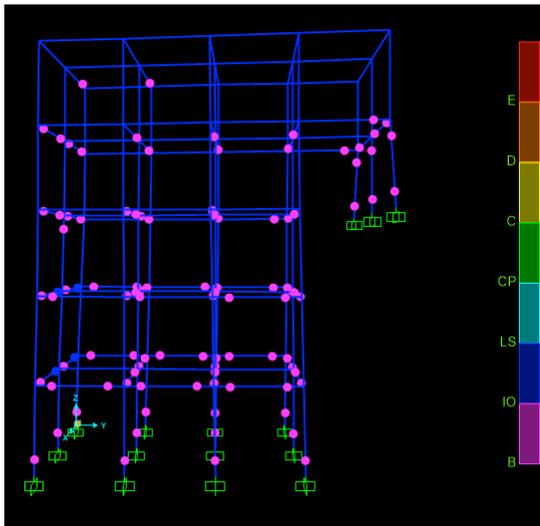


Figura 47. Aparición de Rótulas Plásticas

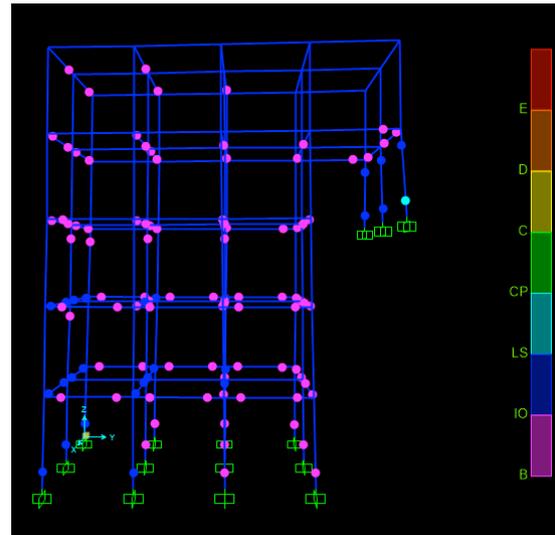


Figura 48. Aparición de Rótulas Plásticas

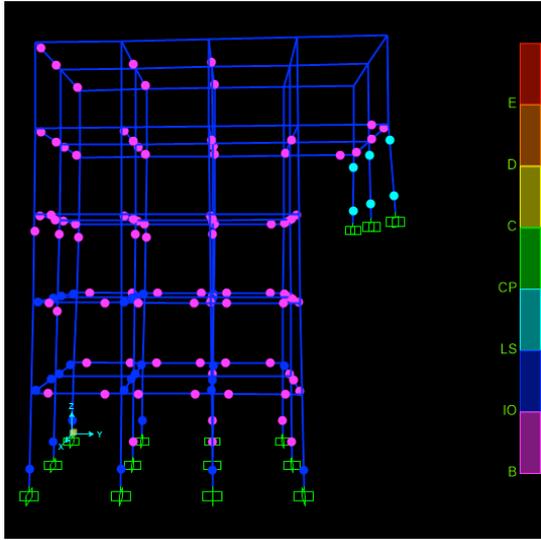


Figura 49. Aparición de Rótulas Plásticas

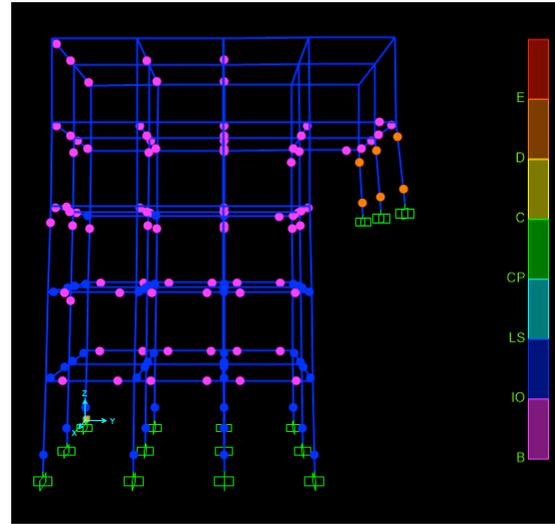


Figura 50. Aparición de Rótulas Plásticas

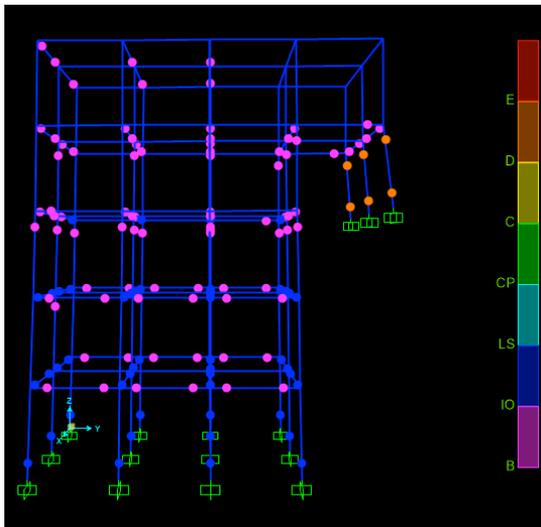
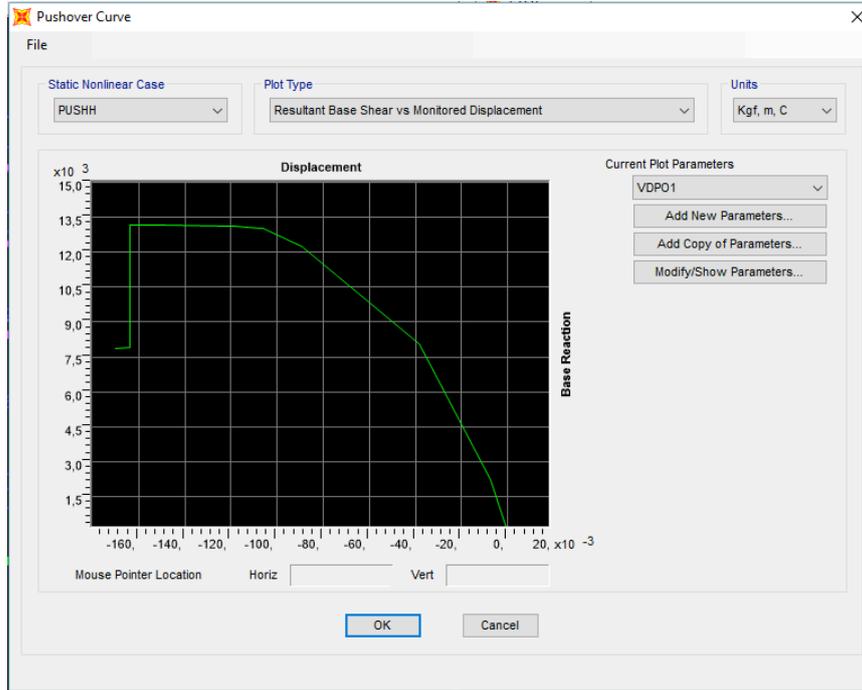
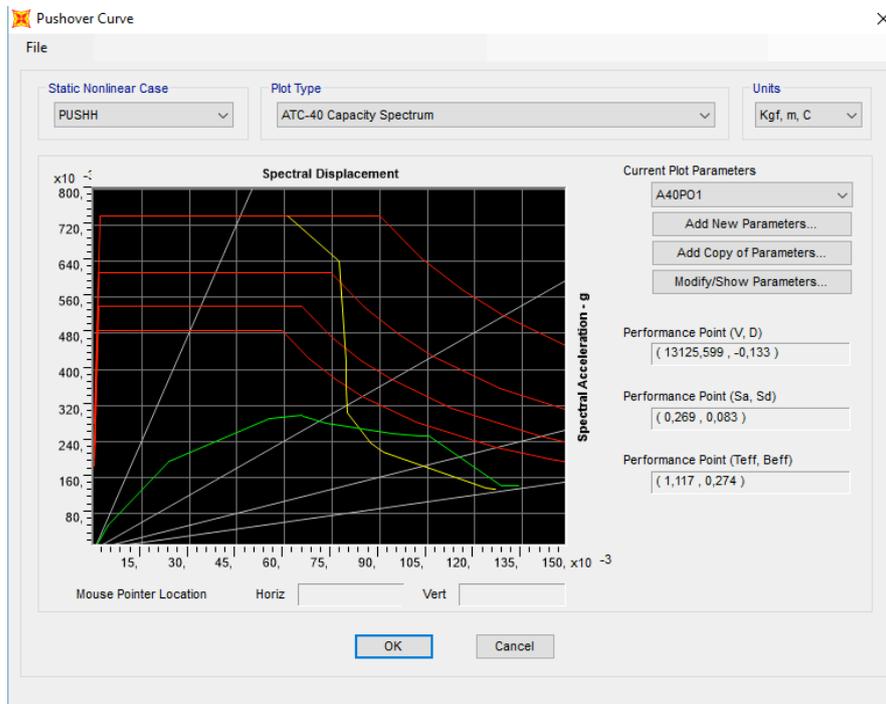


Figura 51. Aparición de Rótulas Plásticas

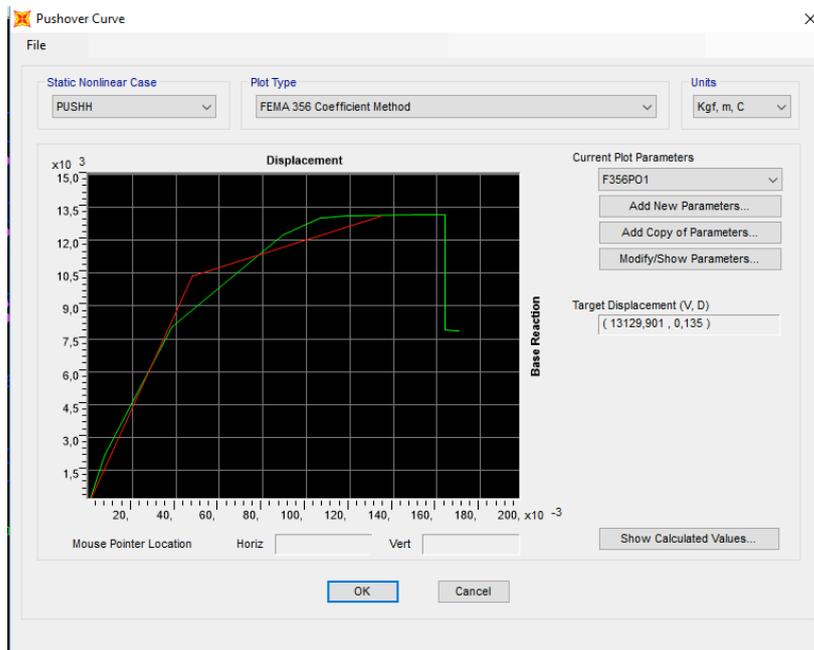
F



Curva de Capacidad 10



ATC-40 10



FEMA 10 Fuerza vs Deformación

Arriostramiento con Perfiles UPN80

Arriostramiento a nivel del suelo

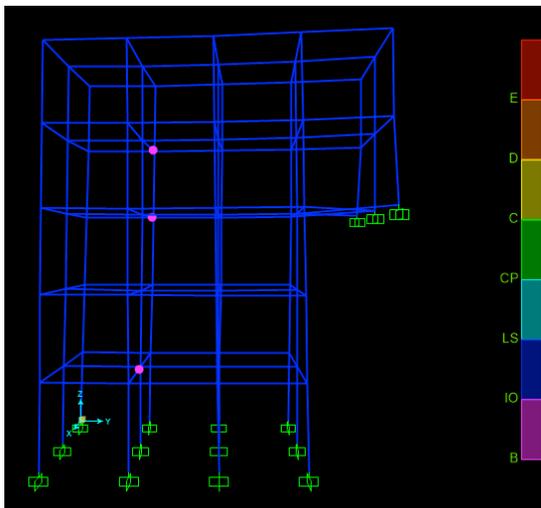


Figura 52. Aparición de Rótulas Plásticas

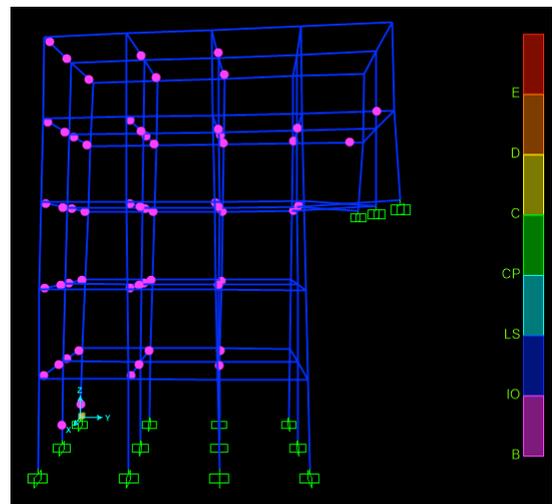


Figura 53. Aparición de Rótulas Plásticas

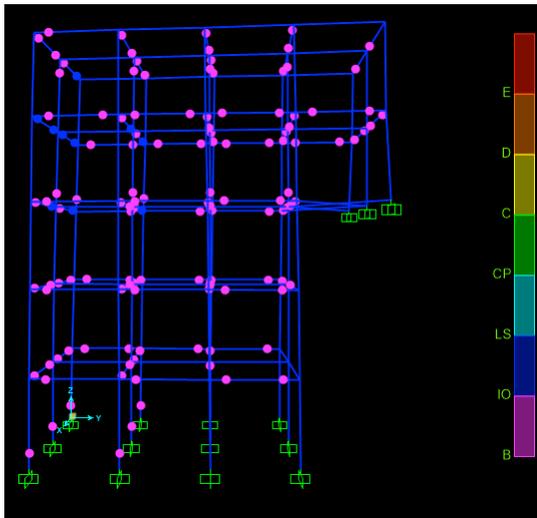


Figura 54. Aparición de Rótulas Plásticas

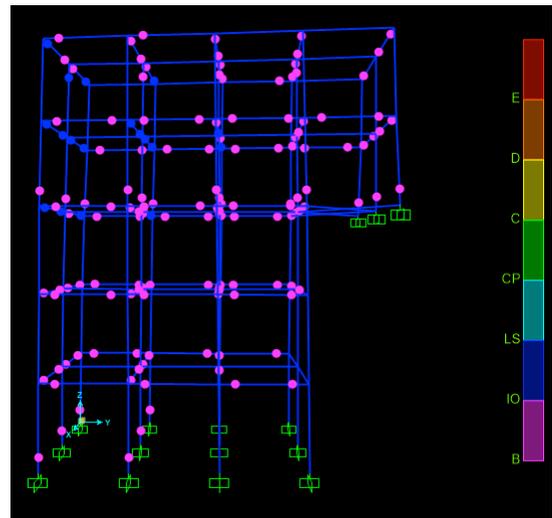


Figura 55. Aparición de Rótulas Plásticas

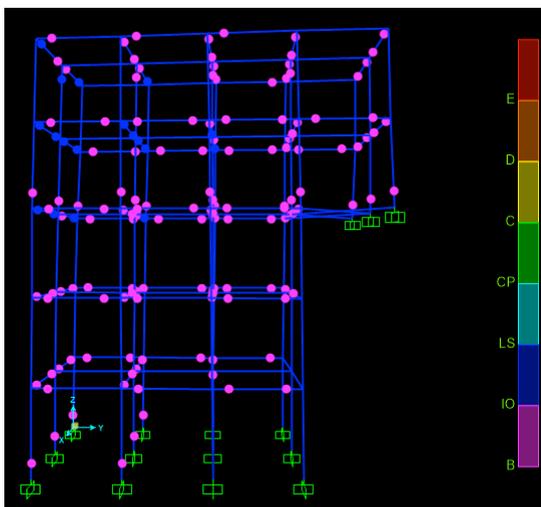
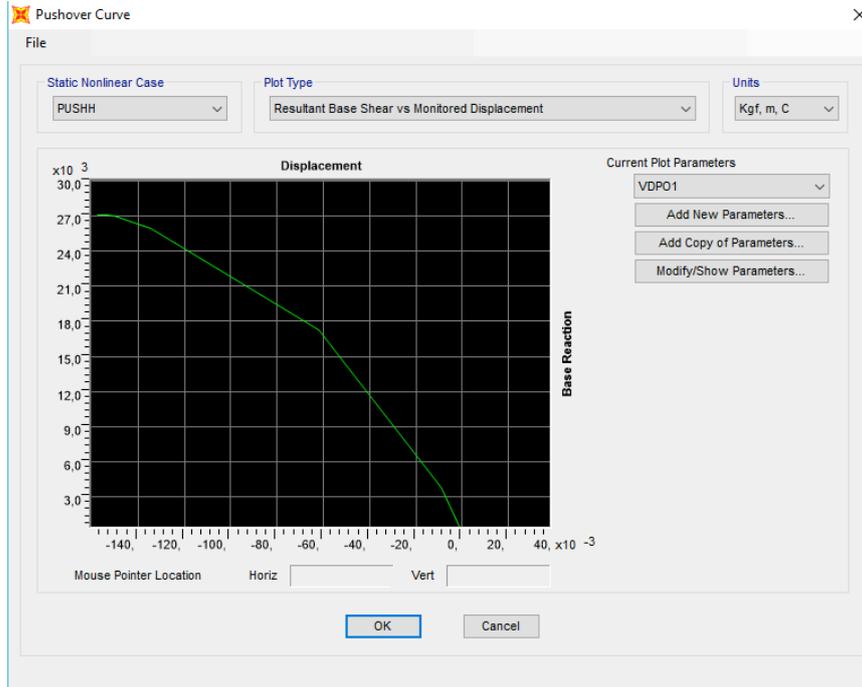
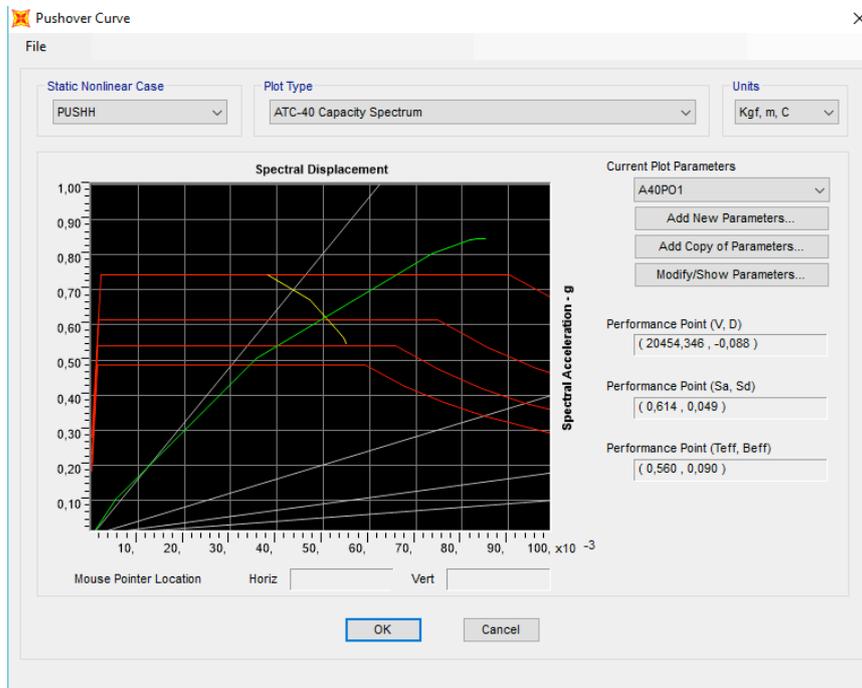


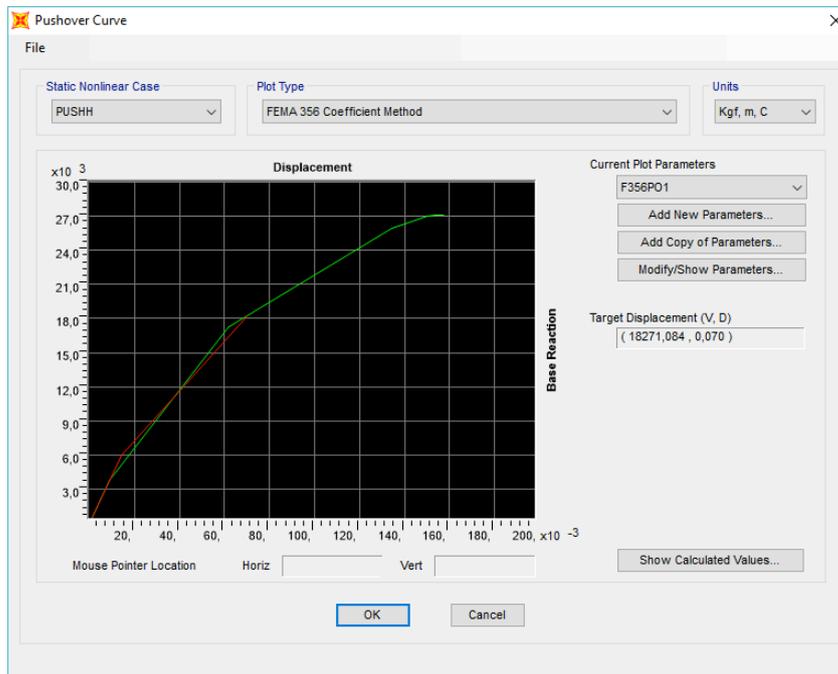
Figura 56. Aparición de Rótulas Plásticas



Curva de Capacidad 11



ATC-40 11



FEMA 11 Fuerza vs Deformación

Arriostramiento en combinación de nivel del suelo y en pórtico, con perfiles UPN80

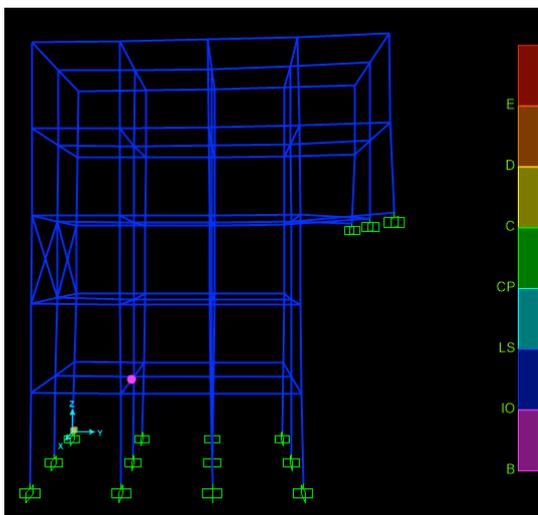


Figura 57. Aparición de Rótulas Plásticas

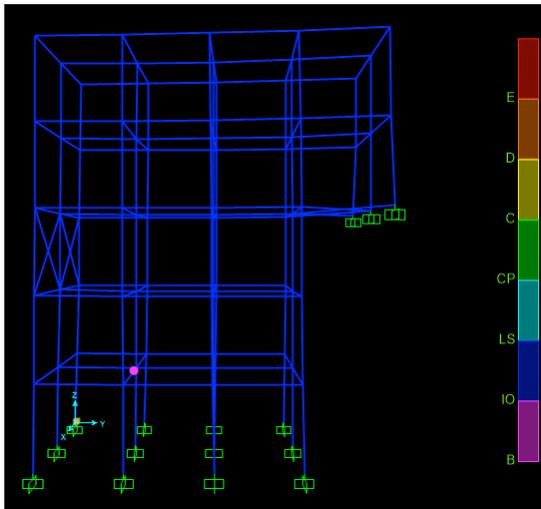


Figura 58. Aparición de Rótulas Plásticas

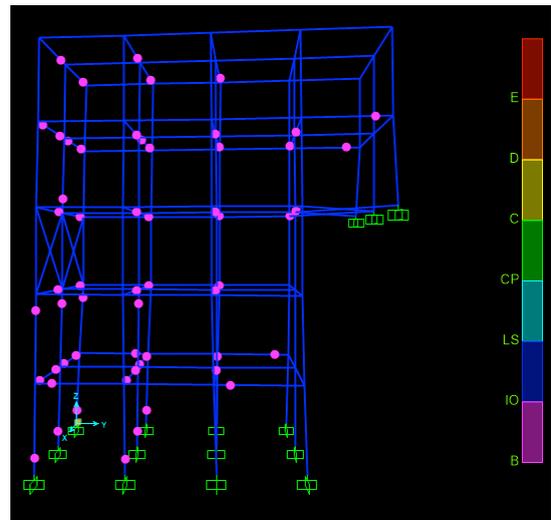


Figura 59. Aparición de Rótulas Plásticas

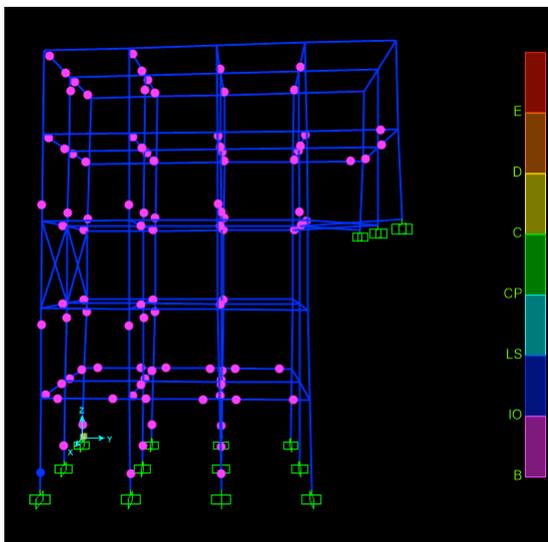


Figura 60. Aparición de Rótulas Plásticas

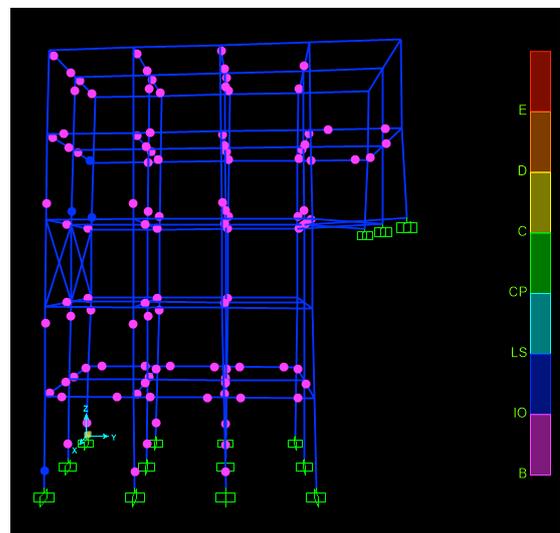


Figura 61. Aparición de Rótulas Plásticas

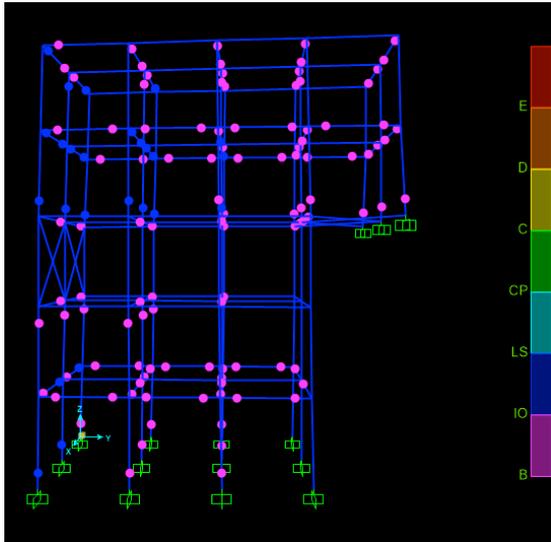
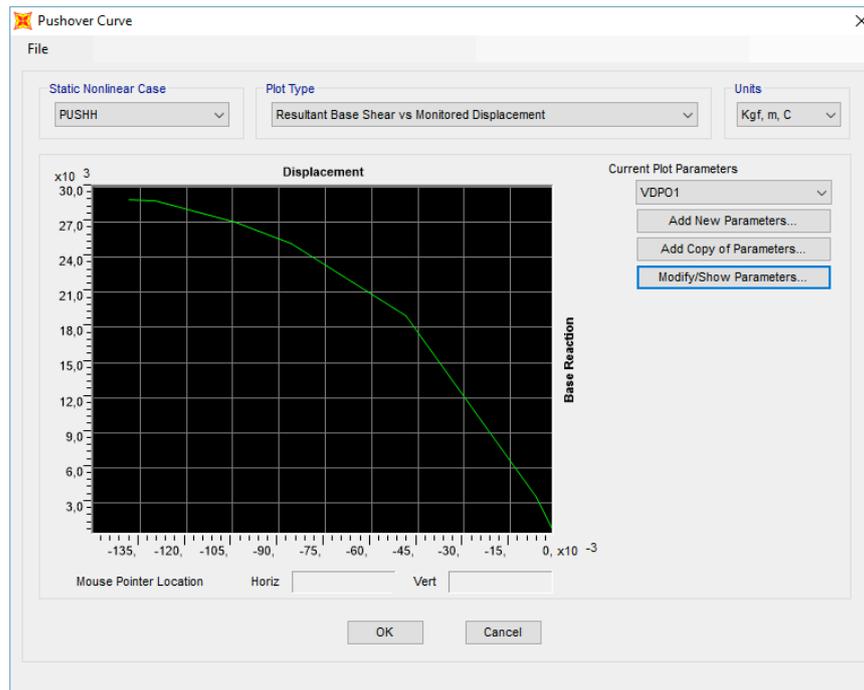
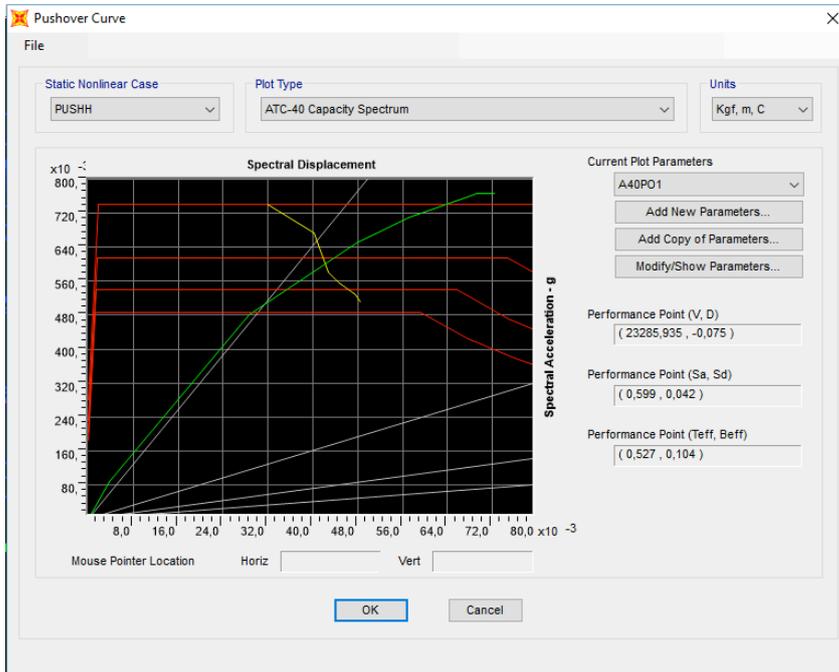


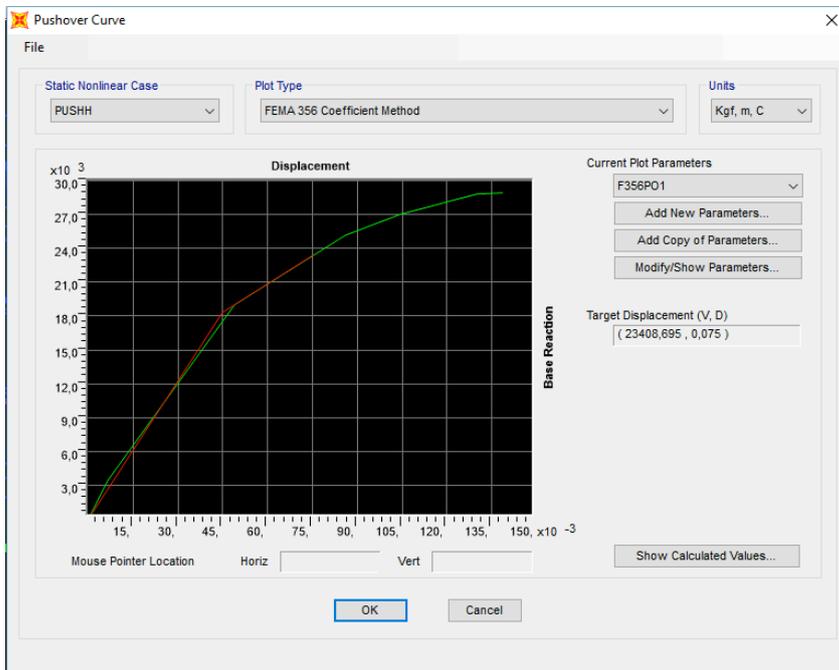
Figura 62. Aparición de Rótulas Plásticas



Curva de Capacidad 12



ATC-40 12



FEMA 12 Fuerza vs Deformación



Arriostramientos con perfiles IPN100

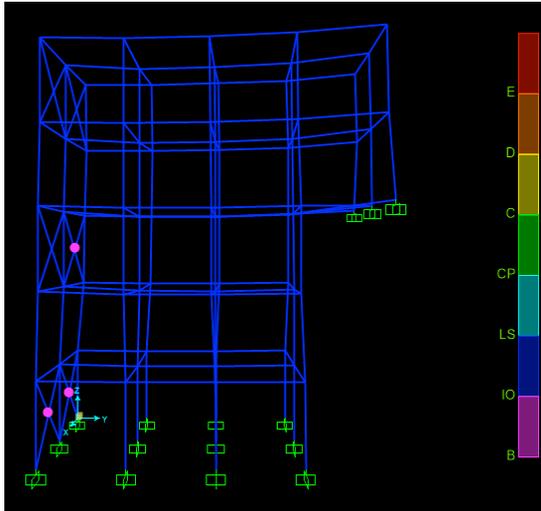


Figura 63. Aparición de Rótulas Plásticas

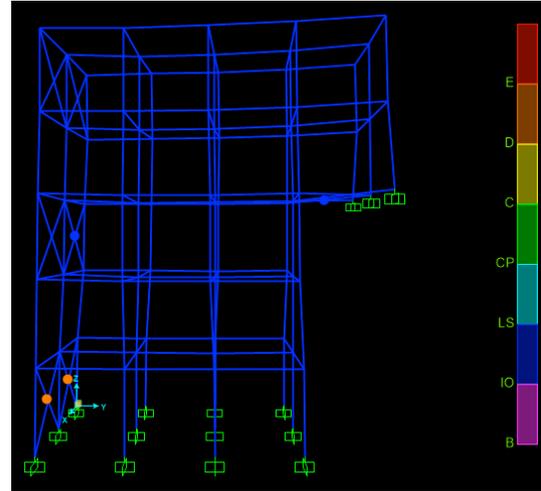


Figura 64. Aparición de Rótulas Plásticas

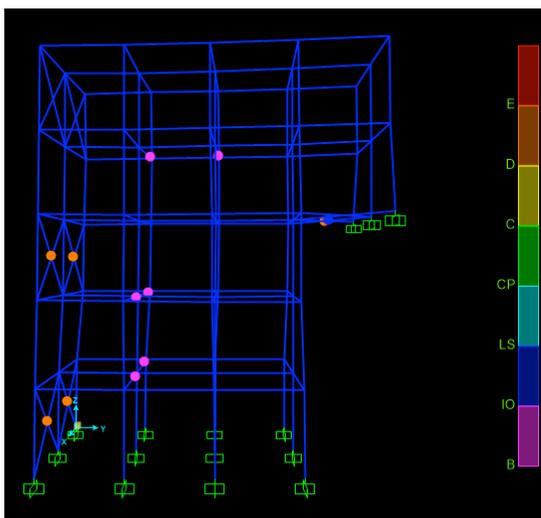


Figura 65. Aparición de Rótulas Plásticas

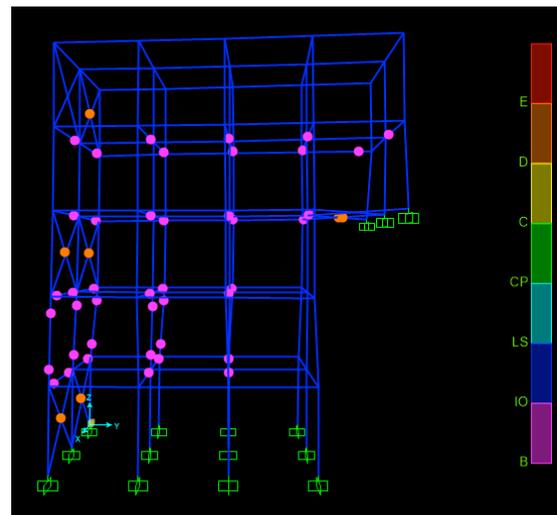


Figura 66. Aparición de Rótulas Plásticas

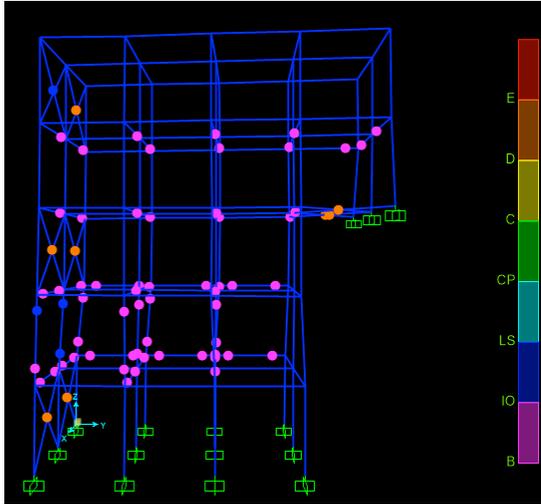


Figura 67. Aparición de Rótulas Plásticas

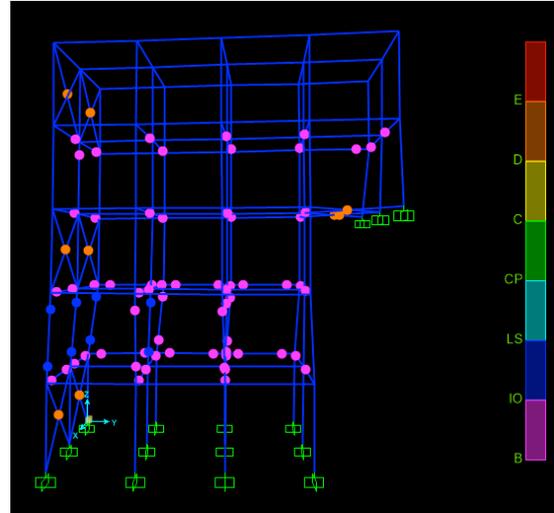
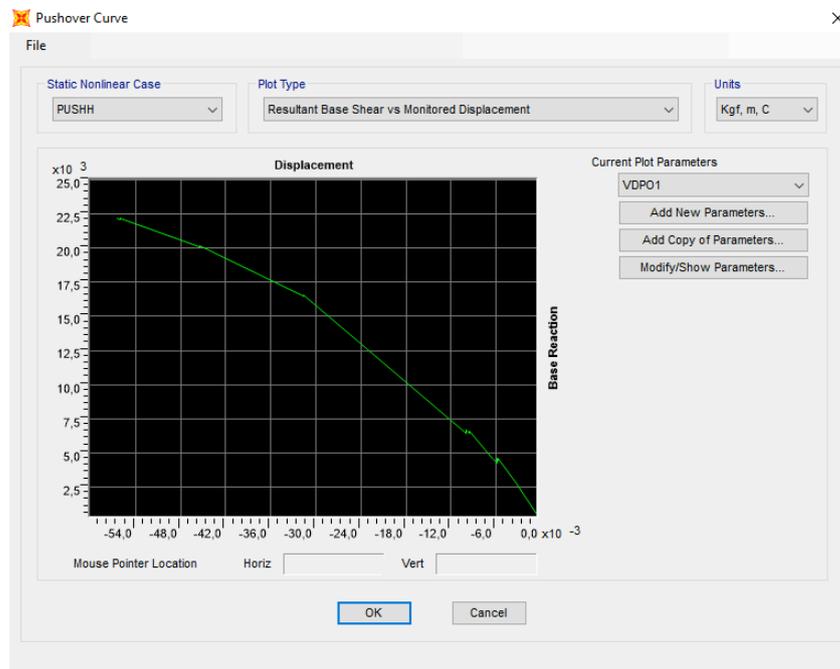
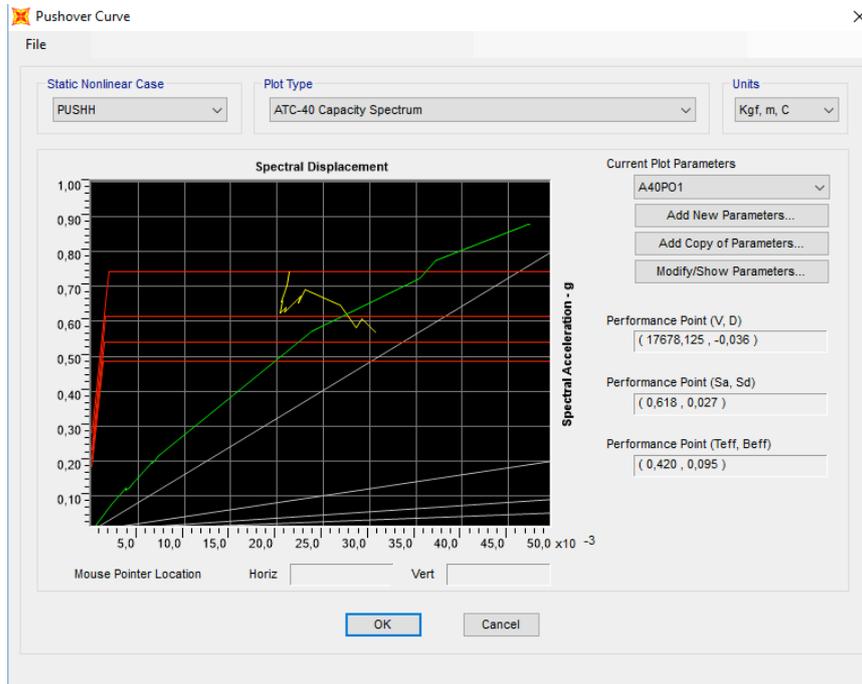


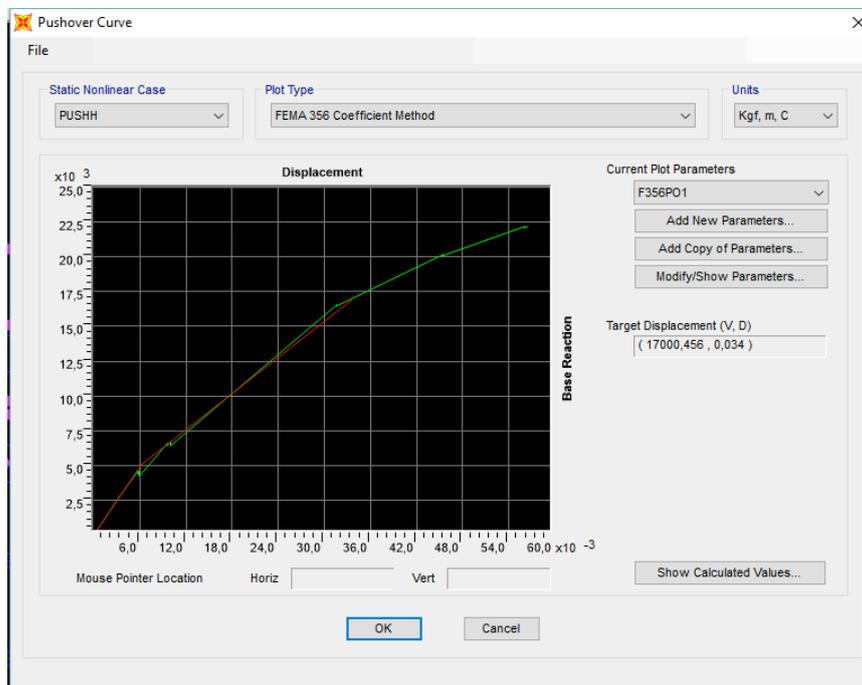
Figura 68. Aparición de Rótulas Plásticas



Curva de Capacidad 13



ATC-40 13



FEMA 13 Fuerza vs Deformación



Diagonales con perfiles IPN100

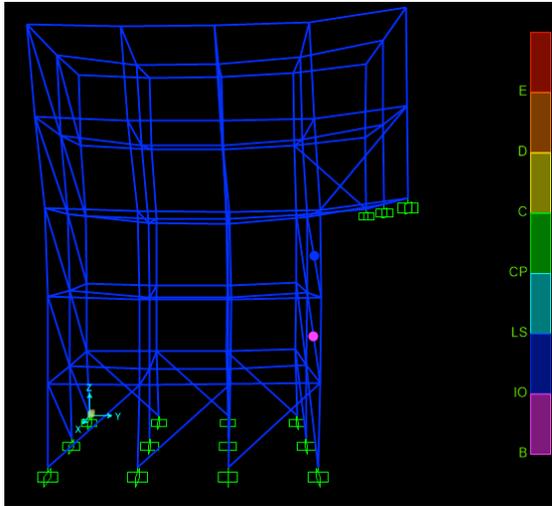


Figura 69. Aparición de Rótulas Plásticas

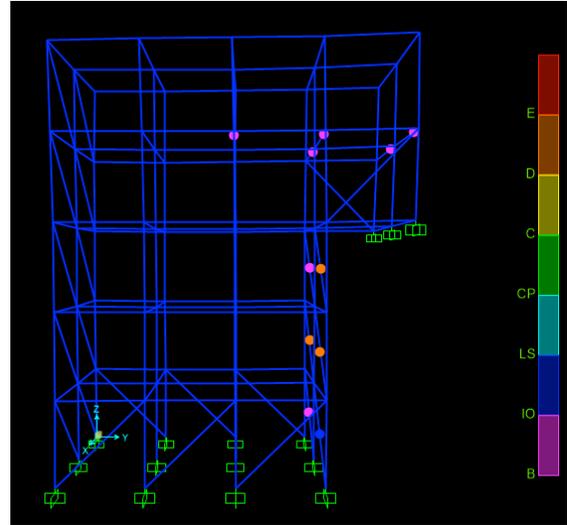


Figura 70. Aparición de Rótulas Plásticas

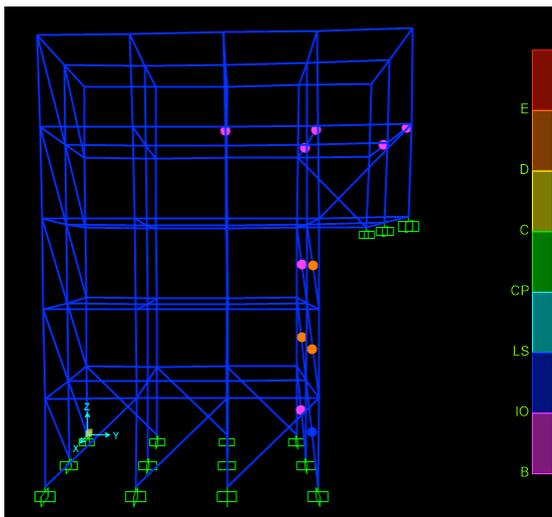


Figura 71. Aparición de Rótulas Plásticas

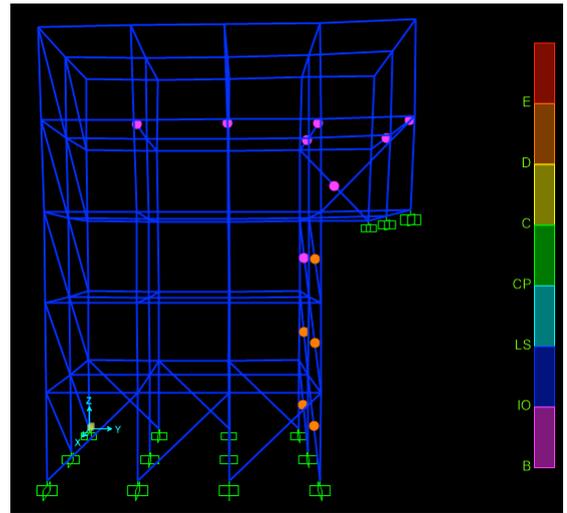


Figura 72. Aparición de Rótulas Plásticas

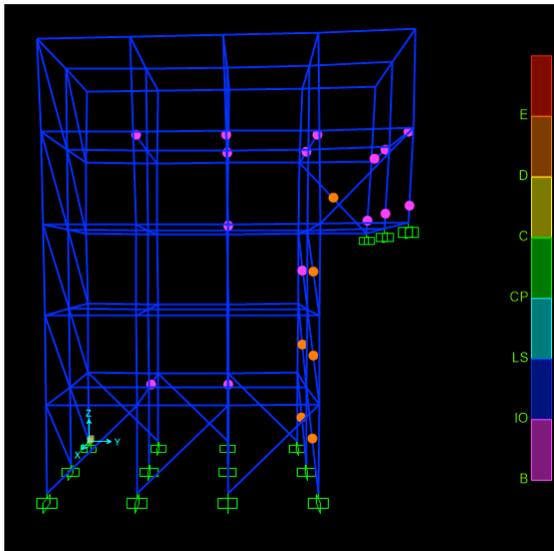


Figura 73. Aparición de Rótulas Plásticas

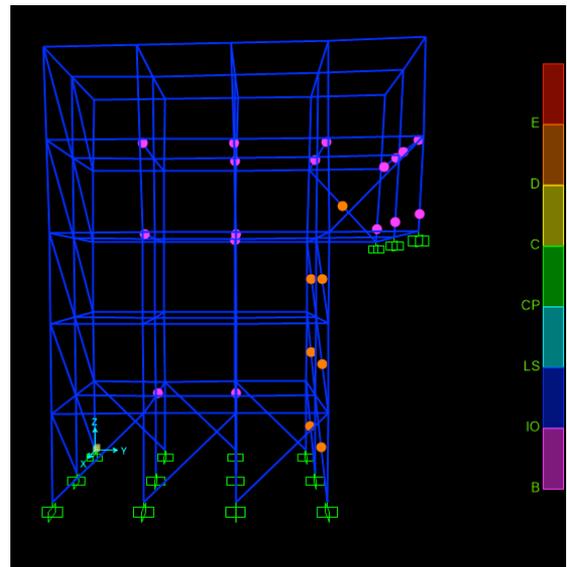


Figura 74. Aparición de Rótulas Plásticas

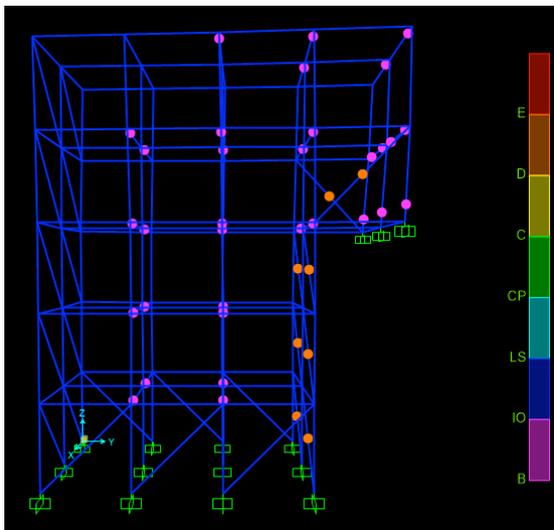


Figura 75. Aparición de Rótulas Plásticas

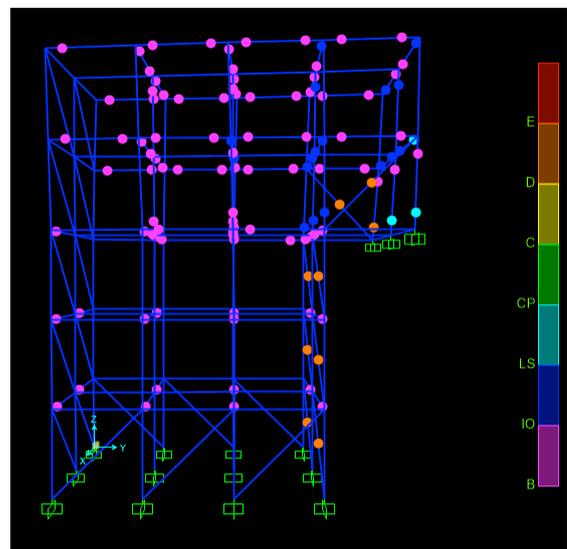


Figura 76. Aparición de Rótulas Plásticas

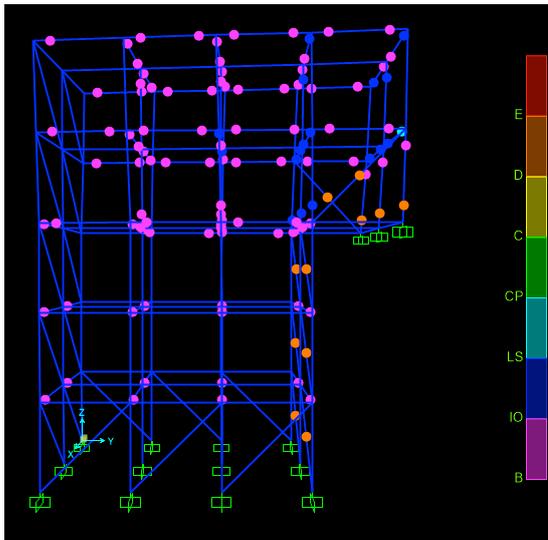
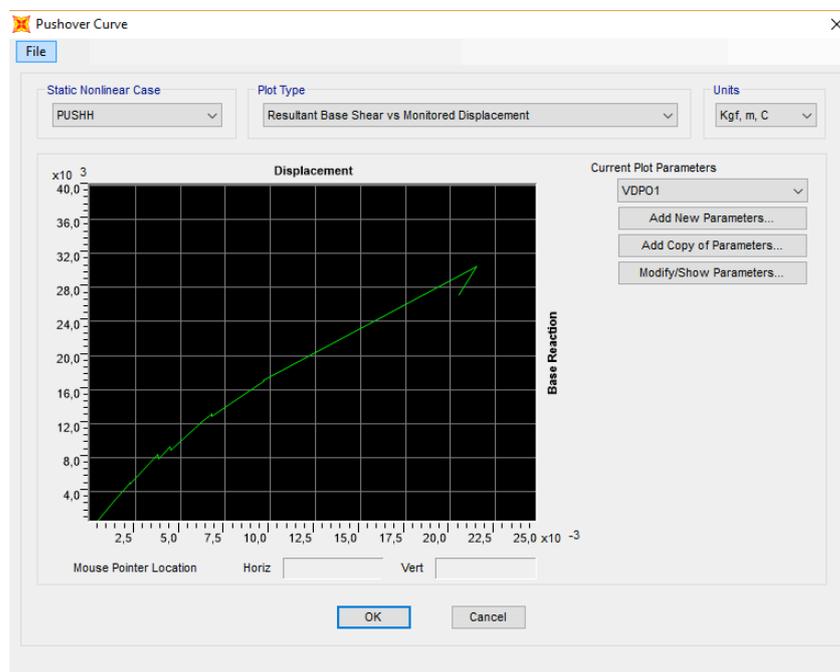
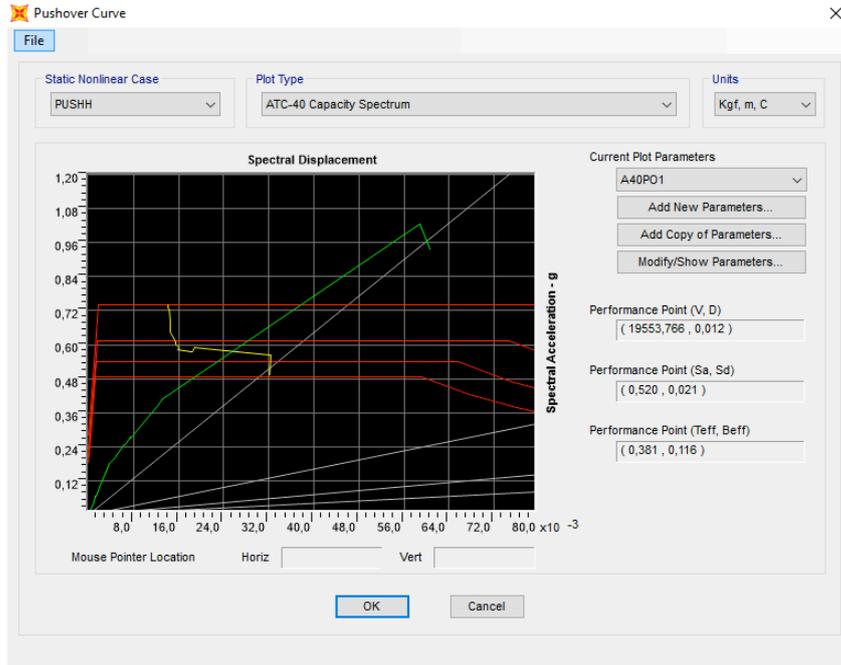


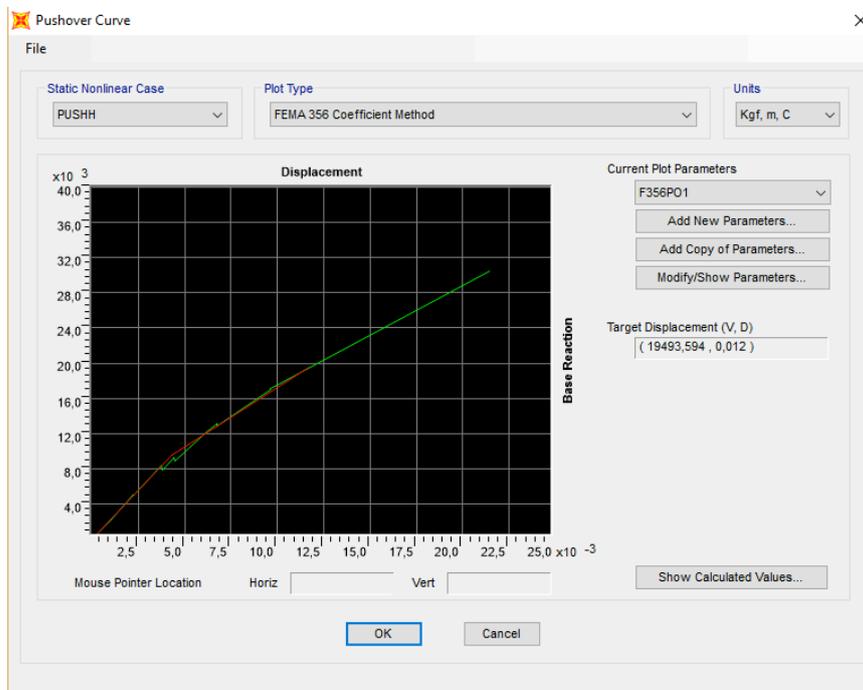
Figura 77. Aparición de Rótulas Plásticas



Curva de Capacidad 14



ATC-40 14



FEMA 14 Fuerza vs Deformación



Muros

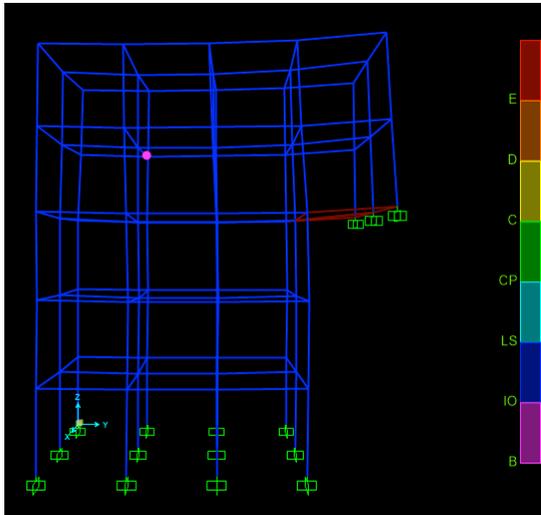


Figura 78. Aparición de Rótulas Plásticas

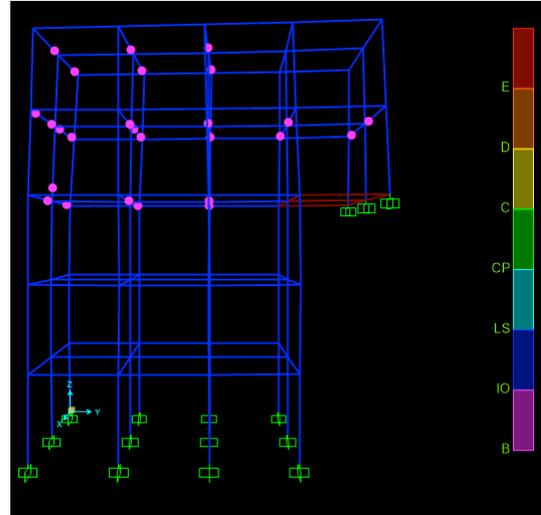


Figura 79. Aparición de Rótulas Plásticas

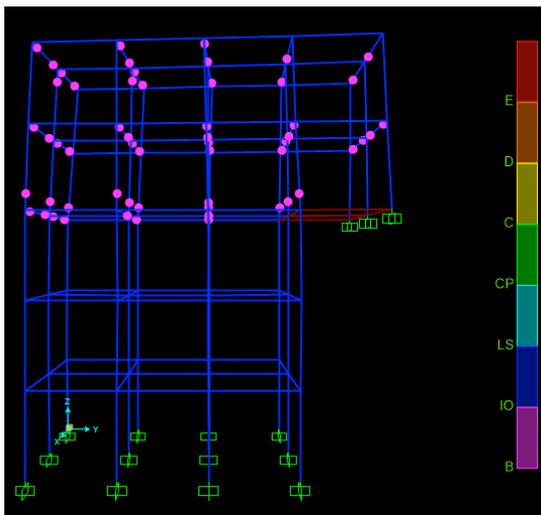


Figura 80. Aparición de Rótulas Plásticas

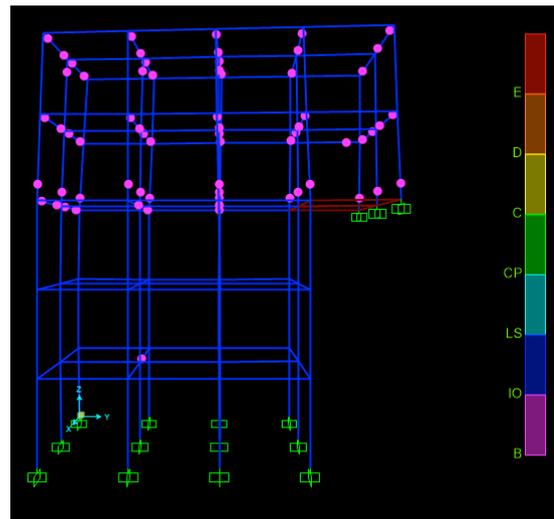


Figura 81. Aparición de Rótulas Plásticas

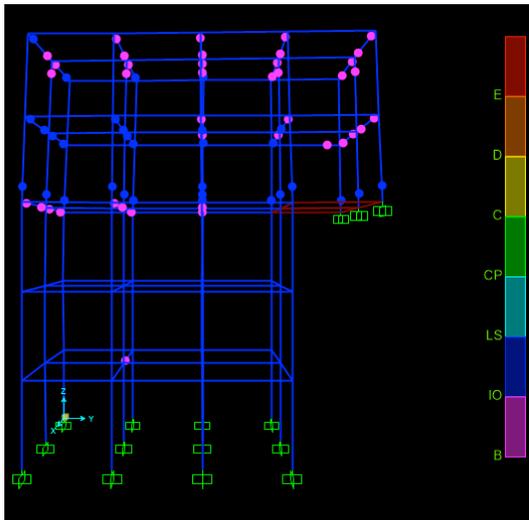


Figura 82. Aparición de Rótulas Plásticas

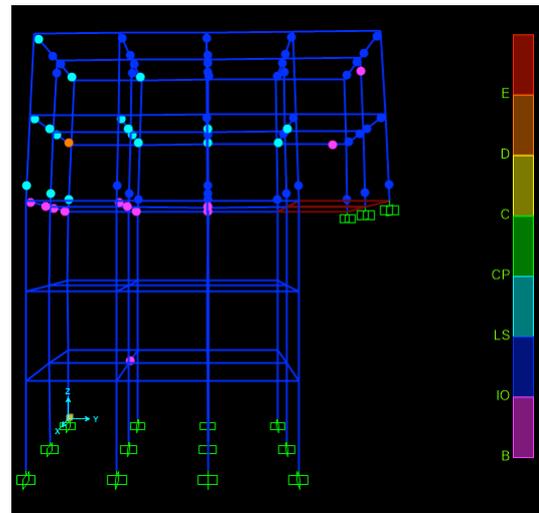
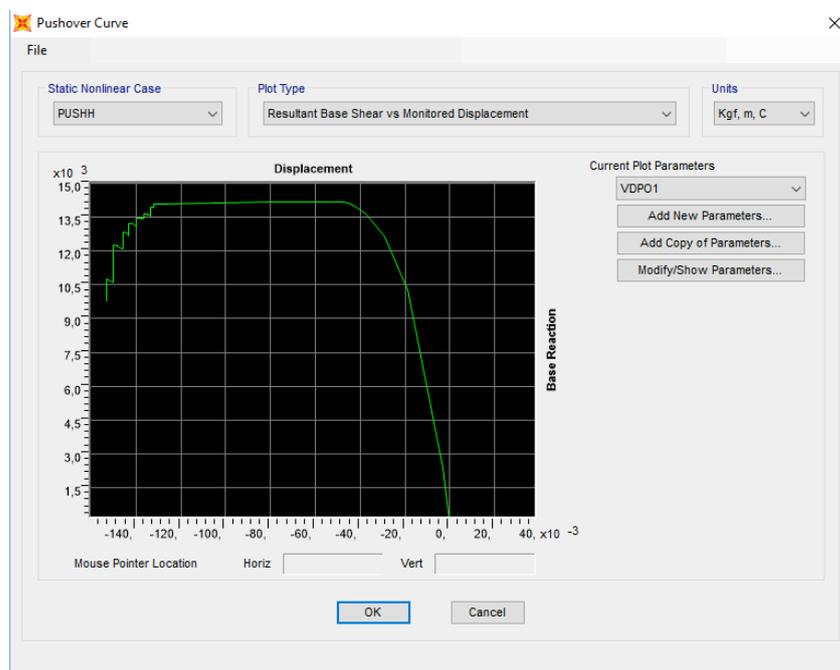
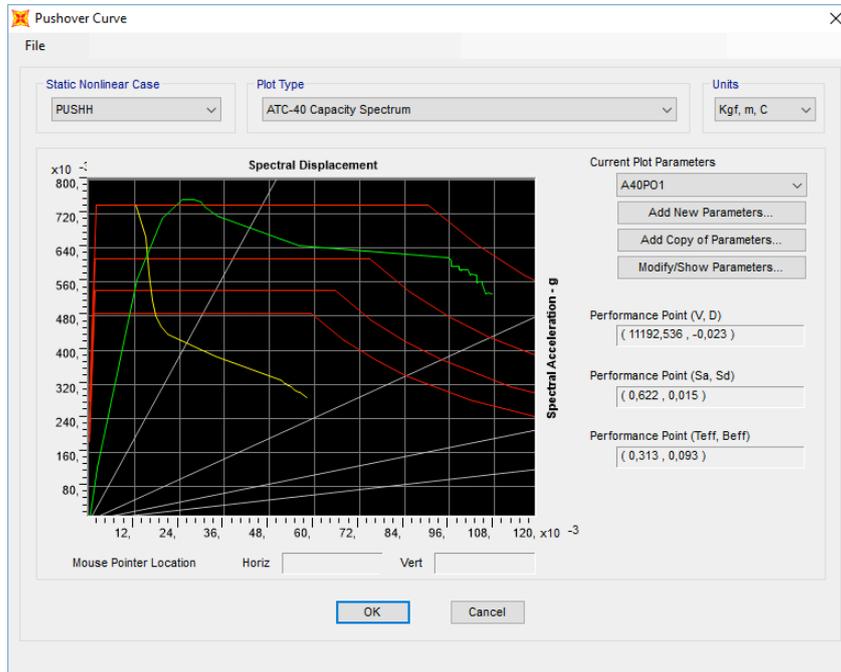


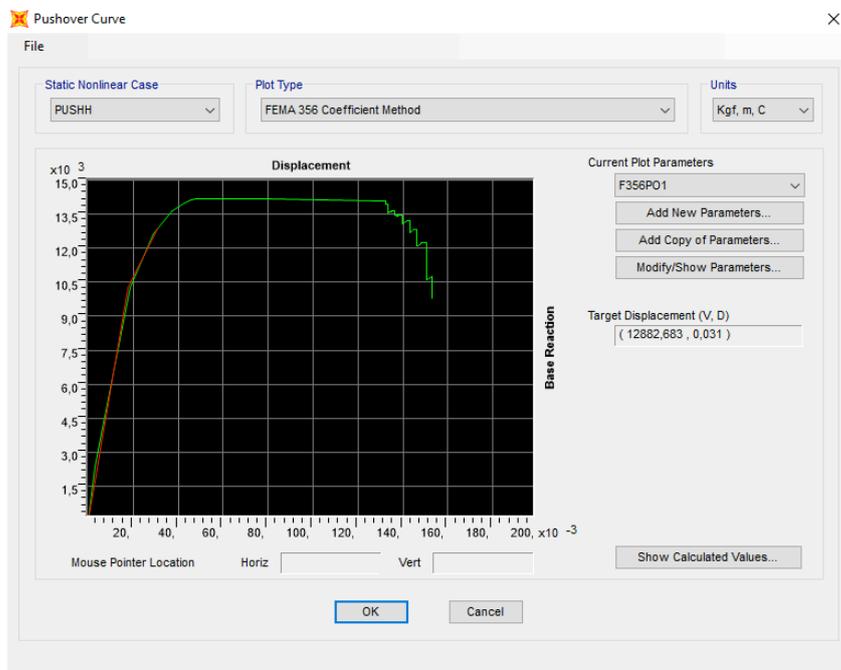
Figura 83. Aparición de Rótulas Plásticas



Curva de Capacidad 15



ATC-40 15



FEMA 15 Fuerza vs Deformación

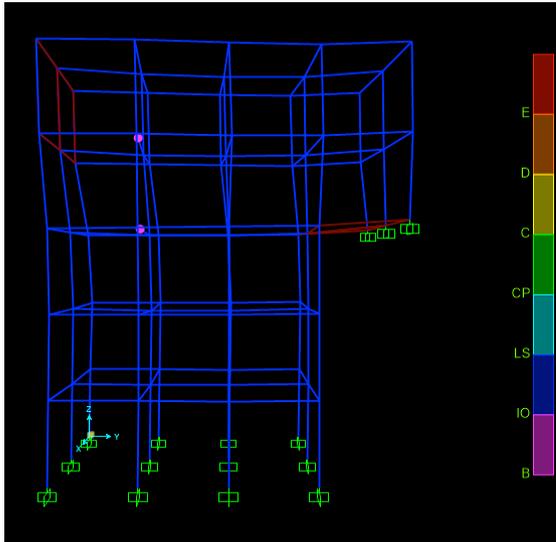


Figura 84. Aparición de Rótulas Plásticas

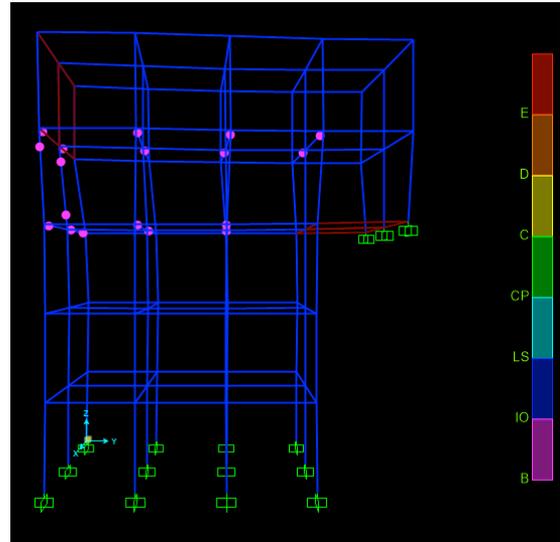


Figura 85. Aparición de Rótulas Plásticas

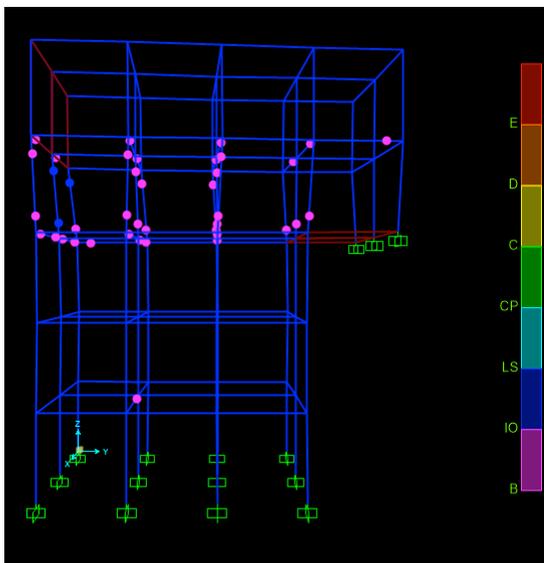


Figura 86. Aparición de Rótulas Plásticas

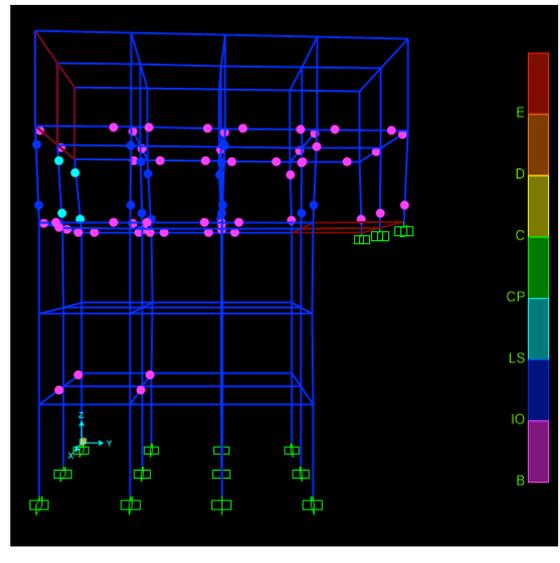


Figura 87. Aparición de Rótulas Plásticas

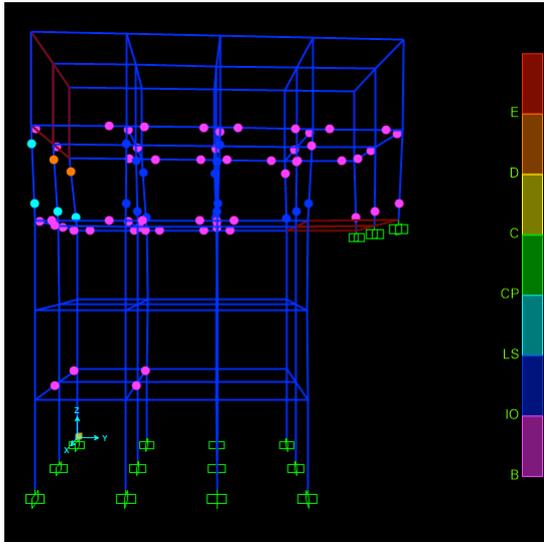


Figura 88. Aparición de Rótulas Plásticas

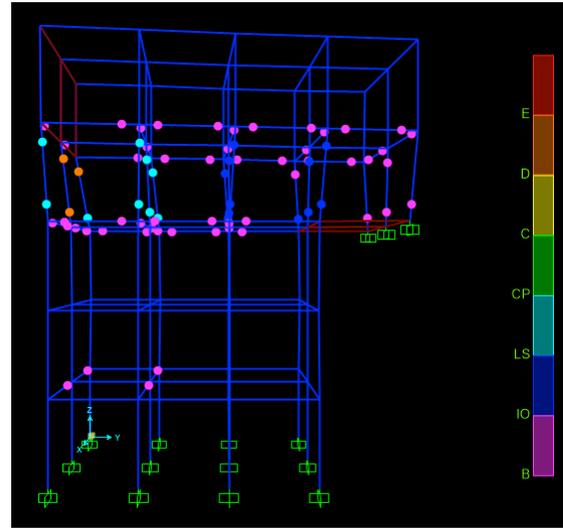
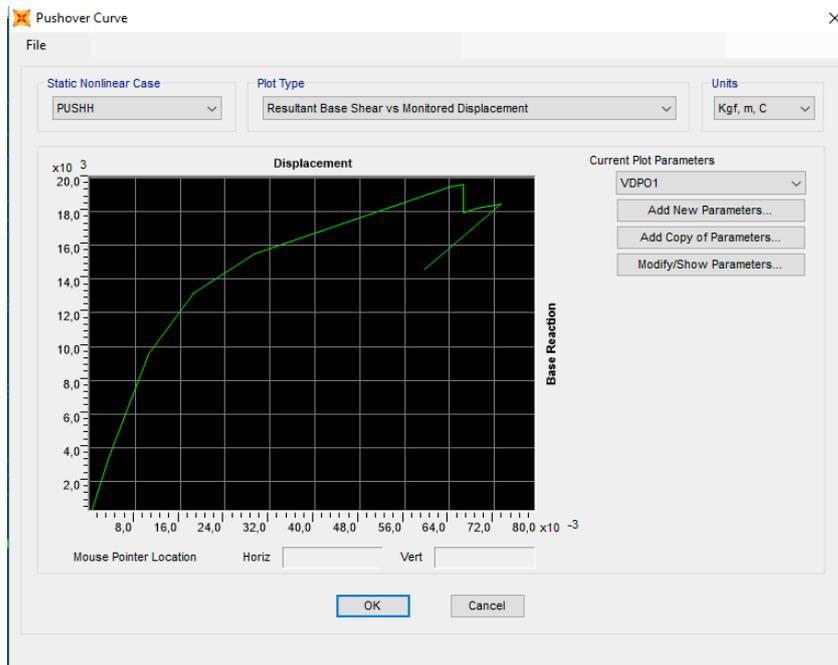
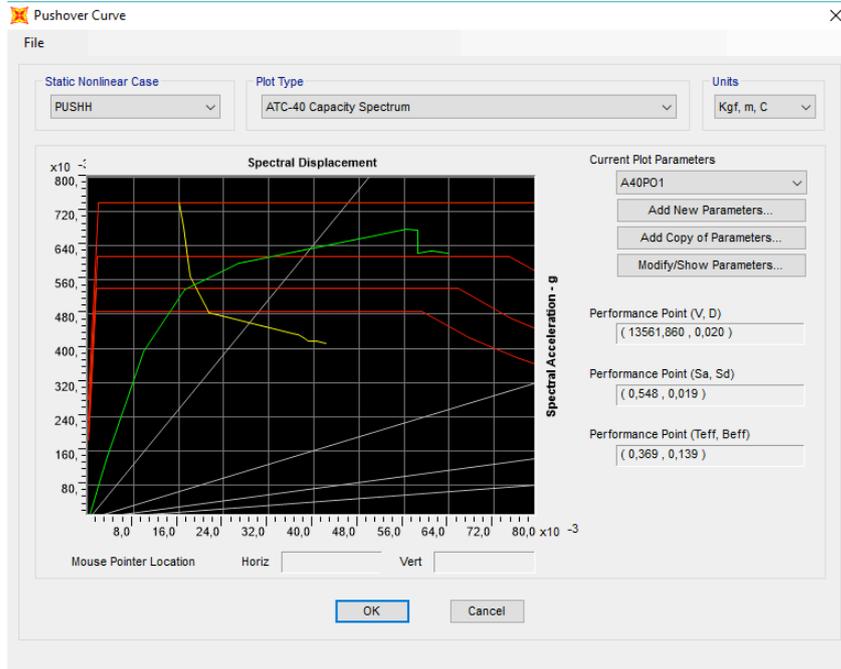


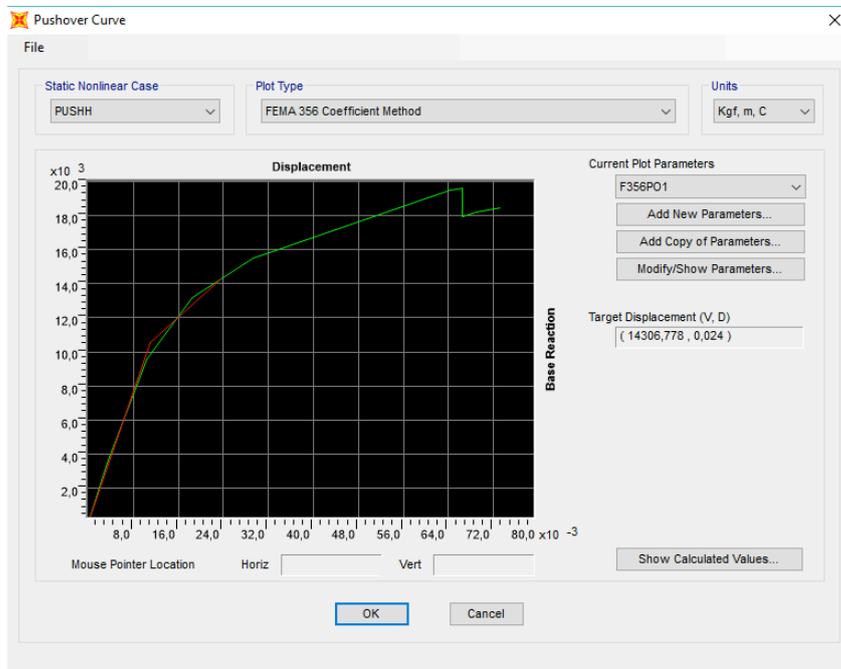
Figura 89. Aparición de Rótulas Plásticas



Curva de Capacidad 16



ATC-40 16



FEMA 16 Fuerza vs Deformación



Vigas de Riostra

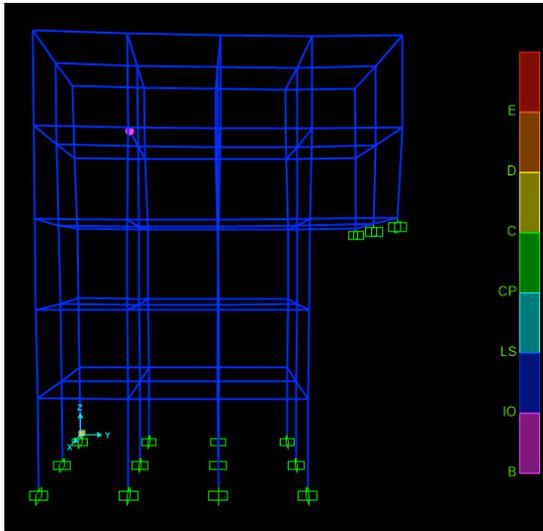


Figura 90. Aparición de Rótulas Plásticas

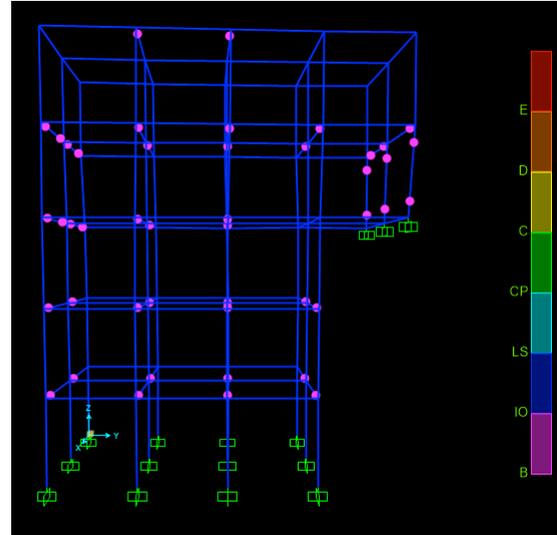


Figura 91. Aparición de Rótulas Plásticas

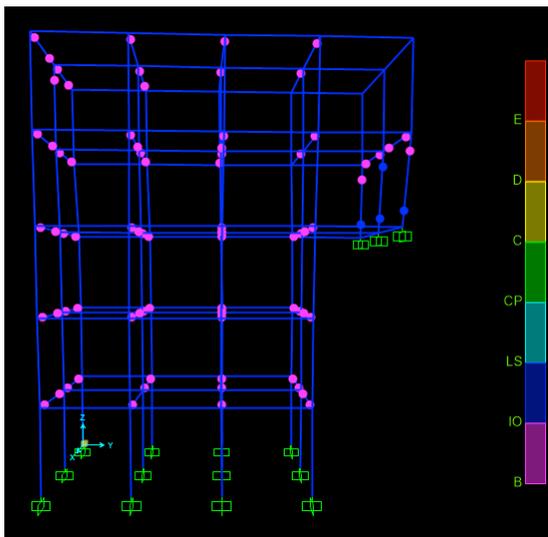


Figura 92. Aparición de Rótulas Plásticas

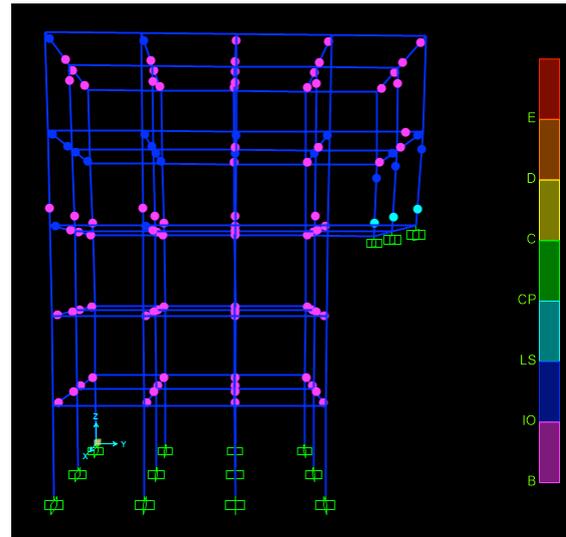


Figura 93. Aparición de Rótulas Plásticas

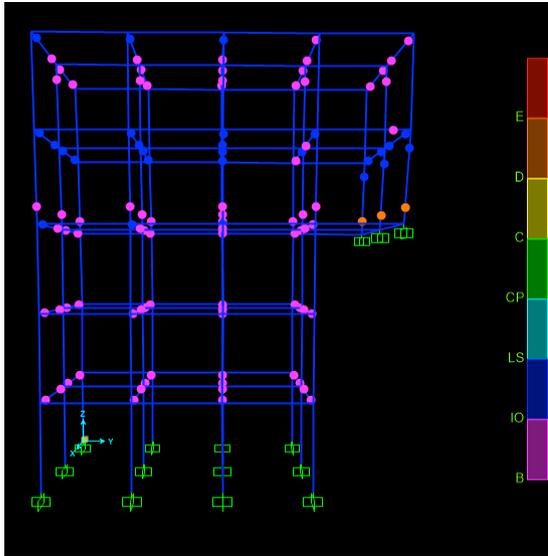


Figura 94. Aparición de Rótulas Plásticas

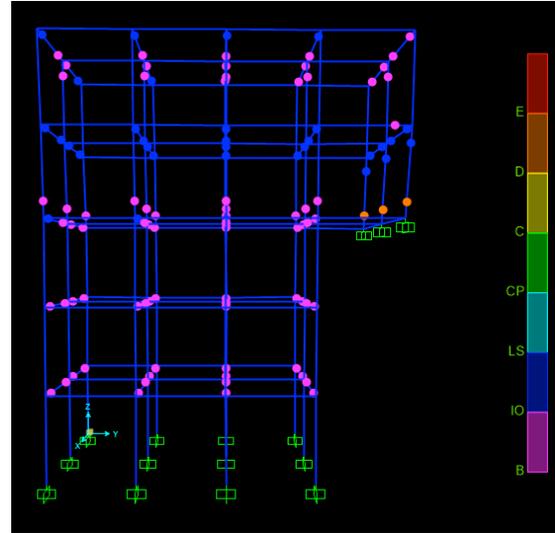
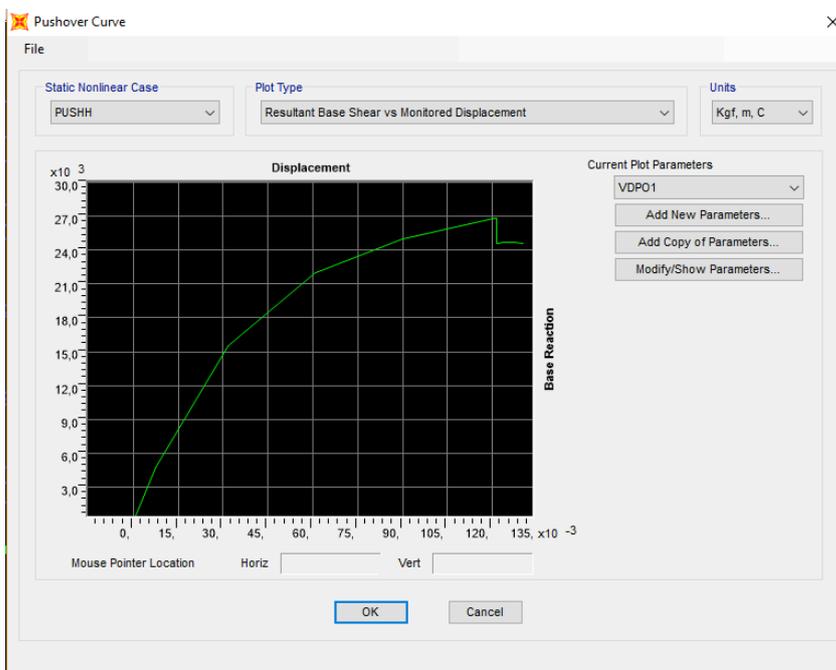
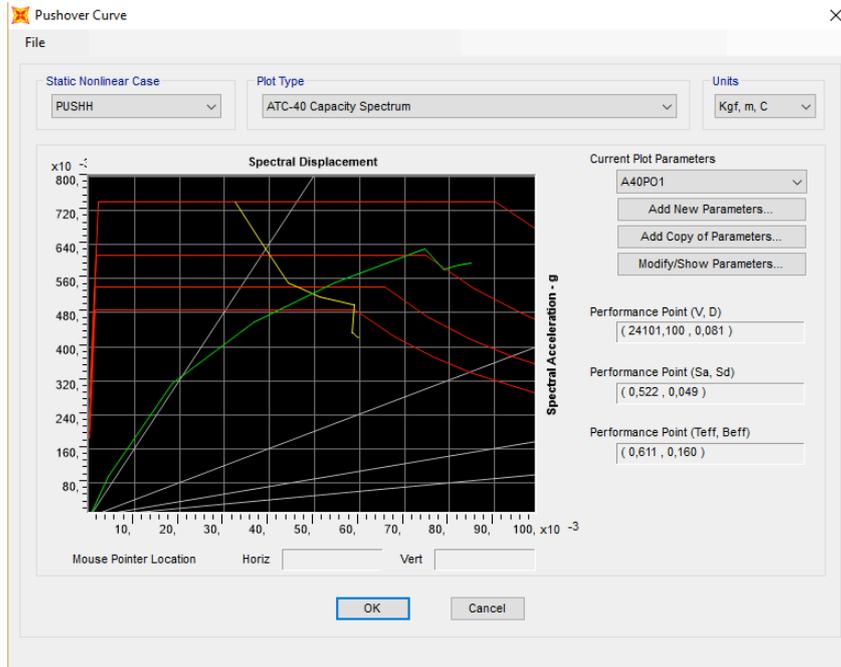


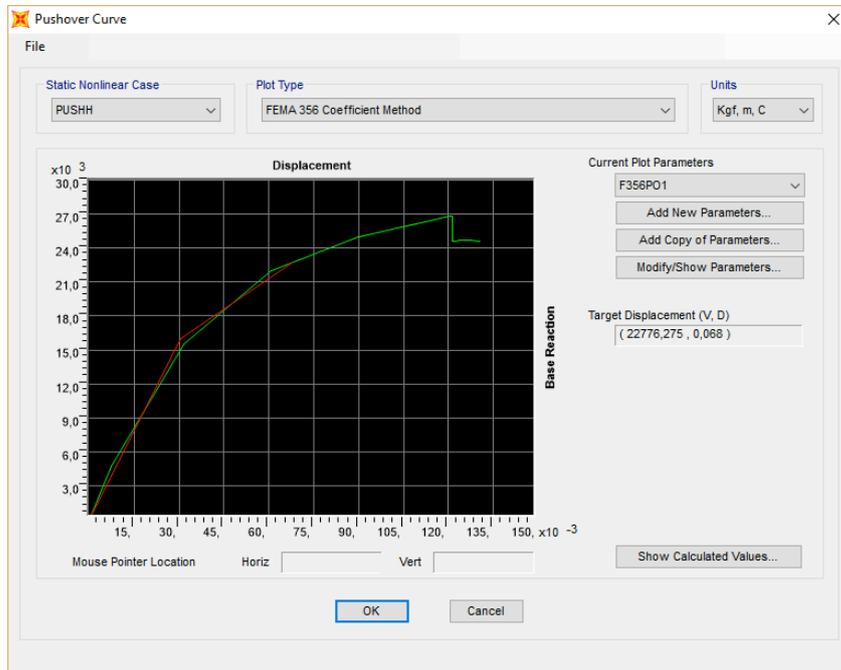
Figura 95. Aparición de Rótulas Plásticas



Curva de Capacidad 17



ATC-40 17



FEMA 17 Fuerza vs Deformación



Vigas de riostra en combinación con placas metálicas de 1/4"

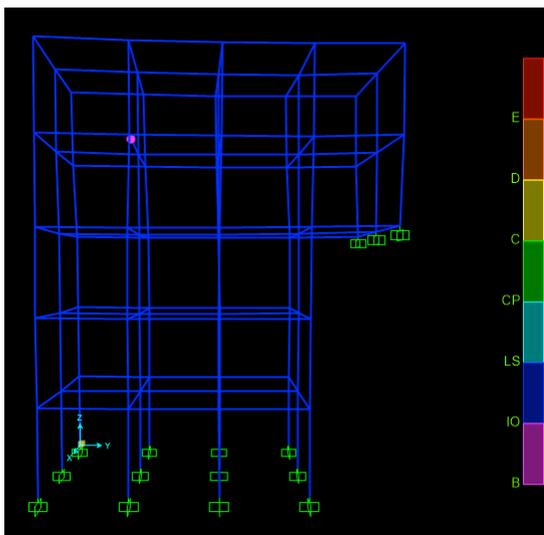
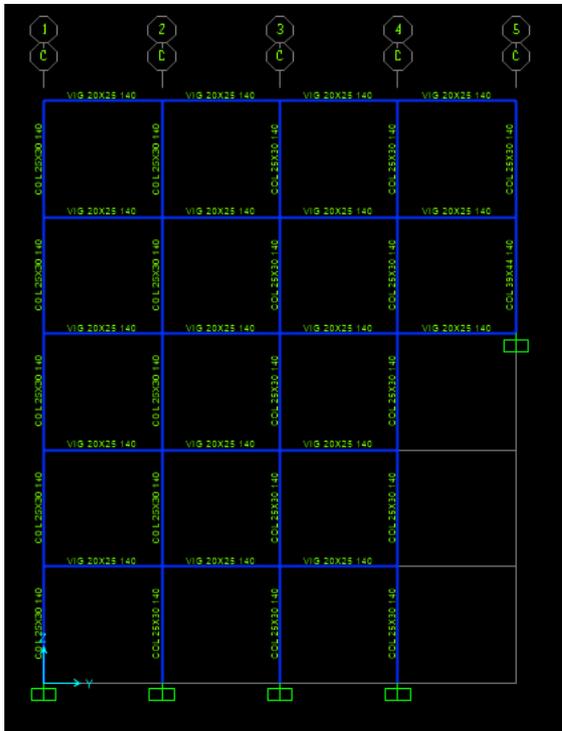


Figura 96. Aparición de Rótulas Plásticas

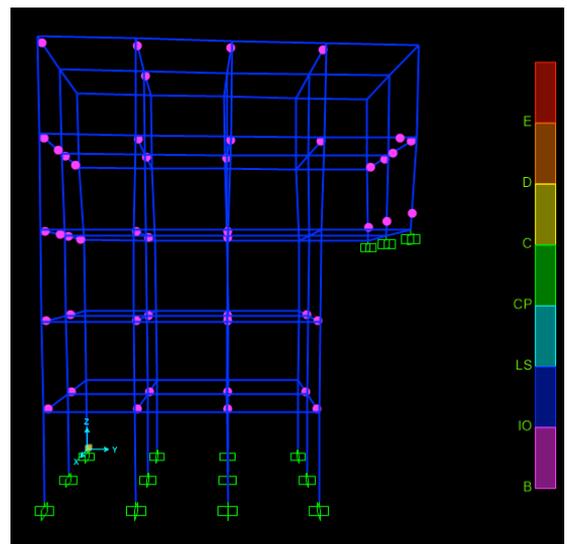


Figura 97. Aparición de Rótulas Plásticas

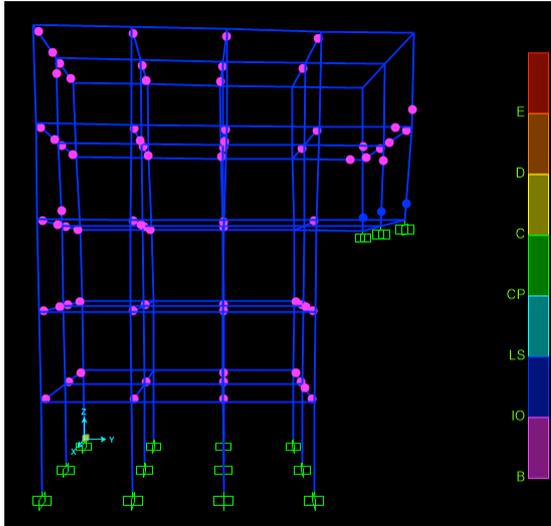


Figura 98. Aparición de Rótulas Plásticas

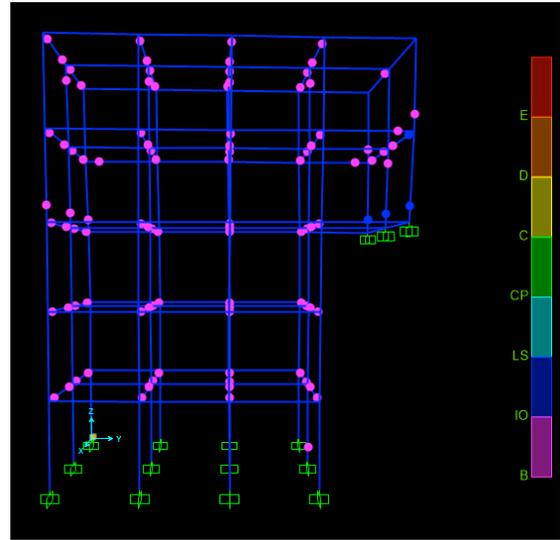


Figura 99. Aparición de Rótulas Plásticas

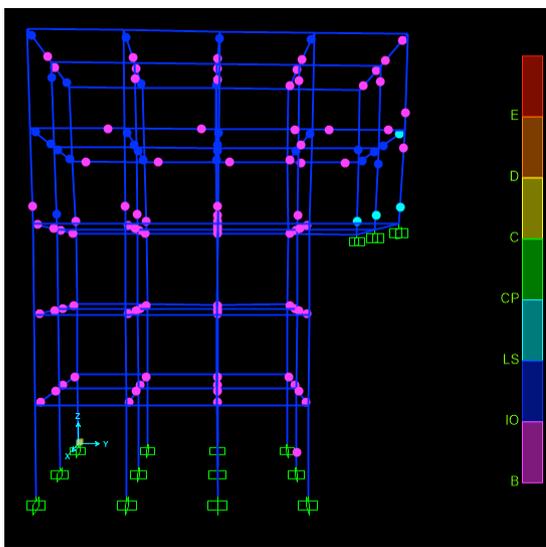


Figura 100. Aparición de Rótulas Plásticas

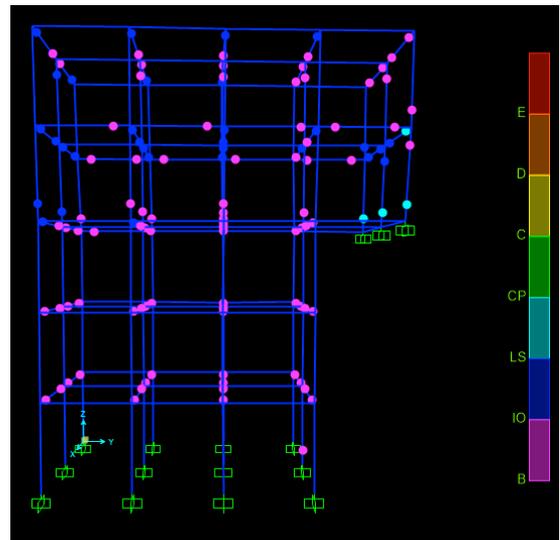
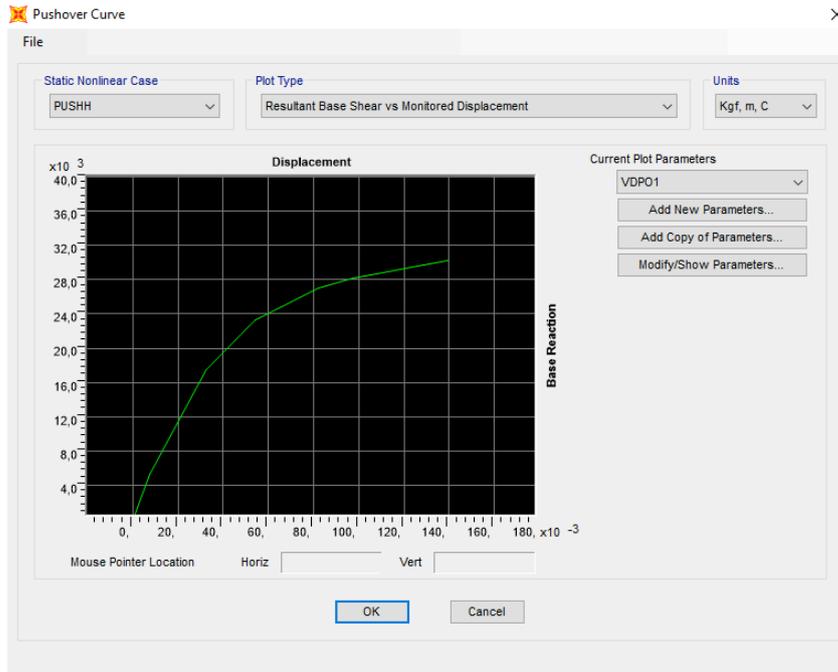
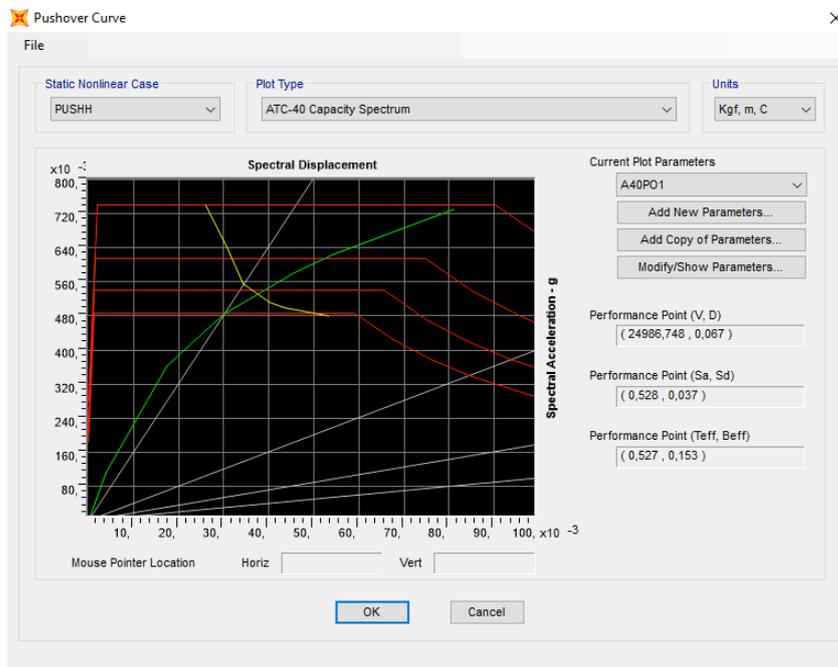


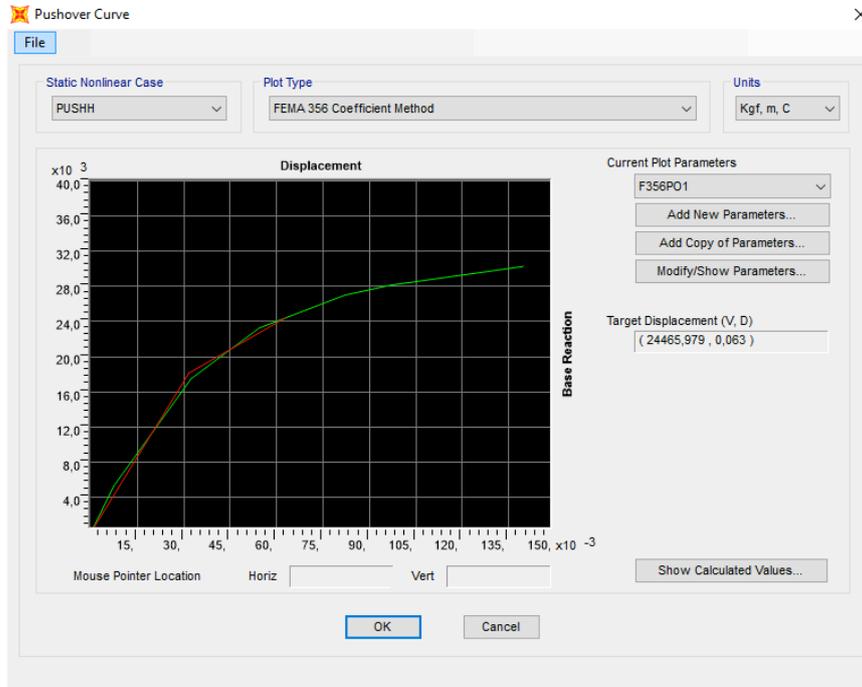
Figura 101. Aparición de Rótulas Plásticas



Curva de Capacidad 18



ATC-40 18



FEMA 18 Fuerza vs Deformación



3. ANEXO C

Planilla de Encuesta

Vivienda Nro	
Nro de niveles de la vivienda	
Todos los niveles se contruyeron a la vez, o con el pasar del tiempo se fueron aumentando	
Piso	
COLUMNAS	
Cantidad de cemento	
Cantidad de agregado fino	
Cantidad de agregado grueso	
Nro de cabillas	
Medidas de cabillas	
Separación de ligaduras	
Medidas de ligaduras	
Colocación de cabillas	
VIGAS	
Cantidad de cemento	
Cantidad de agregado fino	
Cantidad de agregado grueso	
Nro de cabillas	
Medidas de cabillas	
Separación de estribos	
Medidas de estribos	



Colocación de cabillas	
ENTREPISOS	
Lámina	
Losa	
Tabelones	
Cantidad de cemento	
Cantidad de agregado fino	
Cantidad de agregado grueso	