

Universidad De Oriente  
Núcleo De Anzoátegui  
Extensión Cantaura  
Escuela De Ingeniería Y Ciencias Aplicadas  
Departamento De Ingeniería Civil



**ELABORACIÓN DE CURVAS DE FRAGILIDAD PARA EL  
EDIFICIO DE AULAS DE LA UNIVERSIDAD DE  
ORIENTE, NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
EXTENSIÓN CANTAURA.**

Realizado por

García Das Neves, Jessalis Carolina.

Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como  
Requisito para optar al Título de:

**Ingeniero Civil**

Cantaura Agosto de 2018

Universidad De Oriente  
Núcleo De Anzoátegui  
Extensión Cantaura  
Escuela De Ingeniería Y Ciencias Aplicadas  
Departamento De Ingeniería Civil



**ELABORACIÓN DE CURVAS DE FRAGILIDAD PARA EL  
EDIFICIO DE AULAS DE LA UNIVERSIDAD DE  
ORIENTE, NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
EXTENSIÓN CANTAURA.**

Asesor

---

Cabrera, Daniel.

Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como  
Requisito para optar al Título de:

**Ingeniero Civil**

Cantaura Agosto de 2018

Universidad De Oriente  
Núcleo De Anzoátegui  
Extensión Cantaura  
Escuela De Ingeniería Y Ciencias Aplicadas  
Departamento De Ingeniería Civil



**ELABORACIÓN DE CURVAS DE FRAGILIDAD PARA EL  
EDIFICIO DE AULAS DE LA UNIVERSIDAD DE  
ORIENTE, NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
EXTENSIÓN CANTAURA.**

JURADO CALIFICADOR

**El Jurado hace constar que asignó a esta tesis la calificación de:**

**APROBADO**

---

Martínez Jhonatan  
Jurado Principal

---

Cermeño Carlos  
Jurado Principal

Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como  
Requisito para optar al Título de:  
**Ingeniero Civil**

Cantaura Agosto de 2018

## **RESOLUCIÓN**

De acuerdo al Artículo 41 del Reglamento de Trabajo de Grado de la universidad de oriente.

*“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad y sólo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario, para su autorización”*



## **DEDICATORIA**

A Dios.

A mis padres, mi hermana y mi hermano.

A mi viejito adorado que desde el cielo me cuida.

## AGRADECIMIENTOS

Es imposible comenzar esta sección sin que el primer agradecimiento este dirigido a Dios, por cada respiro, por cada día de vida que me concede, por hacer posible todo este arduo trabajo y por poner en mi camino a las personas correctas.

A mi Virgen del Valle y a mi Virgencita de Fátima, ¡GRACIAS! por nunca abandonarme en esos momentos de oscuridad donde dude de mi misma y de lo que era capaz de hacer, fueron y son la luz que ilumina mi camino.

A mis señores padres Alis y Jesús, a ustedes mis pilares les debo más que mi vida, desde que tengo uso de razón han sacrificado mucho por verme feliz y realizada, hoy por hoy, lo que soy, lo que tengo y lo que aspiro tener es por ustedes, para enorgullecerlos y retribuir todo ese amor que me dan todos los días. Siempre han sido mis mejores amigos y mis mayores críticos, son mi orgullo y mi ejemplo, y ruego a Dios por una vida como la que ustedes tienen y que me permita demostrarles el buen trabajo que hicieron criando este personaje.

A mi hermana Elis, por tu apoyo incondicional, tus críticas constructivas y destructivas, tus peleas y el amor que tan particularmente me das. Te amo inmensamente, fuiste mi primera compañera, mi primera secuaz y agradezco tenerte como hermana.

A mi madre sustituta Mary, a mi adorada tía enana, un simple agradecimiento se queda súper corto para lo que mereces, gracias por tu apoyo incondicional y continuo, por la manera en que me impulsas a seguir y a tomar cada obstáculo como una oportunidad de mejorar. Sobra decir que te amo tía bella y que ruego a dios me permita tenerte muchísimos años conmigo.

A mi Ángel, ¡sí, a ti!, gracias por quererme como solo tú lo sabes hacer, gracias por apoyarme hasta cuando menos lo merecía, parte de lo que logre es gracias a ti, aunque a veces no sabías de lo que hablaba siempre encontrabas las palabras perfectas para animarme. Gracias por poner ese toque de locura que hacía falta en mi vida.

A mi particular familia de locos, gracias por el apoyo que siempre me han dado, por esas palabras de aliento que muchas veces hacían falta, los amo inmensamente y espero cumplir siempre con sus expectativas, son mi orgullo y ejemplo a seguir.

A mi Sensei, maestro, tío, amigo y ahora colega, ¡GRACIAS! Por inculcarme el valor del trabajo duro y del esfuerzo, por enseñarme a querer mi profesión y por ser un ejemplo para mí, sin ti esto no hubiese sido posible, gracias por asumir este reto conmigo y guiarme en cada paso que di. ¡LO LOGRAMOS TIO!

A quien puso en práctica su ideología e hizo de mí una persona más relajada y desprendida de los problemas, gracias tío Jesús por enseñarme el poder que tienen los pensamientos y por sembrar en mí esa semilla de positivismo. Ahora entiendo que todo depende de cómo tú lo escojas ver.

A mis amigos de infancia, en especial a mi negra faramayera Doriannys, gracias por tu apoyo, por tus innumerables críticas y consejos eres la hermana de vida que dios me permitió escoger.

A mis compañeros, compinches, colegas y hermanos de universidad, por estar a mi lado en momentos de bastante angustia durante esa travesía que recorrimos juntos. Leidimar y Francis, más que amigas son mis hermanas de corazón, gracias a ustedes el trauma universitario fue mucho más llevadero, gracias por poner mis pies en la tierra cada vez que lo necesite y por hacerme volar a otro lugar con sus ocurrencias cada vez que la vida me apretaba, las admiro por su valentía y su fortaleza, mis éxitos los comparto 100% con ustedes “mardis” las amo.

A mis extraordinarios profesores, a ustedes les debo muchísimo y agradezco todas sus enseñanzas durante este largo viaje, hicieron mucho con lo poco que tenían a la mano y lograron formar excelentes profesionales que en un mañana sacaran adelante este país. ¡GRACIAS INFINITAS!

A todos estos valiosos personajes que nombre y a los que no nombre pero que merecen igualmente un pedacito de mi logro ¡GRACIAS! por todo y por tanto.

Universidad De Oriente  
Núcleo De Anzoátegui  
Extensión Cantaura  
Escuela De Ingeniería Y Ciencias Aplicadas  
Departamento De Ingeniería Civil

Autor: Jessalis C. García Das Neves  
Tutor Académico: Cabrera, Daniel  
Año: 2018

**ELABORACIÓN DE CURVAS DE FRAGILIDAD PARA EL EDIFICIO DE AULAS DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE, NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI EXTENSIÓN CANTAURA.**

**RESUMEN**

La siguiente investigación está enmarcada en el desarrollo de una metodología probabilista conocida como curvas de fragilidad las cuales permiten conocer la vulnerabilidad o el grado de daño al cual puede estar sometida una estructura en caso de que la misma esté bajo una demanda sísmica. La estructura analizada es el módulo de aulas de la Universidad de Oriente extensión Cantaura, ubicada en el estado Anzoátegui. Esta es una estructura regular con pórticos ortogonales entre sí, con columnas y vigas de sección rectangular, cuenta con dos módulos simétricos y dos niveles, alcanzando una altura total de 10.45mts. Para establecer la capacidad de la estructura se realizó un análisis no lineal conocido como análisis Pushover en el cual se aplicaron cargas laterales a los pórticos hasta que la misma alcanzara el mecanismo de colapso, posteriormente se establecieron los umbrales de los estados de daño y por último la desviación estándar que depende directamente del tipo de estructura. Como resultado las curvas de fragilidad indican que la estructura tiene un grado de vulnerabilidad moderado, por último se propone una guía que permite la aplicación del método adoptado en esta investigación.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESOLUCIÓN.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTOS .....	VI
RESUMEN .....	VIII
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVIII
CAPITULO I.....	21
EL PROBLEMA.....	21
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
1.2 OBJETIVOS.....	25
1.2.1. Objetivo general.....	25
1.2.2. Objetivo Específicos.....	25
1.3 GENERALIDADES.....	26
1.3.1. Municipio General Pedro María Freites.....	26
1.3.2. Universidad de Oriente Extensión Cantaura.....	27
CAPÍTULO II.....	29
MARCO TEÓRICO.....	29
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
2.1.1. Iniciativas en Venezuela enfocadas en el estudio de la vulnerabilidad de las estructuras.....	31
2.1.2. Iniciativas en Venezuela sobre el estudio de la vulnerabilidad de las edificaciones mediante el uso de curvas de fragilidad.....	36
2.2. TÉRMINOS BÁSICOS.....	42
2.2.1. Capacidad.....	42

2.2.2.	Demanda.....	42
2.2.3.	Desempeño.....	42
2.2.4.	Ductilidad.....	43
2.2.5.	Fragilidad.....	43
2.2.6.	Mitigación del riesgo.....	43
2.2.7.	Análisis no lineal.....	43
2.2.8.	Desempeño estructural.....	43
2.2.9.	Nivel de Desempeño.....	44
2.2.10.	Nodo de control.....	44
2.2.11.	Rotulas Plásticas.....	44
2.2.12.	Estudios de Amenaza.....	45
2.2.13.	Análisis de Riesgo.....	45
2.3.	ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	46
2.4.	MÉTODOS DE ANÁLISIS SÍSMICO (COVENIN 1756 REV. 2001).....	48
2.4.1.	Método estático equivalente.....	48
2.4.2.	Método de superposición modal con un grado de libertad por nivel.....	48
2.4.3.	Método de la torsión estática equivalente.....	49
2.4.4.	Método de análisis dinámico espacial de superposición modal con tres grados de libertad por nivel.....	49
2.4.5.	Método de análisis dinámico espacial con diafragma flexible.....	49
2.5.	ANÁLISIS MODAL ESPECTRAL.....	49
2.6.	ANÁLISIS DE CAPACIDAD (MÉTODO PUSHOVER).....	51
2.7.	PROGRAMA DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL SAP-2000 (STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAM).....	52
2.8.	CURVAS DE FRAGILIDAD.....	53
2.9.	UTILIDAD DE LAS CURVAS DE FRAGILIDAD.....	54
2.10.	MÉTODOS PARA GENERAR CURVAS DE FRAGILIDAD.....	55
2.10.1.	Métodos basados en observaciones de campo.....	55
2.10.2.	Métodos experimentales.....	55
2.10.3.	Métodos a partir de la opinión de expertos.....	55
2.10.4.	Métodos analíticos.....	55

2.11. PROCEDIMIENTO HAZUS-FEMA UTILIZADO PARA GENERAR LAS CURVAS DE FRAGILIDAD DE LA ESTRUCTURA.....	56
2.11.1. Curva de capacidad.....	56
2.11.2. Espectro de Capacidad.....	58
2.11.3. Espectro Bilineal de Capacidad.....	59
2.11.4. Espectro de Demanda.....	61
2.11.5. Punto de desempeño.....	61
2.11.6. Umbrales de los Estados de daño.....	61
2.11.7. Desviación Estándar.....	64
CAPITULO III.....	67
MARCO METODOLÓGICO.....	67
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	67
3.2. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.....	68
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	69
2.3.1. Técnicas utilizadas.....	69
2.3.2. Instrumentos utilizados.....	70
3.4. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	70
CAPITULO IV.....	72
PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	72
4.1. ESTADO DEL ARTE EN EL ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD DE LAS EDIFICACIONES MEDIANTE EL USO DE LAS CURVAS DE FRAGILIDAD.....	72
4.2. CURVAS DE CAPACIDAD DE LA ESTRUCTURA (MÉTODO PUSHOVER).....	74
4.2.1. Modelado y Análisis Modal del edificio de aulas de la UDO extensión Cantaura.....	75
4.2.2. Análisis Pushover de la estructura.....	100
4.3. CONSTRUCCIÓN DE LAS CURVAS DE FRAGILIDAD DE LA ESTRUCTURA.....	111
4.3.1. Espectros de Capacidad por sentido de análisis.....	111
4.3.2. Espectros bilineales de capacidad, por sentido de análisis.....	113
4.3.3. Umbrales de los Estados de daño.....	115

4.3.4. Desviación Estándar .....	116
4.3.5. Curvas de Fragilidad de la estructura por sentido de análisis .....	117
4.4. GUÍA INTRODUCTORIA PARA LA ELABORACIÓN DE CURVAS DE FRAGILIDAD EN EDIFICACIONES. ....	119
4.4.1. Etapa I: Actividades Previas. ....	119
4.4.2. Etapa II: Modelado de la estructura y análisis modal con el Programa Sap2000. ....	120
4.4.3. Etapa III: Análisis de Capacidad Pushover.....	129
4.4.4. Etapa IV: Construcción de las curvas de fragilidad de la edificación 131	
CAPITULO V .....	134
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	134
5.1. CONCLUSIONES.....	134
5.2. RECOMENDACIONES.....	136
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	139
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO.....	143

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1: Factores que inciden en la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones. .....	47
Tabla 2. 2: Estados de daño con sus respectivas fórmulas y características. ....	63
Tabla 4. 1: Propiedades del concreto .....	76
Tabla 4. 2: Propiedades del Acero ASTM 500 Grado C .....	76
Tabla 4. 3: Propiedades del Acero ASTM 500 Grado C. ....	76
Tabla 4. 4: Propiedades del aluminio.....	77
Tabla 4. 5: Diámetros y áreas de acero, de las barras usadas en los elementos de la estructura. ....	77
Tabla 4. 6: Dimensiones de las columnas. ....	78
Tabla 4. 7: Dimensiones de las vigas presentes en la estructura. ....	78
Tabla 4. 8: Acero longitudinal del corte de viga A-A y sus variaciones. ....	79
Tabla 4. 9: Acero longitudinal del corte de viga B-B y sus variaciones.....	80
Tabla 4. 10: Acero longitudinal del corte de viga F-F y sus variaciones.....	81
Tabla 4. 11: Acero longitudinal del corte de viga G-G y sus variaciones. ....	81
Tabla 4. 12: Acero longitudinal del corte de viga H-H y sus variaciones. ....	82
Tabla 4. 13: Acero longitudinal del corte de viga I-I y sus variaciones. ....	83
Tabla 4. 14: Acero longitudinal del corte de viga J-J y sus variaciones.....	83
Tabla 4. 15: Acero longitudinal del corte de viga K-K y sus variaciones. ....	84
Tabla 4. 16: Acero longitudinal del corte de viga O-O y sus variaciones. ....	85
Tabla 4. 17: Acero longitudinal del corte de viga P-P y sus variaciones.....	86
Tabla 4. 18: Acero longitudinal del corte de viga Q-Q y sus variaciones. ....	86
Tabla 4. 19: Acero longitudinal del corte de viga R-R y sus variaciones.....	87
Tabla 4. 20: Acero longitudinal de cortes de viga que no presentaron variaciones. .....	89
Tabla 4. 21: Dimensiones de los perfiles estructurales de las cerchas que conforman el techo de la estructura. ....	89
Tabla 4. 22: Especificación de la carga permanente ocasionada por los acabados y el peso de los escalones sobre la escalera de planta baja. ....	91

Tabla 4. 23: Especificación de la carga permanente ocasionada por loa acabados y el peso de los escalones sobre la escalera de los niveles superiores.....	91
Tabla 4. 24: Especificación de la carga permanente ocasionada por los acabados sobre la losa de descanso del sistema de escaleras. ....	94
Tabla 4. 25: Resumen de las cargas permanentes ocasionadas por los acabados, aplicadas a las losas de la edificación. ....	95
Tabla 4. 26: Especificación de las cargas variables presentes en la edificación. ..	95
Tabla 4. 27: Patrones de Carga utilizados para el análisis. ....	96
Tabla 4. 28: Características Dinámicas de la estructura obtenidas del análisis modal realizado.....	100
Tabla 4. 29: Rigideces por nivel, correspondientes a los pórticos en sentido X.	104
Tabla 4. 30: Rigideces por nivel, correspondientes a los pórticos en sentido Y.	105
Tabla 4. 31: porcentaje de fuerza aplicada a los pórticos en sentido X. ....	106
Tabla 4. 32: porcentaje de fuerza aplicada a los pórticos en sentido Y. ....	106
Tabla 4. 33: Valores representativos de la curva de capacidad en sentido X .....	109
Tabla 4. 34: Valores representativos de la curva de capacidad en sentido Y. ....	110
Tabla 4. 35: Valores representativos del espectro de capacidad en sentido X. ....	111
Tabla 4. 36: Valores representativos del espectro de capacidad en sentido Y. ....	112
Tabla 4. 37: Valores que definen el espectro bilineal de capacidad en sentido X. ....	113
Tabla 4. 38: Valores que definen el espectro bilineal de capacidad en sentido Y. ....	114
Tabla 4. 39: valores de la desviación estándar (beta, $\beta$ ) y de la media según la metodología Hazus. ....	117

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1. Ubicación del municipio General Pedro María Freites .....	26
Figura 1. 2. Fachada delantera del módulo de aulas de la Universidad de Oriente Extensión Cantaura. ....	28
Figura 1. 3. Vista del patio central del módulo de aulas de la Universidad de Oriente Extensión .....	28
Figura 2. 1. Esquema resumen de la metodología utilizada en el programa CSFEV. ....	39
Figura 2. 2. Variables que intervienen en el riesgo sísmico.....	46
Figura 2. 3. Factores que influyen en la vulnerabilidad sísmica .....	47
Figura 2. 4. Modos de vibración de una estructura sometida a una fuerza lateral. ....	50
Figura 2. 5. Representación del Análisis Estático no Lineal (Método Pushover). ....	52
Figura 2. 6. Curva de Capacidad. ....	57
Figura 2. 7. Espectro de Capacidad. ....	59
Figura 2. 8. Espectro Bilineal de Capacidad. ....	60
Figura 2. 9. Espectro de Capacidad, Demanda y Punto de Desempeño. ....	61
Figura 2. 10. Curvas de Fragilidad para cada estado de daño. ....	63
Figura 4. 1. Estructura UDO Cantaura (Modelada en Sap2000).....	75
Figura 4. 2. Corte de viga A-A. ....	79
Figura 4. 3. Corte de viga B-B. ....	80
Figura 4. 4. Corte de viga F-F. ....	80
Figura 4. 5. Corte de viga G-G. ....	81
Figura 4. 6. Corte de viga H-H. ....	82
Figura 4. 7. Corte de viga I-I. ....	82
Figura 4. 8. Corte de viga J-J.....	83
Figura 4. 9. Corte de viga K-K. ....	84
Figura 4. 10. Corte de viga O-O. ....	84
Figura 4. 11. Corte de viga P-P. ....	85
Figura 4. 12. Corte de viga Q-Q. ....	86
Figura 4. 13. Corte de viga R-R.....	87

Figura 4. 14. Cortes de viga C-C y D-D. ....	87
Figura 4. 15. Cortes de viga E-E y L-L.....	88
Figura 4. 16.Cortes de viga M-M y N-N.....	88
Figura 4. 17.Corte de viga S-S. ....	88
Figura 4. 18. Dimensiones de la escalera de planta .....	92
Figura 4. 19. Espectro elástico de respuesta de la estructura .....	99
Figura 4. 20. Ubicación del nodo de control para el análisis en X .....	108
Figura 4. 21. Ubicación del nodo de control para el análisis en Y. ....	109
Figura 4. 22. Curva de Capacidad en sentido X .....	110
Figura 4. 23. Curva de Capacidad en sentido Y .....	111
Figura 4. 24. Espectro de Capacidad en sentido X .....	112
Figura 4. 25.Espectro de Capacidad en sentido Y .....	113
Figura 4. 26. Espectro bilineal de capacidad en sentido X .....	114
Figura 4. 27.Espectro Bilineal de Capacidad en sentido Y.....	115
Figura 4. 28. Curvas de fragilidad de la estructura en sentido X para los estados de daño Leve y Moderado .....	117
Figura 4. 29. Curvas de fragilidad de la estructura en sentido Y para los estados de daño Leve y Moderado .....	118
Figura 4. 30. Menú de opciones del programa Sap2000 para establecer las características de un modelo nuevo. ....	121
Figura 4. 31. Menú de opciones del programa Sap2000 para definir los materiales de la estructura.....	122
Figura 4. 32. Menú de opciones del programa Sap2000 para asignar propiedades y dimensiones a las secciones estructurales. ....	122
Figura 4. 33. Menú de opciones del programa Sap2000 para crear los patrones de carga. ....	123
Figura 4. 34. Menú de opciones del programa Sap2000 para asignar a un área la carga uniforme.....	124
Figura 4. 35. Menú de opciones del programa Sap2000 para establecer los casos de carga. ....	125



Figura 4. 36. Menú de opciones del programa Sap2000 para establecer las combinaciones de carga. ....	125
Figura 4. 37. Menú de opciones del programa Sap2000 para insertar el espectro de diseño de la estructura. ....	126
Figura 4. 38. Menú de opciones del programa Sap2000 para definir la combinación de efectos del caso de carga sísmica. ....	127
Figura 4. 39. Menú de opciones del programa Sap2000 para asignar las cargas a la fuente de masa de la estructura. ....	128
Figura 4. 40. Menú de opciones del programa Sap2000 para escoger los casos de carga para el análisis. ....	129
Figura 4. 41. Menú de opciones del programa Sap2000 para modificar los casos de carga aplicados a la estructura. ....	130

## **INTRODUCCIÓN**

Los sismos son eventos naturales caracterizados por ser impredecibles, y su magnitud destructora puede ser capaz de provocar daños importantes en muy poco tiempo. En nuestro país han ocurrido eventos sísmicos de gran magnitud que ocasionaron pérdidas materiales descomunales, así como también pérdidas humanas significativas, en efecto, algunos de los sismos que devastaron el país son: el sismo ocurrido el 26 de Marzo de 1812 con un promedio de 8 grados en la escala de Richter y que destruyó las ciudades más importantes desde Mérida hasta Caracas, causando la pérdida de aproximadamente 26.000 personas, lo que representaba entre 5% y el 10% de la población total de Venezuela para la época.

Otro sismo emblemático fue el ocurrido en Caracas en julio del año 1967, conocido como el terremoto “Cuatricentenario”, que ocasiono la muerte de 236 personas y pérdidas materiales contabilizadas en más de 10 millones de dólares, a consecuencia de las lecciones obtenidas de este evento, cobro relevancia el estudio de estos fenómenos, lo que dio origen a la creación de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS).

En julio de 1997, un sismo de 6.9 grados en la escala de Richter, azotó la ciudad de Cariaco en el estado Sucre, ocasionó la pérdida de 74 vidas, y el desplome de 4 planteles educativos. Debido a los desastres ocasionados por este terremoto, surgió la necesidad de crear programas orientados a la sensibilización tanto de la población, como de los organismos del estado en este tema, por lo tanto, puede decirse que la ocurrencia de los sismos han ayudado en cierto modo a la prevención de futuros desastres, ya que los resultados obtenidos de los distintos estudios que se realizan en este ámbito han contribuido a la creación o modificación de normas sísmicas que regularizan la construcción de nuevas edificaciones o la evaluación de las mismas.

Partiendo de esto, la importancia de estimar la vulnerabilidad de una estructura radica en el hecho de que con ello es viable cuantificar las posibles fallas que ésta sufrirá en caso de ocurrir un terremoto, lo que permite tomar las medidas necesarias para reforzarla o reconstruirla, de manera que sea capaz de resistir los esfuerzos a los que será sometida. El riesgo sísmico de muchas edificaciones depende principalmente de factores como: la vulnerabilidad que pueden presentar las estructuras al momento de su construcción, el deterioro ocasionado por el paso del tiempo, problemas estructurales, entre otros, por ello, se considera necesario realizar estudios más detallados de las edificaciones, especialmente en las áreas geográficas donde la amenaza sísmica es mayor.

Partiendo de esta idea, es difícil que en ingeniería pueda hablarse de edificaciones a prueba de terremotos como popularmente se consideran, pues esto equivaldría a garantizar que la edificación no sufrirá ningún daño independientemente de la magnitud del sismo a la que sea expuesta durante su vida útil, lo cual en la práctica es casi imposible de lograr debido a que esto implicaría una elevadísima inversión que en la mayoría de los casos no se justificaría. Igualmente, resulta complicado garantizar la respuesta o desempeño de una estructura durante un evento sísmico, ya que éstas características, dependen de una gran cantidad de variables, de las cuales algunas son imposibles de controlar como por ejemplo la magnitud y duración del sismo, el tipo de amenaza geológica entre otros, por lo tanto, se puede decir que la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones es un proceso algo complejo que varía de acuerdo al tipo de estructura que se esté estudiando.

En este contexto, el presente estudio se concentra en analizar la vulnerabilidad del módulo de aulas de la Universidad de Oriente, específicamente la extensión establecida en la ciudad de Cantaura, estado Anzoátegui, mediante la aplicación de una metodología probabilista conocida como curvas de fragilidad estructurales, las cuales son capaces de predecir el daño que puede sufrir dicha edificación bajo la acción de un posible evento sísmico. Así pues estas curvas representan la

probabilidad de que una estructura exceda un determinado estado de daño en función de un parámetro que define la intensidad sísmica que en el caso de esta investigación se refiere al desplazamiento espectral de la edificación. Cabe agregar que el desarrollo de esta metodología permite conocer además, la capacidad que tiene la estructura para resistir la demanda sísmica esperada para el sitio donde se encuentra establecida, así como también las propiedades dinámicas que la caracterizan.

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados se estructuró esta investigación de la siguiente manera.

- **Capítulo I:** contiene el desarrollo del planteamiento del problema así como los objetivos, general y específicos propuestos en la investigación. De igual modo en este capítulo se hace una breve descripción del sitio de estudio.
- **Capítulo II:** comprende una breve reseña de los estudios previos utilizados como referencia para la realización de la investigación, igualmente se definen diversos conceptos básicos necesarios para lograr el entendimiento pleno del tema en cuestión.
- **Capítulo III:** en este capítulo, se especifica la metodología utilizada, indicando el tipo y nivel de la investigación, también se establecen las técnicas e instrumentos aplicados y por último la metodología manejada para el análisis y procesamiento de los datos.
- **Capítulo IV:** contempla los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología propuesta en el capítulo anterior para dar cumplimiento a los objetivos planteados en el capítulo I.
- **Capítulo V:** engloba las conclusiones derivadas de los resultados obtenidos así como una serie de recomendaciones que podrán ser utilizadas como guía para futuros estudios.

## **CAPITULO I.**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1 Planteamiento del Problema.**

La actividad sísmica en Venezuela está caracterizada por la acción de varios sistemas de fallas que atraviesan el país y que corresponden a una franja de unos 100 km de ancho, la cual abarca desde los sistemas montañosos de Los Andes (Boconó), a través de la Cordillera Central (San Sebastián), culminando en la Cordillera Oriental (El Pilar). Estos sistemas de fallas han sido propuestos como el límite principal entre las Placas Caribe y América del Sur; por otro lado existen otros sistemas activos menores, como lo son: Oca-Ancón, Valera, La Victoria y Urica, capaces de producir sismos importantes, sin embargo el sistema de fallas Boconó - San Sebastián - El Pilar, es considerado el causante de los sismos más severos que han ocurrido en el territorio nacional.

Es importante señalar, que según la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), estos eventos sísmicos representan una de las mayores amenazas potenciales en Venezuela ya que en la actualidad, 80% de la población vive en zonas de alta actividad sísmica, situación que se agrava debido al incremento en el índice demográfico y las inversiones en infraestructura, que en muchos casos no cumplen a cabalidad lo establecido en las normas sísmicas que regularizan la construcción de nuevas estructuras, lo que ocasiona un aumento sustancial en el nivel de riesgo del país.

De hecho, una de las principales causas de pérdidas humanas y materiales durante la ocurrencia de un terremoto, son las estructuras, cuyo comportamiento sísmico es inadecuado para la zona donde se encuentra, por lo tanto es necesario e importante la periódica realización de estudios de riesgo sísmico en las zonas urbanas, de esta manera es posible determinar la vulnerabilidad sísmica que

pueden presentar algunas edificaciones, para que así se pueda mejorar el diseño de las mismas y evitar futuras fallas ocasionadas por algún evento sísmico.

Cabe aclarar, que el termino vulnerabilidad, según Sandi (1986) se refiere a una propiedad específica y exclusiva de cada estructura, la cual describe el comportamiento de la misma bajo la acción de un sismo; igualmente la Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica “AIS” (2001), la define como: “la susceptibilidad de la vivienda a sufrir daños estructurales en caso de un evento sísmico determinado”. En efecto, esta propiedad depende de aspectos como la geometría de la estructura, aspectos constructivos y estructurales entre otros; estos atributos propios de cada construcción en particular, hacen que la estimación del grado de impacto que tendrá un sismo sobre una la misma sea un trabajo complicado, sin embargo existen numerosas metodologías para determinar la vulnerabilidad sísmica de una edificación.

Actualmente, una metodología practica y sencilla para la estimación de la vulnerabilidad sísmica, es la elaboración de curvas de fragilidad, las cuales son consideradas una medida de la vulnerabilidad sísmica de una estructura en términos probabilistas. Es una técnica empleada para representar eficazmente el funcionamiento de una estructura, ya que representan la probabilidad de que dicha estructura, en su respuesta exceda un determinado estado límite, y se grafican dependiendo de un parámetro que define la intensidad del movimiento del suelo. Las curvas de fragilidad son una técnica esencial para diversos tipos de estudio como por ejemplo: la evaluación del riesgo sísmico de los sistemas estructurales, análisis, evaluaciones y mejoras del funcionamiento sísmico tanto de los sistemas estructurales y no estructurales, entre otros.

Como se expuso anteriormente, Venezuela es un país con alto riesgo sísmico que requiere estudios de esta índole en las zonas más pobladas, particularmente el estado Anzoátegui, es uno de los estados con mayor vulnerabilidad sísmica en el país, según la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN 1756-98) (Rev. 2001), este estado se encuentra

clasificado en zonas sísmicas que van desde la zona 0 hasta la zona 7, específicamente el municipio Bolivariano General Pedro María Freites, se encuentra catalogado en zona sísmica 5, al norte de la carretera La Encrucijada – La Ceiba - El Tejero, y al sur de la misma, se considera zona sísmica 4, lo que indica que el municipio donde se encuentra ubicada la estructura que será evaluada en esta investigación posee un peligro sísmico Intermedio-Elevado.

A pesar de lo antes descrito, el edificio de aulas de la Universidad De Oriente (UDO), Extensión Cantaura, ubicado al sur de este municipio, no cuenta con un estudio de vulnerabilidad propio, dicho esto, se plantea la evaluación de esta edificación utilizando curvas de fragilidad, fundamentadas en la metodología Hazard U.S. (HAZUS), desarrollada por la Agencia federal para el manejo de emergencias (FEMA por sus siglas en inglés, 1999), para lo cual es necesario la elaboración de las curvas de capacidad correspondientes a la estructura, que a su vez se realizarán con la ayuda del programa comercial SAP2000 y bajo los criterios establecidos en el informe 40 del Applied Technology Council (ATC-40).

Es importante señalar que, diversos estudios de vulnerabilidad basados en la elaboración de estas curvas se han utilizado en el país en varias ocasiones para evaluar edificaciones escolares, enfocándose principalmente en regiones con un alto grado de actividad sísmica como el estado Sucre, donde se realizó un estudio por Coronel et al. (2010), en el cual se evaluaron más de 500 edificios escolares, bajo la hipótesis de que los mismos fueron diseñados siguiendo la normativa correspondiente a la época de construcción. Para ello se utilizó una metodología donde inicialmente se estimaron los desplazamientos cedente y último de cada edificio, para luego caracterizar el daño de los mismos mediante cuatro estados de daño, que finalmente se utilizaron en la construcción de las curvas de fragilidad sísmica definidas por una distribución lognormal.

Por consiguiente, la importancia de este estudio radica en la posibilidad de prevenir pérdidas tanto humanas como materiales en un edificio de uso educativo

de gran significación para el municipio. Igualmente el desarrollo de esta investigación fundamentada en la metodología antes planteada permitirá desde el punto de vista social, que los organismos de seguridad y gestión de riesgos de desastres, puedan crear planes de prevención para mitigar los riesgos ante los que pudieran estar expuestos los ocupantes de la edificación estudiada, ante la acción de un evento sísmico. Por último y no menos importante esta investigación desde el punto de vista técnico servirá como guía y base de consulta para estudiantes de la Universidad de Oriente, así como también para profesionales que busquen ampliar sus conocimientos acerca del tema desarrollado.



## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general.**

Elaborar curvas de fragilidad para la determinación de la vulnerabilidad del edificio de aulas de la Universidad De Oriente, núcleo Anzoátegui, extensión Cantaura.

### **1.2.2. Objetivo Específicos.**

- Describir el estado del arte en el estudio de la vulnerabilidad de las edificaciones mediante el uso de las curvas de fragilidad.
- Establecer las curvas de capacidad correspondientes a la estructura, mediante la utilización del programa SAP-2000.
- Graficar las curvas de fragilidad de la estructura para el establecimiento de la vulnerabilidad de la misma.
- Realizar una guía introductoria para la elaboración de curvas de fragilidad de edificaciones.

### 1.3 Generalidades

#### 1.3.1. Municipio General Pedro María Freites.

El municipio Pedro María Freites, cuenta con una superficie total de 7.850 km<sup>2</sup> de extensión territorial. Está dividido en cinco (5) parroquias, las cuales son: Santa Rosa, Úrica, Libertador, Hugo Chávez y Cantaura; siendo Cantaura la capital del municipio, donde se establece el núcleo del Gobierno Municipal. La población total del municipio es de 73.121 habitantes, según el censo nacional de población y vivienda realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) distribuidos en 30.000 habitantes en la zona rural y 40.000 habitantes en la zona urbana, cuya superficie aproximada es de 10,30 km<sup>2</sup>.



Figura 1. 1. Ubicación del municipio General Pedro María Freites  
Fuente: Google Maps.

#### **Límites del municipio:**

- Al Norte limita con el Estado Sucre y el Municipio Libertad.
- Al Este fronteriza con el Estado Monagas
- Al Sur con el Municipio Independencia, el Municipio Guanipa y el Municipio Simón Rodríguez.
- Al Oeste limita con el Municipio Santa Ana y Municipio Anaco.

## **Cantaura**

Cantaura, es capital del municipio Pedro María Freites y se encuentra ubicada en la zona centro del estado Anzoátegui, Venezuela, se despliega entre la Cordillera de la Costa y se empalma con la Mesa de Guanipa. Su localización exacta corresponde a las coordenadas geográficas: 09° 18' 40" de Latitud Norte y 64° 21' 34" de Longitud Oeste.

Esta ciudad era poco conocida a nivel nacional hasta hace pocos años. Su nombre antiguo era Chamariapa y con esa denominación fue fundada el 20 de agosto de 1740 por Fray Fernando Jiménez, misionero franciscano. Cualquiera que visite esa ciudad se quedará asombrado de como una ciudad que apenas sobrepasa los 40.000 habitantes cuenta con tantos servicios e infraestructuras de gran importancia como la sede de la UDO-Cantaura, el Terminal de Pasajeros Pedro María Freites, el Cuartel de Bomberos, el Paseo de la Virgen de la Candelaria, el Teatro Municipal Alfredo Sadel, entre muchos otros.

### **1.3.2. Universidad de Oriente Extensión Cantaura.**

La Extensión Cantaura de la Universidad de Oriente es un proyecto que nace con la firma del Convenio de Cooperación entre la UDO y el Municipio Pedro María Freites, el 3 de Noviembre de 2009, con el objetivo de impulsar un desarrollo integral en Cantaura y en sus comunidades vecinas. Esta casa de estudios inicia sus actividades académicas y administrativas el 7 de diciembre del mismo año, correspondiente al segundo semestre de 2009.

Esta extensión se encuentra construida en una superficie de terreno de 48.595.50  $m^2$ , actualmente consta de dos edificios, uno que alberga todo el personal administrativo encargado del mantenimiento y funcionamiento de la sede y por otro lado está el edificio de aulas, a su vez posee un estacionamiento apto para 270 vehículos y una cancha multiuso para practicar diversas disciplinas deportivas.

El proyecto inicio con la construcción del edificio de aulas el cual está construido en un área de 5.231  $m^2$  con dos niveles superiores, el mismo se encuentra dividido en dos módulos simétricos que poseen cinco aulas cada uno, así como también un área de baños y bebederos; todo esto se encuentra unido por pasillos que sirven de acceso a dichas áreas.



Figura 1. 2. Fachada delantera del módulo de aulas de la Universidad de Oriente Extensión Cantaura.

Fuente: autor



Figura 1. 3. Vista del patio central del módulo de aulas de la Universidad de Oriente Extensión

Fuente: autor

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### **2.1. Antecedentes de la investigación.**

A nivel mundial son numerosos los estudios relacionados con la vulnerabilidad de las estructuras, esto debido a la necesidad que existe de mitigar los riesgos que presentan dichas edificaciones bajo la acción de eventos sísmicos. Los primeros estudios sobre vulnerabilidad datan de comienzos del siglo XX, y en la actualidad aún se siguen realizando de manera frecuente, obedeciendo a la misma premisa de evitar pérdidas humanas y materiales.

En este contexto, se hace referencia a un estudio reciente realizado por Salguera (2015), al Palacio Municipal de Ciudad Sandino en Nicaragua, en el cual se determinó la vulnerabilidad de dicha estructura mediante la implementación de 2 métodos distintos, el primero de ellos orientado a tomar en cuenta la resistencia estática de los elementos, bajo diferentes condiciones de carga (deflexión, flexión entre otras), con el objeto de ser revisadas bajo múltiples condiciones sísmicas; el segundo método se basó en considerar la condición no lineal de la estructura, plasmada en una curva de capacidad que permitió evaluar y determinar su punto de desempeño en los distintos umbrales de daño.

Para efectos de esta investigación, se tomará como referencia este estudio debido a la similitud del método empleado para la estimación de la vulnerabilidad de la estructura, ya que la metodología adoptada para desarrollar esta investigación será la determinación de la capacidad mediante la aplicación del método estático no lineal o el método Pushover.

Por otra parte en Venezuela, Rojas y Coronel (2014), aplicaron el método estático no lineal o método Pushover, en combinación con el método de los estimadores puntuales para desarrollar las curvas de capacidad de un edificio

residencial, que a su vez sirvieron como base para la posterior elaboración de las curvas de fragilidad de dicha estructura, necesarias para estimar su vulnerabilidad.

De la misma manera, utilizando método antes descrito, se realizó un estudio en el cual se pudo caracterizar la vulnerabilidad sísmica de los edificios escolares venezolanos (Coronel y López, 2013), en el cual se elaboraron curvas bilineales de capacidad sobre las cuales se establecieron cinco estados de daños, para posterior a esto proceder a realizar las correspondientes curvas de fragilidad de los edificios seleccionados. En este estudio se obtuvo, que el daño calculado mediante la metodología desarrollada, fue capaz de coincidir con el daño observado en 53% de los casos; sin embargo, los resultados del porcentaje restante de edificaciones escolares, estuvieron balanceados entre subestimación y sobreestimación.

Es importante señalar que método de las curvas de fragilidad sísmica es conocido a nivel mundial, ya que representa una herramienta útil para evaluar una o varias edificaciones de manera sencilla y práctica, como se puede evidenciar en el trabajo realizado por Martínez (2012), en el cual se modeló, analizó y se lograron obtener las curvas de fragilidad y las matrices de probabilidad de daño de 6 edificios de concreto armado, de baja, mediana y gran altura para estructuras representativas de las tipologías utilizadas en Chile, considerando las características de suelo correspondiente a la ciudad de Valdivia. Como resultado de dicho estudio se obtuvo que los edificios de muros demostraron tener un mejor comportamiento que los edificios de pórticos para baja y mediana altura, y viceversa para los edificios de gran altura.

En Venezuela, estas curvas han sido utilizadas en muchos estudios, cuya finalidad es la evaluación de edificaciones escolares nacionales, debido a que éstas son una de las principales estructuras que se deben mantener en un estado óptimo, ya que en caso de la ocurrencia de un evento sísmico o de cualquier otra naturaleza, dichas estructuras son utilizadas para albergar a una gran cantidad de personas afectadas por el desastre natural. Coronel, López y Betancourt (2010),

desarrollaron una metodología basada en la recopilación de la información utilizando un inventario donde se plasmaban las características estructurales básicas que condicionaban el desempeño sísmico de las edificaciones escolares de Venezuela. Esta evaluación se realizó con el objetivo de estimar daños, pérdidas y niveles de riesgo sísmico en 547 edificios escolares del estado Sucre de los cuales se encontró que un 53% de ellos presentan un nivel de riesgo muy alto o un riesgo relativamente mayor al resto, al igual que 69% de los 83 edificios escolares evaluados en la Ciudad de Cumaná.

### **2.1.1. Iniciativas en Venezuela enfocadas en el estudio de la vulnerabilidad de las estructuras**

#### **Encuesta sobre condiciones de vida en Venezuela (ENCOVI): Vulnerabilidad ciudadana ante amenazas naturales.**

En el país es alarmante la poca información actualizada y validada que existe acerca de la vulnerabilidad de la población ante una amenaza natural. A pesar de los avances que se han generado año tras año, en materia de mitigación de riesgo y análisis de vulnerabilidad, en Venezuela aún existen habitantes en condiciones de riesgo mayores, en comparación a las se podían observar en la ciudad de Caracas al momento de ocurrir el terremoto en el año 1967.

En este contexto, el ingeniero Ángel Rangel, coordinador del estudio de vulnerabilidad de la Encuesta Nacional de Condiciones de Vida (ENCOVI), expreso que, a pesar de que la cantidad de víctimas de un terremoto depende de variables como: el lugar exacto del epicentro y la hora del día en la cual se produce, si en el presente ocurriera un evento similar al terremoto de Caracas de 1967 sería desastroso, ya que Venezuela hoy en día, es exponencialmente más indefensa ante una amenaza natural. Esto es, debido a que en el país, existen aproximadamente 63% de viviendas autoconstruidas, además está el hecho de que no se respetan las normas vigentes de construcción, no se evalúa la calidad de los suelos antes de construir una edificación y lo más importante y preocupante es que no hay mecanismos ni cultura de prevención en la población.

La Encuesta Nacional de Condiciones de Vida de la Población Venezolana (ENCOVI) es un proyecto desarrollado desde el año 2014 por un equipo multidisciplinario de alto nivel perteneciente a tres de las universidades más importantes del país: la Universidad Simón Bolívar (USB), la Universidad Central de Venezuela (UCV) y la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB).

Emerge de la preocupación compartida de estas instituciones académicas ante la inexistencia de datos oficiales que permitan conocer la realidad social del país y orientar las estrategias, políticas y programas en este ámbito, la ENCOVI busca cumplir tres objetivos generales:

1. Producir información relevante y actual que permita conocer las condiciones de vida de la población venezolana e identificar los principales problemas que vulneran sus derechos esenciales.
2. Determinar la percepción de seguridad pública de los venezolanos.
3. Dar cuenta de las disparidades socioeconómicas de la población.

La ENCOVI, es un proyecto multidisciplinario que se aproxima a varias dimensiones de la realidad social, con el fin de construir una radiografía al detalle de la situación nacional. Las áreas específicas en las que se enfoca este importante proyecto son: la seguridad personal, la salud, pobreza, trabajo, alimentación, entre otros.

En el año 2014 la ENCOVI, realizó un estudio enfocado en la vulnerabilidad ciudadana ante amenazas naturales, fundamentado en lo acordado en el Marco de Acción de Hyogo, firmado en Japón en el año 2005, el cual estipula que cada país miembro, debe tener la necesidad de establecer indicadores y realizar estudios con el objetivo de conocer la vulnerabilidad de la población ante el riesgo de desastres.

Es importante señalar, que esta encuesta se realizó a una muestra de 1500 personas en más de 16 estados del país, con la particularidad de que no solo tomaba en cuenta las vulnerabilidades físico-ambientales de los encuestados, sino también, tomó en cuenta los factores económicos y sociales de cada uno de ellos.



Este trabajo de campo se efectuó durante los meses de agosto y septiembre de 2014, y los resultados fueron presentados públicamente por áreas, entre los meses de febrero y marzo del 2015.

Según este estudio, 88% de las personas no percibe la amenaza de un riesgo sísmico, 89% de los encuestados no dispone de un sistema de alerta ante emergencias y 93% de las personas desconoce de un plan de evacuación. Además, 94% de la población no tiene información sobre prevención y actuación ante situaciones de riesgos o desastres naturales, y como ya se mencionó anteriormente 63% de las viviendas autoconstruidas no tienen garantía de uso de normas para la construcción y el diseño ante amenazas naturales, del mismo modo basados en el estudio realizado se considera que 50% de las viviendas son vulnerables ante sismos u otros eventos naturales.

En conclusión, de acuerdo con el índice de vulnerabilidad ciudadana ante amenazas naturales (IVCAN), el cual fue desarrollado especialmente para la realización del proyecto ENCOVI, se pudo estimar que 49% de los ciudadanos, se habitan en viviendas con condiciones de Alta y Muy alta vulnerabilidad Físico-Ambiental ante amenazas naturales.

### **Proyecto Sismo-Caracas.**

Es un proyecto desarrollado por FUNVISIS en conjunto con diversos investigadores del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la facultad de ingeniería (IMME-FI) de la UCV, y financiado por el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONACIT), a su vez participaron estudiantes de dicha casa de estudio y de la Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada (UNEFA), quienes desarrollan diversos trabajos especiales de grado en varias áreas del proyecto.

El objetivo principal del proyecto Sismo-Carcas consiste en evaluar el riesgo de la ciudad y proponer acciones para su reducción, del mismo modo permitirá generar proyectos pilotos de refuerzo de algunas construcciones que podrán servir de modelo, para ser replicados en otras edificaciones y de esta

manera promover una cultura sísmica permanente en el país. Es importante señalar la diversidad de este proyecto ya que no solo está orientado a evaluar edificaciones, sino también abarca las siguientes estructuras: Puentes, estructuras de muros, estructuras patrimoniales, alud y viviendas populares, entre otros.

### **Evaluación Integrada del Riesgo Sísmico en Venezuela, Convenio de Cooperación internacional con la Fundación Global Earthquake Model (G.E.M).**

Motivados por la elevada amenaza sísmica que presentan los países pertenecientes a la región andina, como Perú, Ecuador, Colombia, Chile y Venezuela, la fundación Global Earthquake Model (G.E.M), se ha dedicado a promover en ellos, estimaciones y programas de gestión del riesgo, incentivando la participación de expertos locales, así como también, diversas instituciones gubernamentales e investigadores de la institución internacional.

En consecuencia, Venezuela, a través de FUNVISIS, se adhirió a GEM como participante, mediante la firma de un convenio de cooperación internacional, con el objetivo principal de evaluar integralmente el riesgo sísmico de Venezuela. Dicho convenio permitirá a los especialistas en la materia, el acceso a los datos y herramientas desarrolladas por GEM para la prevención de desastres ante un evento sísmico, a su vez busca promover una comunicación cercana entre los expertos locales y los tomadores de decisiones, con el fin de convertir los resultados del análisis de riesgo en estrategias de gestión, programas y proyectos que beneficien a la población en particular.

### **Fundación para la prevención del riesgo sísmico del estado Mérida (FUNDAPRIS)**

En Mayo de 1979 el gobierno regional del Estado Mérida creó la "Comisión Especial Asesora para la Prevención del Riesgo Sísmico" (CEAPRIS) como un organismo oficial de asesoramiento profesional en materia de riesgo sísmico. Este organismo fue concebido como una comisión sin fines de lucro, integrada por especialistas voluntarios para ayudar a las entidades oficiales,

públicas y privadas en la materia. En el año 1993 CEAPRIS se transformó en una Fundación (FUNDAPRIS), con las mismas características de la anterior Comisión, pero con personalidad jurídica propia y mayor autonomía económica y operativa.

Esta fundación se ha enfocado en desarrollar sus actividades en 4 áreas de trabajo:

- **Educación y Capacitación:** incluyen la organización de cursos especializados y talleres de entrenamiento en la materia, para profesionales de carreras afines, por ejemplo, se encuentran los cursos de "Interpretación, aplicación y reforzamiento de las normas antisísmicas de construcción", "Evaluación pre y postsísmica de edificaciones", "Construcciones antisísmicas en zonas urbanas y rurales", entre otros, dirigidos especialmente para profesionales ingenieros, arquitectos y maestros de obra.

Por otro lado se considera que el programa educativo en las escuelas elementales y secundarias de la región merideña, el más exitoso de todos. Durante los últimos 6 años el Ministerio de Educación ha permitido introducir cambios en los programas docentes de estos planteles para enseñar tópicos tales como: identificación y caracterización de los peligros naturales (particularmente el sísmico) en la región de los Andes Venezolanos; evaluación de la seguridad de las viviendas y del sitio donde están ubicadas, entre otros.

- **Construcciones Civiles y Planificación Urbana:** esta área de estudio se ha dirigido a la evaluación pre-sísmica y al reforzamiento de edificaciones estratégicas y de otras construcciones civiles de interés social como, hospitales, centros educativos, estaciones de bomberos, líneas de servicios públicos, vías de comunicación, telecomunicaciones, iglesias y otros edificios de interés histórico o cultural. Finalizada la evaluación, se concluye con un informe escrito donde se evalúa técnicamente la edificación en base a las normas sismoresistentes vigentes y se adelantan

consideraciones acerca del comportamiento probable de la edificación en caso de un terremoto fuerte y recomendaciones para su reforzamiento, por último cuando el caso lo amerita se incluye, adicionalmente, un estudio geotécnico del terreno donde está ubicada la edificación.

- **Estudio y Zonificación de Peligros Naturales:** el objetivo de esta área de trabajo en específico, es la caracterización y zonificación de estos peligros, con particular énfasis en la amenaza sísmica.

Adicionalmente se ha dado gran importancia a la instalación y operación de redes regionales de estaciones sismográficas y acelerográficas. En el presente FUNDAPRIS , conjuntamente con el Laboratorio de Geofísica de la Universidad de los Andes, opera una red telemétrica de 12 estaciones sismológicas, que cubre más de 300 km a lo largo de los Andes Venezolanos, así como unas 6 estaciones acelerográficas ubicadas en la ciudad de Mérida. La Red Sismográfica de los Andes Venezolanos (REDSAV) tiene cobertura sobre gran parte del estado Mérida y parcialmente sobre los estados Trujillo, Zulia, Barinas y Táchira, y funciona continuamente desde el año 1.981.

- **Manejo de Desastres Sísmicos:** el objetivo central en esta área es apoyar las iniciativas que conduzcan a elaborar planes de emergencia capaces de enfrentar con éxito un gran terremoto en la región, mediante la aplicación de dos programas educativos: Los Talleres de Desalojo de Edificaciones Escolares y El plan de Educación Masivo para la implementación de Planes de Emergencia Familiares. Esta tarea ha sido asumida por organismos integrantes de FUNDAPRIS, tales como la Defensa Civil, los Grupos Voluntarios de Rescate y personal del Laboratorio de Geofísica de la Universidad de los Andes (ULA).

### **2.1.2. Iniciativas en Venezuela sobre el estudio de la vulnerabilidad de las edificaciones mediante el uso de curvas de fragilidad.**

**Proyecto Escuela: Reducción del Riesgo Sísmico en Edificaciones Escolares de Venezuela.**

Fue una iniciativa nacional de tres años de duración, llevada a cabo conjuntamente por grupos de investigación y estudiantes del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME, Facultad de Ingeniería de la UCV), FUNVISIS y la Fundación de Edificaciones y Dotaciones Educativas (FEDE), financiado por el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONACIT). Se realizó bajo la premisa de mitigar el riesgo sísmico al que están sometidas las edificaciones escolares en Venezuela y así evitar que se repita lo ocurrido en Cariaco en el año 1997, donde fallecieron numerosos estudiantes y maestros como consecuencia del derrumbe de cuatro edificios escolares, cumpliendo así con su objetivo principal de desarrollar planes y procedimientos para la reducción del riesgo sísmico en las edificaciones escolares existentes en Venezuela.

Los resultados obtenidos de la realización de este proyecto, así como la descripción detallada de todas las actividades ejecutadas, fueron plasmados en un libro publicado en el año 2015, que lleva por título Reducción del Riesgo Sísmico en Edificaciones Escolares de Venezuela, en el cual se describe el riesgo al que están expuestos los edificios escolares del país, y propone medidas para su reducción con la intención principal de promover la seguridad de niños, jóvenes y maestros durante la ocurrencia de eventos sísmicos futuros.

Siguiendo este orden de ideas, el libro está dividido en 10 capítulos que describen en detalle todas las actividades desarrolladas en la investigación, dichas actividades fueron las siguientes:

□ **Actividad #1. Inventario de Edificaciones Escolares de Venezuela basado en SIG:**

Se basó en la recopilación de información que permitió generar las bases de datos concernientes a las características sismoresistentes de los edificios escolares del país.

Este inventario cuenta con una información más completa de un total de 10.730 edificios escolares (ubicación y coordenadas geográficas, año de

construcción, tipo constructivo y número de pisos), de los cuales 25% son edificios construidos antes de 1982 y que están ubicados en las zonas de mayor amenaza sísmica del país.

□ **Actividad #2: Daños y pérdidas potenciales en el sistema escolar nacional.**

Se caracterizó por el desarrollo de una metodología para la determinación de curvas de fragilidad de edificios escolares del país, del igual forma fue desarrollado e implementado un programa de cálculo llamado Curvas de Fragilidad Sísmica para Escuelas de Venezuela (CFSEV), con el cual se procedió a evaluar dichas estructuras mediante la determinación de 4 estados de daño (leve, moderado, severo y colapso).

La metodología de elaboración de las curvas de fragilidad planteada fue realizada bajo Visual Basic 2008 Express Edition (Microsoft Visual Studio, 2008), este programa contiene un ambiente visual de uso práctico mediante el cual se pueden modificar los parámetros presentes en el modelo, ajustándose así al criterio del usuario y facilitando la calibración de las curvas de fragilidad. CFSEV incorpora mediante formularios los desplazamientos asociados a cada estado de daño, el espectro de demanda el cual se puede seleccionar entre los espectros elásticos de la norma actual (COVENIN, 2001), los espectros de la microzonificación sísmica de Caracas y espectros particulares, así como la desviación estándar que se desea adoptar.

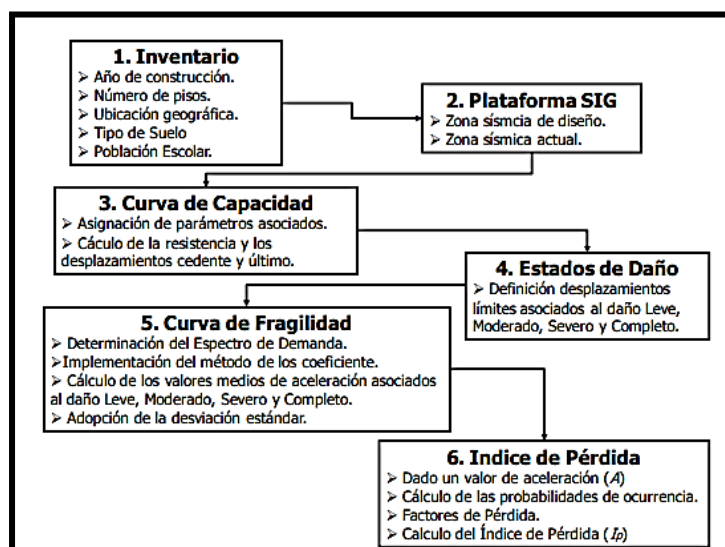


Figura 2. 1. Esquema resumen de la metodología utilizada en el programa CSFEV.  
Fuente: Lopez, Marinilli, & Coronel , 2015

### □ **Actividad #3: Inspección de Edificios Escolares e Índices de Riesgo.**

En esta actividad se desarrolló un instrumento sencillo de inspección rápida, con el propósito de que, en cada escuela inspeccionada, se identificaran aquellas características particulares que influenciaban la vulnerabilidad de dicha estructura. Este instrumento se aplicó a 289 escuelas distribuidas en todo el país, tomando especial atención a la identificación de irregularidades como, columnas cortas, plantas débiles y ausencia de planos resistentes en alguna dirección del edificio, así como también se tomó en cuenta el año de construcción de las mismas.

Es alarmante mencionar que gracias a la aplicación de estas inspecciones se pudo apreciar que en una muestra de 55 escuelas de los estados Sucre y Carabobo, 55% posee mayor vulnerabilidad que la escuela Valentín Valiente derrumbada en Cariaco en el año 1997.

### □ **Actividad #4: Evaluación detallada de Edificios Escolares.**

En esta actividad se realizaron estudios detallados de 14 edificios escolares del país, distribuidos de la siguiente manera: 3 en Carúpano y 1 en

Cumaná, para un total de 4 evaluaciones en el Estado Sucre; 4 en Caracas (Área Metropolitana), 4 en Valencia (Estado Carabobo), 1 en Guarenas (Estado Miranda) y 1 en Cagua (Estado Aragua).

Todos estos edificios se evaluaron mediante la aplicación de análisis lineales y no lineales, para así conocer el grado de vulnerabilidad que poseen ante los sismos establecidos en la norma nacional.

□ **Actividad #5: Medición de propiedades dinámicas en edificios escolares.**

Se seleccionaron 10 edificios piloto a los cuales se les realizó la medición de sus propiedades dinámicas, en estos planteles escolares se propuso la realización de refuerzos estructurales para posteriormente repetir el proceso de medición. Adicionalmente se seleccionaron 3 escuelas del estado sucre para colocar acelerómetros permanentes a fin de registrar sus respuestas ante futuros eventos sísmicos.

□ **Actividad #6: Formación de docentes hacia la prevención sísmica.**

Se fundamentó en la implantación de talleres de formación en materia de prevención sísmica a los docentes de 11 planteles ubicados en los estados Sucre, Aragua y Caracas (tomando como prioridad los 10 planteles piloto), con el objetivo principal de transmitir a las comunidades vulnerables la información científica y las medidas de autoprotección en caso de terremotos, utilizando un lenguaje ameno y sencillo para que la información fuese accesible a todo tipo de público.

□ **Actividad #7: Desarrollo de un amortiguador sísmico.**

En esta actividad se planteó la propuesta para la elaboración de un disipador de energía, que pudiera ser implementado en estructuras con el propósito de contrarrestar la acción de los terremotos. El disipador



propuesto es fácil de construir debido a su geometría simple y sencilla y de fácil desmontaje y reemplazo luego del sismo.

□ **Actividad #8: Protección de componentes no estructurales.**

Se basó en el desarrollo de recomendaciones para la reducción del riesgo sísmico generado por los elementos no estructurales en las edificaciones escolares. Esto con el propósito de aminorar las lesiones que pueden generar los mencionados elementos a los ocupantes de la edificación durante un evento sísmico, adicionalmente dichas medidas se orientaron a ayudar en la reducción de los daños a los bienes, facilitar la evacuación de las estructuras seriamente afectadas y beneficiar el funcionamiento post-sísmico de estas instalaciones.

□ **Actividad #9: Proyectos de refuerzo de edificios escolares.**

Estos proyectos se realizaron a los 10 edificios piloto estudiados previamente en la realización de la actividad número 5, corresponden a los tipos constructivos más antiguos y más vulnerables y fueron distribuidos de la siguiente manera:

- Estado Sucre: 3 en la ciudad de Cumana y 5 en la ciudad de Carúpano.
- Área metropolitana de Caracas: 2 en el municipio Libertador.

Como estrategia de refuerzo se propusieron estructuras auxiliares que están diseñadas para soportar la mayor parte de las cargas sísmicas, las cuales estarán conectadas con los diafragmas de las estructuras existentes y quedarán apoyadas sobre nuevas fundaciones diseñadas con micro pilotes. Todas estas mejoras tendrán un costo aproximado de 15% a 20% del costo de la reposición total de la escuela en cuestión.

□ **Actividad #10: Actividades de divulgación y formación.**

Comprendió el desarrollo de un conjunto de actividades fundamentadas en la divulgación y formación en materia de escuelas y terremotos. Específicamente se pudo desarrollar lo siguiente:

- 17 Trabajos Especiales de Grado para obtener el título de Ingeniero Civil.
- 1 tesis de maestría.
- 1 tesis de especialización en Ingeniería Sismorresistente.
- 17 artículos en revistas y congresos fueron publicados.
- Se presentaron 12 trabajos en diversas reuniones y eventos científicos.
- Fueron dictadas 23 charlas y se elaboraron y distribuyeron 1.000 trípticos y 200 afiches.
- Se crearon 2 videos y se desarrolló un portal informativo con toda la información referente al proyecto escuela, dicho portal se encuentra en el servidor de FUNVISIS, en la dirección electrónica <http://www.funvisis.gob.ve/proyectoescuela/>.

## **2.2. Términos Básicos.**

### **2.2.1. Capacidad.**

Según el ATC-40 (1996), la capacidad es la fuerza final esperada, bien sea en flexión, cizallamiento o carga axial, de un componente estructural, excluyendo los factores de reducción comúnmente usados en el diseño de elementos de concreto.

### **2.2.2. Demanda.**

Se considera una representación del movimiento sísmico del suelo al que está sometido el edificio. En procedimientos de análisis estáticos no lineales, la demanda se representa mediante una estimación de los desplazamientos o deformaciones a los que se espera que sea sometida la estructura.

### **2.2.3. Desempeño.**

El desempeño de una estructura depende de su capacidad de resistir una demanda sísmica, y de su compatibilidad con los objetivos de diseño. La verificación del desempeño verifica que los componentes estructurales y no estructurales no estén dañados más allá de los límites aceptables del desempeño objetivo.

#### **2.2.4. Ductilidad.**

Es la habilidad de un elemento estructural o sistema, de soportar deformaciones o ciclos de deformaciones, más allá de su punto límite de elasticidad o límite elástico y aun así mantener su resistencia, sin sufrir alguna falla abrupta (Applied Technology Council, 1996)

#### **2.2.5. Fragilidad.**

Nivel de daño que un elemento determinado puede sufrir luego de estar sometido a la acción de un sismo.

#### **2.2.6. Mitigación del riesgo.**

Corresponde a la aplicación de ciertas medidas, con el fin de reducir circunstancialmente los daños ocasionadas por un sismo o cualquier otro evento en particular. Dichas medidas de intervención prospectiva o correctiva están dirigidas a reducir los daños y pérdidas que se puedan presentar, y así reducir las condiciones de amenaza cuando sea posible y la vulnerabilidad existente en las estructuras.

#### **2.2.7. Análisis no lineal.**

Este análisis tiene por objeto, predecir la respuesta global de la estructura, más allá de la capacidad estática lineal, a los fines de identificar la evolución de la degradación de sus elementos hasta alcanzar los mecanismos de colapso. Sirve como plataforma para la implementación de un análisis Pushover, que permite estimar la capacidad estructural, necesaria para la evaluación de la respuesta sísmica a través del método del espectro capacidad-demanda.

#### **2.2.8. Desempeño estructural**

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

Según el ATC-40 (1996), el desempeño depende de la manera en la cual la capacidad de una edificación pueda manejar la demanda a la que se encuentre sometida.

#### **2.2.9. Nivel de Desempeño**

Se considera como el estado límite de daño o condición descrita por el daño físico dentro del edificio, la amenaza a la seguridad de vida de los ocupantes debido a los daños del edificio, y del servicio post-terremoto del edificio. El nivel de desempeño de un edificio es la combinación del nivel de desempeño estructural y el nivel de desempeño no estructural, ATC-40 (1996).

#### **2.2.10. Nodo de control**

Es el nodo ubicado en el centro de masa del techo de una edificación usado en el Análisis Estático No Lineal para medir los efectos originados por los movimientos sísmicos en la estructura.

#### **2.2.11. Rotulas Plásticas**

Una rótula plástica es la zona de daño equivalente en la cual se concentra toda la deformación inelástica y el daño y la curvatura son constantes, se considera una concepción matemática para poder calcular el desempeño y se utiliza para saber en qué lugar del elemento se posiblemente se puede generar primero una falla.

A la rótula plástica le corresponde una longitud correspondiente a una aproximación de 0,4 a 0,5 veces el peralte del elemento.

### 2.2.12. Estudios de Amenaza.

De igual modo Fernández (2003), define la amenaza como la probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en un sitio dado.

Según Cardona (1993), evaluar la amenaza es "pronosticar" la ocurrencia de un fenómeno con base en: el estudio de su mecanismo generador, el monitoreo del sistema perturbador y el registro de eventos en el tiempo.

La evaluación de la amenaza envuelve las siguientes fases, Alonso, J. (2007):

- Determinar cuando y donde la amenaza o evento ha ocurrido en el pasado.
- Determinar el grado de severidad que ha ocasionado un evento pasado con una magnitud o tamaño conocido.
- Determinar qué tan frecuentemente pueden esperarse amenazas que sean capaces de producir daños severos.
- Determinar cuál sería el daño esperado por un evento con una magnitud dada, si dicho evento se presentara hoy.
- Representar gráficamente, en forma clara y sencilla toda la información anteriormente recabada.

### 2.2.13. Análisis de Riesgo

Según Fernández (2003), el riesgo en su definición más sencilla, hace referencia a la probabilidad de que a una población (personas, estructuras físicas, sistemas productivos, etc.), o segmento de la misma, le ocurra algo nocivo o dañino (Amenaza + Vulnerabilidad = Riesgo).

Por otro lado Ávila *et al.* (2015), expresa que el análisis del riesgo implica la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir, mediante la relación existente entre la amenaza y la vulnerabilidad.

Según Alonso, J. (2007), para evaluar el riesgo es preciso establecer la probabilidad de que una amenaza cualquiera con una magnitud determinada ocurra dentro de un período de tiempo determinado. Este estudio toma en consideración aspectos como: la ubicación de las edificaciones existentes en el área de estudio, el grado de exposición a la amenaza o algún evento previsto y la vulnerabilidad de las edificaciones y de la población al ser sometidos a la amenaza.

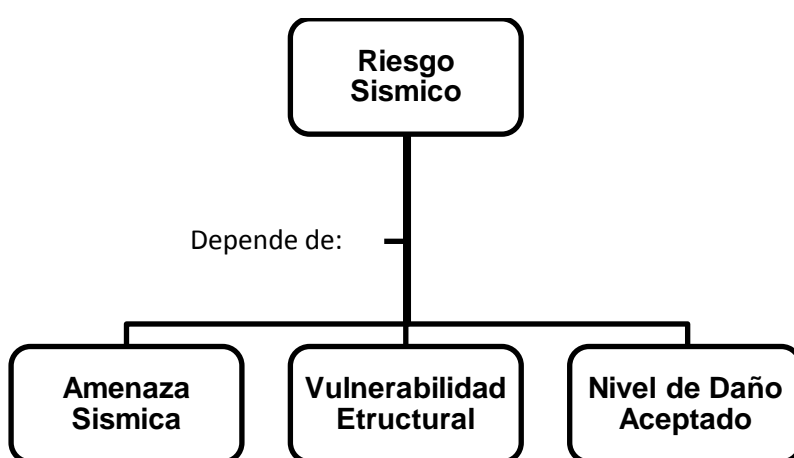


Figura 2. 2. Variables que intervienen en el riesgo sísmico.  
Fuente: Alonso, J. (2007).

Utilizando la figura anterior como referencia se puede decir que, el riesgo sísmico puede reducirse únicamente, si alguna de las variables de las cuales depende se reduce. De estas variables, la reducción de la vulnerabilidad es quizás la alternativa más eficaz que pueden aplicar los ingenieros estructurales para conseguir el objetivo propuesto.

### **2.3. Estudios de Vulnerabilidad sísmica.**

Sandi (1986), define la vulnerabilidad sísmica, como una propiedad intrínseca de la estructura, una característica de su propio comportamiento ante la acción de un sismo. La afectación o daño depende de la acción sísmica y de la capacidad sismorresistente de la estructura.

Por su parte, Cardona (1993), define el análisis de vulnerabilidad como, un proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición y la predisposición a la pérdida de un elemento o grupo de elementos ante una amenaza específica, contribuyendo al conocimiento del riesgo a través de interacciones de dichos elementos con el ambiente peligroso.

Este proceso de evaluación incluye dos aspectos fundamentales como lo son la tipificación de la estructura y evaluación de los daños, y por otro lado la determinación de sus causas. Generalmente los daños suelen ser causados por una combinación de diversos factores que se identifican en la figura 2.2.

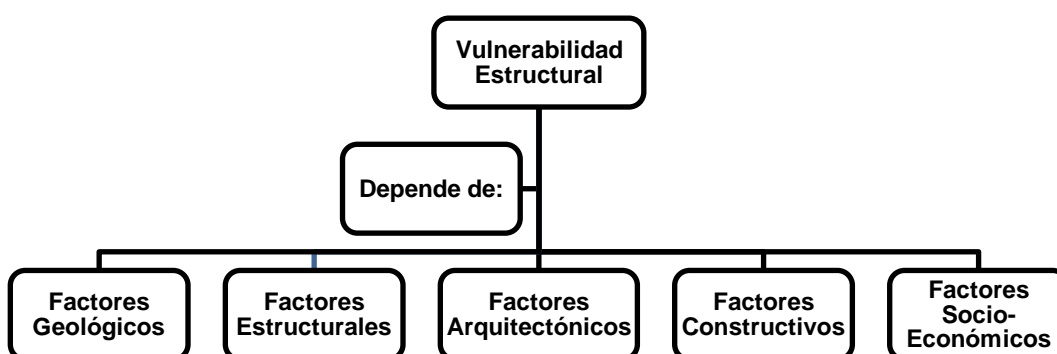


Figura 2. 3. Factores que influyen en la vulnerabilidad sísmica  
Fuente: Alonso, J. (2007).

En este contexto se pueden resumir algunos de los factores antes mencionados en la siguiente tabla.

**Tabla 2. 1: Factores que inciden en la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones.**

FACTORES GEOLÓGICOS	
Sismicidad de la zona	Características geotécnicas locales
Mecanismos de falla	Amplitud y duración de las sacudidas fuertes del terreno
Magnitud del terremoto	Licuefacción de suelos

<b>FACTORES ESTRUCTURALES</b>	
Tipología estructural	Cambios bruscos de rigidez: pisos blandos, columna corta.
Tipo de material: concreto armado, acero, mampostería, entre otros.	Distribución asimétrica de rigideces y masas
Deficiencia en la estimación de las cargas	Geometría irregular en la planta
Deficiencia en el análisis y diseño estructural	Colindancia de edificaciones contiguas
Problemas torsionales	Normas utilizadas. Edad de la edificación
<b>FACTORES ARQUITECTÓNICOS</b>	
Configuración geométrica irregular en planta y en el alzado de la edificación	Distribución asimétrica o impropia de elementos de fachada
Ordenanzas: alturas, retiros, porcentaje de construcción.	Uso excesivo de espacios abiertos
Grandes luces y pocas columnas	Ubicación asimétrica del núcleo de escaleras y ascensores
<b>FACTORES CONSTRUCTIVOS</b>	
Encofrado deficiente	Defectos del vaciado y curado de concreto
Mala calidad de los materiales utilizados en la construcción	Refuerzo inadecuado en las conexiones o juntas de los elementos de concreto armado
Falta de inspección eficiente	Falta de recubrimiento propiciando la corrosión
Mano de obra defectuosa	Conexiones metálicas defectuosas
Uniones defectuosas de elementos prefabricados	Soldaduras defectuosas
Falta de unión apropiada entre elementos estructurales y tabiques de mampostería	Remodelación o eliminación de paredes internas.
<b>FACTORES SOCIO-ECONÓMICOS</b>	
Cambio del uso previsto en la edificación original	Educación de la población
Utilización de materiales no aptos para resistir sismos	Viviendas de bajos recursos no apropiadas para zonas sísmicas
Falta de información y de alerta rápida	Falta de recursos económicos

Fuente: Alonso, J., (2007)

## **2.4. Métodos de análisis sísmico (COVENIN 1756 REV. 2001).**

### **2.4.1. Método estático equivalente.**

Este método tiene como objeto la determinación de las fuerzas laterales aplicadas en cada nivel del edificio, para conjuntamente con los momentos torsores, determinar las solicitudes de diseño en los diversos elementos resistentes.

### **2.4.2. Método de superposición modal con un grado de libertad por nivel.**



En este método la respuesta de la estructura es determinada mediante el proceso de superposición de las respuestas individuales en cada uno de los modos naturales de vibración de la estructura. Este análisis modal es aplicable para calcular la respuesta elástica lineal de estructuras de varios grados de libertad.

#### **2.4.3. Método de la torsión estática equivalente.**

Este método se basa en la hipótesis de que la amplificación dinámica será similar en todos los niveles, para edificios regulares. En este método, los momentos torsores en cada nivel y en cada dirección se expresan como el producto de la excentricidad de diseño por la fuerza cortante en ese nivel, y sus efectos se superponen a los de la fuerza cortante.

#### **2.4.4. Método de análisis dinámico espacial de superposición modal con tres grados de libertad por nivel.**

Tiene por objeto evaluar la respuesta dinámica y constituye una alternativa de uso general para el análisis de todas las estructuras tipificadas en la norma COVENIN 1756 REV-2001, excepto para aquellas que tienen diagramas flexibles.

#### **2.4.5. Método de análisis dinámico espacial con diafragma flexible.**

Tiene por objeto mejorar la confiabilidad del análisis de aquellas estructuras clasificadas como irregulares en planta. La existencia de un diafragma flexible puede conducir a una diferente distribución de la fuerza cortante de piso de la que efectúa un diafragma rígido en su plano, y a diferentes concentraciones de tensiones en el diafragma.

### **2.5. Análisis Modal Espectral.**

En esencia un terremoto es considerado como un conjunto de fuerzas horizontales que se aplican sobre la rasante de un edificio, es decir, una vibración del suelo; por lo tanto cada sismo que se produce tiene una frecuencia y aceleración máxima que lo caracteriza. Todas estas vibraciones del suelo son transmitidas a las estructuras mediante sus soportes y como consecuencia de este fenómeno la misma se mueve o desplaza de forma relativa respecto al suelo donde

se encuentra cimentada. Cada estructura posee una frecuencia propia o natural (determinada fundamentalmente por su rigidez y altura), a la que vibrará (oscilará) frente a cualquier excitación a la que se someta.

Dicho esto, se puede definir el análisis modal como el proceso en el cual se describen las estructuras mediante sus propiedades dinámicas o parámetros modales (frecuencia, amortiguamiento y modos de vibración). Este análisis conocido también como método de la respuesta espectral, es un método ventajoso para estimar los desplazamientos y fuerzas en los elementos de un sistema estructural, ya que implica el cálculo de los valores máximos de los desplazamientos y las aceleraciones en cada modo usando un espectro de diseño, que representa el promedio o la envolvente de espectros de respuesta para diversos sismos. Estos valores máximos luego se combinan para así obtener los valores más probables de desplazamientos y fuerzas.

Para efectos de la realización de este proyecto fue necesario aplicar este método de análisis ya que fue la herramienta utilizada para la descripción de las características dinámicas de la edificación (modos de vibración, factor de partición modal, entre otras). Estas características son consideradas datos fundamentales en el proceso de transformación de la curva de capacidad a espectro de capacidad, que a su vez es el punto de partida para generar las curvas de fragilidad requeridas.

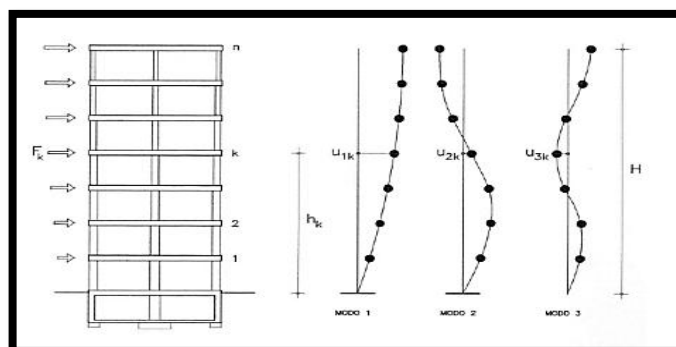


Figura 2. 4. Modos de vibración de una estructura sometida a una fuerza lateral.  
Fuente: Martínez 2012

## 2.6. Análisis de capacidad (Método Pushover).

Existen un gran número de metodologías que se pueden aplicar para generar las curvas de capacidad de una o varias estructuras, sin embargo, la que se seleccionó para la ejecución de este proyecto fue el análisis de la capacidad mediante la aplicación del método estático no lineal o el método Pushover.

Sánchez (2013), afirma que este método se sustenta en investigaciones cuyo objetivo es aplicar cargas laterales a distintos miembros estructurales, para de esta manera observar una secuencial formación de rotulas plásticas en la estructura. La aplicación de este método permite determinar la capacidad resistente de la estructura y compararla con la demanda posible ante un evento natural, en la cual la demanda depende de factores como la amenaza sísmica y del sitio de ubicación de la estructura, así como de las características globales, mientras la capacidad se considera una propiedad fuertemente ligada a términos como la rigidez, la resistencia y la deformación de cada uno de los miembros de la edificación.

El análisis estático Pushover parte de la hipótesis de que la respuesta de una estructura puede ser representada por la respuesta de un sistema equivalente de 1 grado de libertad, es otras palabras, esta hipótesis implica que el comportamiento dinámico está controlado por el modo fundamental y que la forma modal permanece constante tanto en la zona elástica como en la zona inelástica. Aunque las premisas anteriores son incorrectas se ha demostrado que proporcionan buenos resultados para un amplio número de situaciones en las cuales el modo fundamental es predominante.

Es muy importante destacar que las cargas se aplican en los nodos laterales del modelo. Las fuerzas laterales son monótonas crecientes, aumentando en proporción constante, y tomando como control el desplazamiento en la parte superior del edificio hasta que éste alcance un cierto nivel de deformación. El desplazamiento último puede ser la deformación esperada en el diseño sísmico en el caso de diseñar una nueva estructura, o la deformación correspondiente a un

colapso estructural si los fines son la evaluación de una estructura existente. Este método permite el rastreo de la secuencia de rendimiento y el fracaso en el miembro y los niveles de la estructura, así como el progreso general que define la curva de capacidad.

Por lo tanto, es necesario conocer diversos factores para la aplicación de este método, tales como: las características constitutivas de los materiales, las dimensiones de las secciones de los miembros así como también el detallado de los mismos, las cargas permanentes y variables que actúan sobre ella (fuerzas gravitacionales), la posible ubicación de las rotulas plásticas, entre otros.

El pushover es fundamental en la realización de las curvas de fragilidad, debido a que el daño esperado que puede tener un edificio bajo efectos de un sismo esta fuertemente relacionado con la capacidad que tiene el mismo de resistir las fuerzas a las cuales sera sometido. Esta capacidad determina los umbrales de daño que a su vez constituyen la base de las curvas en sí, ya que las mismas representan la probabilidad de que la respuesta del edificio exceda cierto estado de daño en particular.

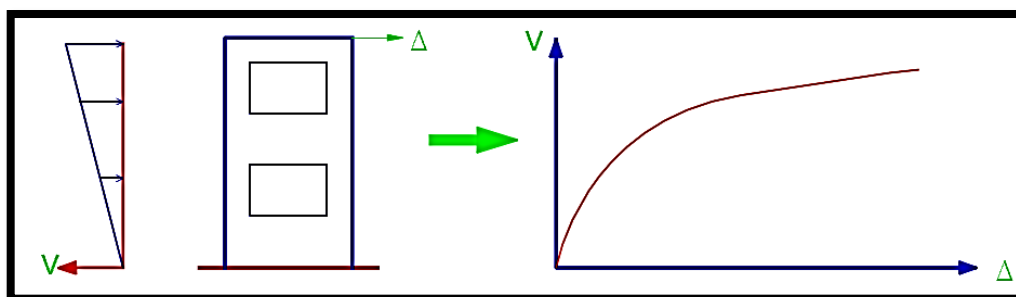


Figura 2. 5. Representación del Análisis Estático no Lineal (Método Pushover).  
Fuente: Martínez (2012).

## 2.7. Programa de análisis estructural Sap-2000 (Structural Analysis Program).

Es un programa especializado en estructuras, no va dirigido únicamente a ingenieros civiles, sin embargo por sus múltiples funciones beneficia directamente a dicho profesional. Este programa es el resultado de un trabajo desarrollado en

los Estados Unidos cuyo principal objetivo fue desarrollar un programa para análisis y diseño de estructuras por el método de elementos finitos.

Como ya se expuso anteriormente el SAP2000 es un programa comercial de cálculo de estructuras basado en el Método de los Elementos Finitos (MEF). El origen de su nombre viene de sus siglas en inglés de “Structural Analysis Program” (Programa de Análisis Estructural). Es un programa, preparado para realizar, de forma totalmente integrada, la modelación, análisis y dimensionamiento del más amplio conjunto de problemas de ingeniería de estructuras.

El Sap2000 puede emplearse para una infinidad de cosas, este programa tiene múltiples opciones y herramientas, es por ello que la versatilidad del mismo es muy amplia. Sus funciones abarcan desde lo más básico en estructuras hasta lo más complejo y avanzado, podemos analizar desde vigas, armaduras, pórticos; hasta muros, losas, entre otros.

## **2.8. Curvas de fragilidad.**

Según Bonett (2003), las curvas de fragilidad, denominadas también “funciones de vulnerabilidad”, representan la probabilidad de que una estructura exceda un determinado estado de daño en función de un parámetro que define la intensidad sísmica. Estas curvas sirven para estimar el riesgo sísmico de grupos de edificios con características estructurales similares o de una estructura esencial (puente, planta nuclear, aeropuerto, líneas vitales).

La construcción de estas curvas, requiere de un entendimiento completo de los mecanismos de respuesta del sistema estructural para diferentes niveles de demanda sísmica, los cuales varían entre movimientos frecuentes de baja intensidad hasta movimientos fuertes poco frecuentes.

Sin embargo la metodología adoptada en este proyecto será la HAZUS (FEMA, 1999) la cual define estas curvas suponiendo que siguen una distribución

log-normal, por lo tanto, las curvas de fragilidad se definen mediante la siguiente ecuación:

$$P[ED \geq ED_i] = \phi \frac{1}{\beta_{ED}} \ln \frac{sd}{sd_{ED}} \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde:

- $sd_{ED}$ : es el desplazamiento espectral medio para el cual la probabilidad de excedencia es de 50%.
- $\beta_{ED}$ : es la desviación estándar del logaritmo natural del desplazamiento espectral para el estado límite de daño.
- $\phi$ : es la función de distribución normal estándar acumulada.
- $sd$ : es el desplazamiento espectral.

## 2.9. Utilidad de las curvas de fragilidad.

Las curvas de fragilidad son de gran utilidad para los ingenieros de diseño, investigadores, expertos en fiabilidad, expertos de compañías de seguros y administradores de sistemas críticos, tales como hospitales y autopistas, entre otros, debido a que son un ingrediente esencial para los siguientes tipos de estudio.

- Evaluación del riesgo sísmico de los sistemas estructurales.
- Análisis, evaluación y mejora del funcionamiento sísmico tanto de sistemas estructurales como de los no estructurales.
- Identificación de diseños óptimos y estrategias de rehabilitación.
- Determinación de las probabilidades de los márgenes de seguridad de las estructuras para diferentes movimientos sísmicos, las cuales pueden servir para la toma de decisiones y la elaboración de normativas utilizadas por las entidades responsables de la seguridad de los sistemas y la protección de los usuarios.

## **2.10. Métodos para generar curvas de fragilidad.**

Los principales métodos para la generación de las curvas de fragilidad, difieren básicamente en los datos de entrada y el método de obtención de las probabilidades asociadas a cada estado de daño.

### **2.10.1. Métodos basados en observaciones de campo**

Los métodos basados en las observaciones de campo, sólo deben ser utilizados para evaluar, de manera global, el comportamiento de las estructuras de una misma clase y no son recomendados para el análisis de una estructura en particular. Estos métodos son de gran utilidad para calibrar los resultados obtenidos con los métodos analíticos y ensayos de laboratorio. Velásquez (2006).

### **2.10.2. Métodos experimentales**

Representan, de una forma más adecuada, la acción sísmica, Sin embargo, los ensayos pueden ser costosos y la cantidad de observaciones de daños está limitada al número de pruebas que se realicen. En la actualidad, existen básicamente dos tipos de ensayos que pueden ser utilizados para construir estas curvas: Ensayos de carga monotónicamente creciente mediante actuadores de carga o desplazamientos y ensayos sobre mesa vibradora, utilizando registros tiempo-historia de aceleración.

### **2.10.3. Métodos a partir de la opinión de expertos**

Este método utiliza las respuestas de expertos en análisis, diseño y patología estructural, a una serie de preguntas relacionadas con el comportamiento de la estructura considerada, y a partir de esta información, se calcula un parámetro cuantificador del daño, que es función de la intensidad sísmica del movimiento.

### **2.10.4. Métodos analíticos**

Velásquez (2006), los define como métodos que utilizan análisis numéricos y pueden ser empleados para zonas donde no se dispone de observaciones de daños debidos a sismos, ni de suficientes resultados de ensayos

de laboratorio. En el presente estudio sólo se considera el método analítico basado en un análisis estructural no lineal.

### **2.11. Procedimiento HAZUS-FEMA utilizado para generar las curvas de fragilidad de la estructura.**

En este segmento se describe la metodología empleada para la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico de edificios, por medio de curvas de fragilidad, las cuales fueron descritas en segmentos anteriores. Para construir estas curvas es necesario definir unas medidas que indiquen, cuando el daño de una estructura pasa de un estado a otro; estas medidas se conocen como umbrales de daño.

Para evaluar integralmente la estructura utilizando estos umbrales de daño se relaciona la capacidad de la estructura con el daño, que para efectos de este proyecto está caracterizada por una curva de capacidad, obtenida mediante la realización de un análisis estático no lineal (Pushover).

En primer lugar es necesario establecer un modelo que contenga las principales características de la estructura que se pretende estudiar, el modelado puede realizarse tanto en dos dimensiones (análisis de pórticos), o el utilizado en este estudio en particular, que toma en cuenta las tres dimensiones globales de la edificación (análisis de edificios), el cual es considerado el tipo de análisis preferido ya que incorpora los efectos de la torsión.

#### **2.11.1. Curva de capacidad**

Según Bonett (2003), la capacidad de una estructura depende de la resistencia y deformación máxima de sus componentes individuales, para determinar estas capacidades más allá del límite elástico se utiliza el Método Pushover, dicho procedimiento usa una serie de análisis elásticos secuenciales, que se superponen para aproximarse a un diagrama conocido con el nombre de



curva de capacidad. Esta curva relaciona las fuerzas en la base (cortante basal, V), y los desplazamientos (D), en el nivel superior de la estructura.

Coronel y López (2013), aseguran que las curvas de capacidad representan la relación entre la fuerza cortante (V), en la base de un edificio y el desplazamiento (u), en el nivel de techo del mismo; estas curvas constituyen la base a partir de la cual se construyen las curvas de fragilidad.

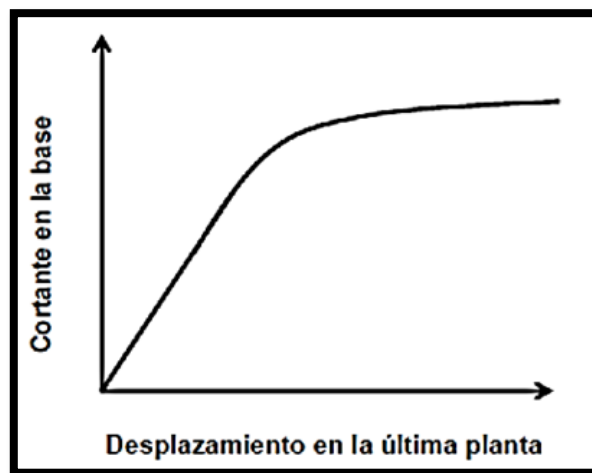


Figura 2. 6. Curva de Capacidad.  
Fuente: Salguera (2015).

El ATC-40, establece un procedimiento para calcular la capacidad de las estructuras que consta de los siguientes pasos:

- 1) Crear un modelo computarizado de la estructura.
- 2) Clasificar cada elemento en el modelo como primario o secundario según sea el caso.
- 3) Aplicar fuerzas laterales a los pórticos de la estructura en proporción al producto de la masa y la forma del modo fundamental de vibración.

$$F = \frac{W_i * h_i}{W_i h_i} * V \quad (\text{Ec. 2})$$

- 4) Calcular las fuerzas en los miembros para las combinaciones requeridas de cargas verticales y laterales.

- 5) Ajustar la carga lateral del nivel para que la carga de algún elemento o grupo de elementos este dentro del 10% de la fuerza de sus miembros.
- 6) Registrar el cortante en la base y el desplazamiento de techo.
- 7) Revisar el modelo usando una pequeña rigidez para los elementos flexibles.
- 8) Aplicar una nueva carga lateral incrementada a la estructura revisada hasta que otro elemento o grupo de elementos cedan.
- 9) Agregar los nuevos resultados de cortante en la base y desplazamiento de techo a los valores previos para obtener los valores acumulados.
- 10) Repetir los pasos 7, 8 y 9 hasta que la estructura alcance un límite último de inestabilidad.

### 2.11.2. Espectro de Capacidad.

Es la representación de la curva de capacidad en un espacio de coordenadas espectrales conocido como Acceleration-Displacement-Response-Spectra (ADRS) o curva Aceleración-Desplazamiento (AD), esta curva relaciona la aceleración espectral con el desplazamiento espectral. Esta curva se obtiene transformando cada punto de la curva de capacidad en coordenadas espectrales (Chiroiu et al.2001).

Una forma de transformar la curva de capacidad a espectro de capacidad es por medio de las siguientes ecuaciones:

$$S_a = \frac{V_i W}{\alpha_1} \quad (\text{Ec. 3})$$

$$S_d = \frac{\Delta_i \text{techo}}{PF_1} \quad (\text{Ec. 4})$$

Dónde:

- $S_a$  y  $S_d$ : representan la aceleración y el desplazamiento espectral respectivamente.

- $V_i$ : es el cortante en la base obtenido de la curva.
- $W$ : es la masa total.
- $\alpha_1$ : es la masa efectiva del primer modo de vibración.
- $\Delta_{i \text{ techo}}$ : es el desplazamiento del último piso obtenido de la curva.
- $PF_1$ : es el factor de partición modal.

En estas ecuaciones  $S_a$  representa la aceleración que sufre la masa desplazada según el modo fundamental, de igual forma,  $S_d$  es el desplazamiento generalizado del primer modo para el desplazamiento del techo  $\Delta_{i \text{ techo}}$ .

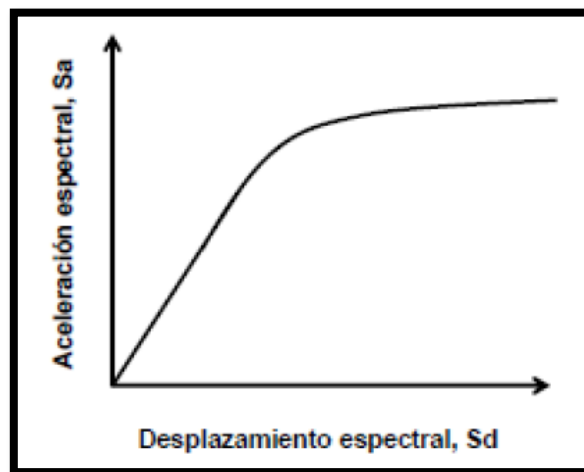


Figura 2. 7. Espectro de Capacidad.  
Fuente: Chiroiu et al. (2001)

### 2.11.3. Espectro Bilineal de Capacidad.

La finalidad de este espectro es la de obtener parámetros objetivos y cuantificables respecto al comportamiento de la estructura, este espectro está definido por dos puntos de control llamados: capacidad de cedencia ( $D_y, A_y$ ) y capacidad ultima ( $D_u, A_u$ ) El desplazamiento en el cual la respuesta de la estructura se caracteriza por tener un comportamiento no lineal se conoce como punto de cedencia y viene definido por ( $D_y, A_y$ ), donde representa el desplazamiento, (A) es la aceleración y por último el subíndice (y) se refiere a la cedencia.

Por otro lado, el punto de capacidad última representa el desplazamiento en el cual el sistema estructural global ha alcanzado el mecanismo de colapso. Este punto viene definido por  $(D_u, A_u)$ , donde el subíndice (u) representa la capacidad última de dicha estructura. Los puntos de cedencia y capacidad última son importantes ya que están fuertemente relacionados con la ductilidad global de la estructura.

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

Las hipótesis para construir el espectro de capacidad bilineal son:

- 1) El área bajo la curva bilineal debe ser igual al área de la curva original.
- 2) Las coordenadas del punto de máximo desplazamiento deben coincidir en las 2 curvas.
- 3) La pendiente del tramo inicial debe ser igual en las 2 curvas.

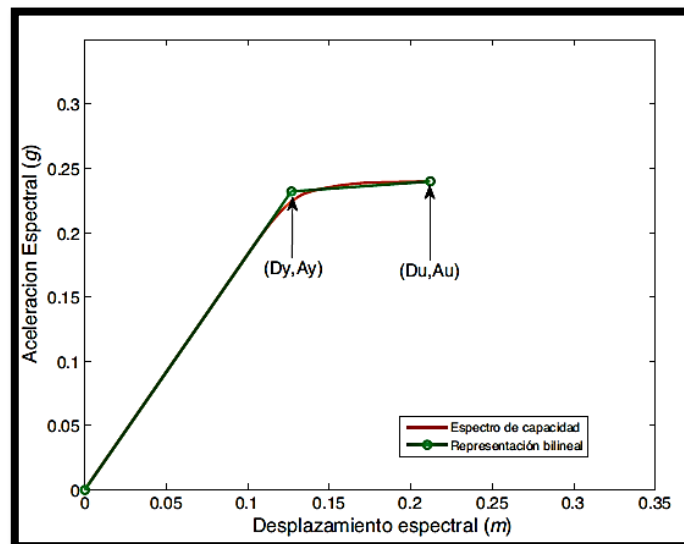


Figura 2. 8. Espectro Bilineal de Capacidad.

Fuente: Vargas, Y., Pajuades, L., Barbat, A., y Hurtado, J. (2013)

#### 2.11.4. Espectro de Demanda.

Barbat y Pajuades (2004), lo definen como la representación de la acción sísmica basada en el espectro de respuesta de diseño, de la zona de estudio.

#### 2.11.5. Punto de desempeño.

Identificar de manera eficaz el punto de desempeño permitirá posteriormente entender de manera más aproximada el comportamiento de una estructura sometida a movimientos sísmicos con intensidades variables. Se obtiene superponiendo los espectros de capacidad y demanda, y ubicando el punto donde se interceptan, de esta manera se obtiene la respuesta máxima del edificio, Salguera (2015). El punto de desempeño representa el máximo desplazamiento estructural esperado para el terremoto de demanda.

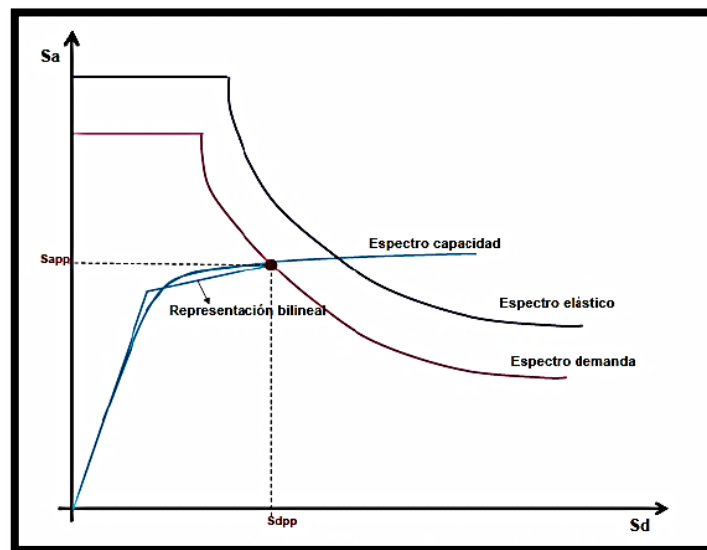


Figura 2. 9. Espectro de Capacidad, Demanda y Punto de Desempeño.  
Fuente: Salguera (2015)

#### 2.11.6. Umbrales de los Estados de daño.

El daño esperado en un edificio depende de dos términos que están fuertemente relacionados como lo son, la capacidad y la fragilidad de dicha estructura, para cuantificar estos daños existen diversos métodos sin embargo para efectos de la realización de este trabajo se tomarán en cuenta 5 estados de daño asociados con distintos niveles de desplazamiento de la estructura establecidos por

el FEMA (2003). Según Bermúdez (2010), estos umbrales se determinan a partir de los parámetros  $D_y$  (desplazamiento de cedencia) y  $D_u$  (desplazamiento último) definidos en la forma bilineal de la curva de capacidad. Su descripción depende de la tipología estructural. Por ejemplo, en el caso de estructuras de hormigón armado, el estado de daño leve se describe como el inicio de fisuras por momento o por cortante en las vigas y columnas; en el estado de daño completo se considera que la estructura colapsa o que hay un inminente riesgo de colapso (HAZUS, 1999).

- **Sin daño:** Sin daño estructural, con posible presencia de pequeños daños en componentes no estructurales.
- **Daño leve:** Es definido antes de alcanzar el punto de cedencia. Se observan pequeñas fisuras en los extremos de los elementos. Estas fisuras son debidas a la flexión y al corte de las columnas y vigas. En términos del diagrama momento curvatura se puede indicar que los elementos han sobrepasado el punto de agrietamiento pero están distantes del punto de fluencia.

$$Sd_1 = 0.70 D_y \quad (\text{Ec. 5})$$

- **Daño Moderado:** Es definido en el punto de la capacidad de cedencia; Se observa que la mayor parte de vigas y columnas en sus extremos presentan fisuras en general. Adicionalmente en pórticos dúctiles se observa que algunos elementos han alcanzado el punto de fluencia, es decir llegaron al máximo límite elástico, por este motivo las fisuras son pronunciadas.

$$Sd_2 = D_y \quad (\text{Ec. 6})$$

- **Daño Severo:** Es definido después del punto de cedencia, pero no mucho más allá de este; Algunos de los elementos estructurales llegan al punto en el cual el hormigón llega a la máxima deformación útil a la compresión. En los elementos que no son dúctiles se observa que han fallado por cortante, se observa además que la armadura de algunos elementos han

sufrido gran deformación o se han llegado a romper. En estas condiciones la estructura está sumamente dañada.

$$Sd_3 = D_y + 0.25 D_u - D_y \quad (\text{Ec. 7})$$

- **Daño Completo:** Es definido en el punto de capacidad última; La estructura ha colapsado o está en peligro inminente de colapso. Si permanece en pie después del sismo, debe ser demolida por el gran daño que presenta.

$$Sd_1 = D_u \quad (\text{Ec.8})$$

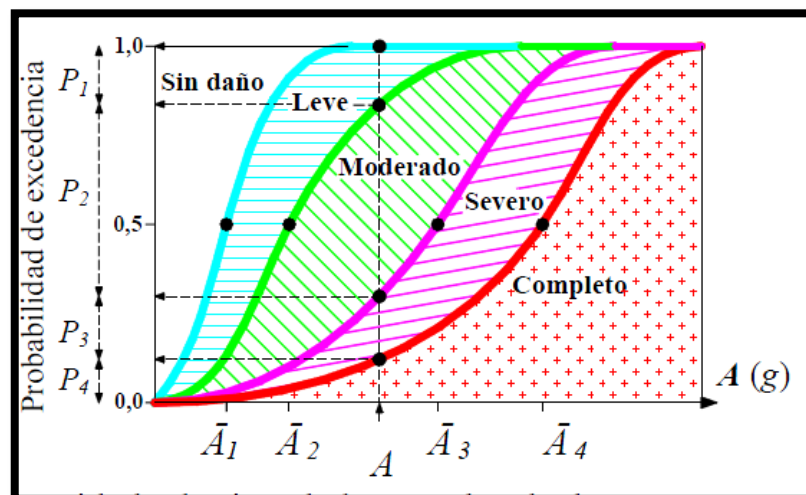


Figura 2. 10. Curvas de Fragilidad para cada estado de daño.  
Fuente: Coronel, López y Betancourt (2010)

**Tabla 2. 2: Estados de daño con sus respectivas fórmulas y características.**

Nº	Tipo de Daño	Fórmula	Posibles efectos observados
1	Sin daño	*	Sin daño estructural

N°	Tipo de Daño	Fórmula	Posibles efectos observados
2	Daño leve	$\bar{S}d_1 = 0,70 D_y$	Pequeñas fisuras en los extremos de los elementos debidas a la flexión y al corte de las columnas y vigas.
3	Daño moderado	$\bar{S}d_2 = D_y$	Fisuras en los extremos de la mayoría de los elementos estructurales, así como también fisuras pronunciadas en algunos elementos que han alcanzado el punto de fluencia.
4	Daño severo	$Sd_3 = D_y + 0.25 D_u - D_y$	En elementos no dúctiles se observa falla por cortante, la armadura de algunos elementos ha sufrido gran deformación o se han llegado a romper.
5	Daño completo	$\bar{S}d_4 = D_u$	La estructura ha colapsado o está en peligro inminente de colapso.

Fuente: Autor

### 2.11.7. Desviación Estándar

Según lo planteado en la metodología Hazus (1999), los valores de desviación estándar (Beta,  $\beta$ ), describen la variabilidad total de los estados de daño de la curva de fragilidad. Tres fuentes primarias contribuyen a la variabilidad total de cualquier estado de daño dado:



- La variabilidad asociada con la curva de capacidad ( $\beta_c$ ).
- La variabilidad asociada con el espectro de demanda ( $\beta_d$ ).
- la variabilidad asociada con el umbral discreto de cada estado de daño ( $\beta_{t,ds}$ ).

Dado que el espectro de demanda depende de la capacidad de la edificación, se requiere un proceso de convolución, para combinar sus respectivas contribuciones a la variabilidad total ( $\beta_{ds}$ ), tal como se muestra en la siguiente ecuación. El tercer contribuyente a la variabilidad total ( $\beta_{ds}$ ), se supone independiente de las dos primeras variables y se combina con los resultados del proceso CONV utilizando el método de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS).

$$\beta_{ds} = \sqrt{CONV \beta_c, \beta_D^2 + \beta_{t,ds}^2} \quad (\text{Ec. 9})$$

El proceso de convolución implica un cálculo numérico complejo que sería muy difícil de realizar para la mayoría de los ingenieros, sin embargo la metodología Hazus (1999), propone un conjunto de valores precalculados de la desviación estándar de los estados de daño ( $\beta_{ds}$ ), que dependen del tipo de edificación que se está estudiando, para ello se debe ubicar la edificación que se está estudiando dentro de la clasificación que por defecto propone el Hazus en su metodología.

El propósito de este sistema de clasificación de edificios es agrupar edificaciones con características de daños o pérdidas similares en un conjunto de edificios predefinidos, así como también permite la diferenciación entre edificaciones con características de posibles daños y pérdidas sustancialmente desiguales. Los siguientes parámetros fueron considerados para desarrollar el sistema de clasificación ya que los mismos son los que determinan el grado de daño que sufrirá el edificio, así como las características de dicho daño.

- Parámetros estructurales que afectan la capacidad estructural y la respuesta (sistema estructural básico, altura del edificio, criterios de diseño sísmico)
- Elementos no estructurales que afectan el daño no estructural.
- Ocupación de la edificación.
- Prácticas de construcción Regionales.
- Variabilidad de las características del edificio dentro de la clasificación.

Todos estos factores fueron considerados y como resultado se obtuvo una tabla que agrupa 36 tipos de edificios en 16 clases de sistemas estructurales, que van desde las estructuras con marcos de madera (Wood, Light Frame, W1), hasta las casas móviles (Mobile Homes, MH).

Los tipos de edificios básicos contenidos en la clasificación de esta metodología, están basados en la clasificación propuesta por FEMA-178 (FEMA, 1992), sin embargo las subclases determinadas por la altura de la edificación fueron añadidas para reflejar la variación de los periodos típicos de los mismos, entre otros parámetros de diseño relacionados con la altura de la edificación.

## CAPITULO III

### MARCO METODOLÓGICO.

#### **3.1. Tipo de investigación.**

De acuerdo a su naturaleza, este proyecto puede ser enmarcado en el tipo de investigación de campo, ello debido a que el objeto de estudio está representado por la estructura que funge como sede la Universidad de Oriente-Extensión Cantaura. En consecuencia todos los datos requeridos para el desarrollo de la investigación se obtuvieron directamente de la realidad, es decir, lo referente al tipo de estructura, materiales utilizados para su construcción, dimensiones de los elementos estructurales, entre otros, se obtuvieron directamente de los planos estructurales, de la observación directa y de los testimonios o asesorías de los profesores, tesistas e ingenieros con estudios previos.

Esto constituyó una ventaja al momento de indagar sobre los aspectos contenidos en los planos, así como, en todos aquellos documentos referenciales que sirvieron de base a esta investigación. Así mismo, por tratarse de un estudio *in situ* se facilitó la comprensión de los elementos propios del fenómeno estudiado, así como, el establecimiento de las conclusiones.

Reforzando lo antes expuesto, Arias (2012), señala lo siguiente:

La Investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes. De allí su carácter de investigación no experimental. (pag.31).

Ahora bien, en vista que la complejidad de la investigación ameritó la profundización de elementos referenciales para poder comprender los detalles del

objeto de estudio, la investigación se tornó de tipo documental, ya que fue estrictamente necesario la revisión de todo el marco normativo que rige el ámbito de la sismología y de los estudios de vulnerabilidad (norma COVENIN 1756-2001, el ATC-40, El manual HAZUS-FEMA, entre otros.) Así mismo, requirió la consulta permanente de las diversas bibliografías que permitieron la construcción del basamento teórico reseñado en el capítulo II, al igual que todas las investigaciones que sirvieron para la elaboración del estudio del arte exigido en el desarrollo del objetivo 1 de esta investigación.

Este enfoque es avalado por el autor Arias (2012), quien señala que la investigación documental corresponde a un proceso en el cual se realizan diferentes actividades como: búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, datos obtenidos por otros investigadores, con el propósito de aportar nuevos conocimientos.

### **3.2. Nivel de la investigación.**

Tomando como referencia lo expuesto por Arias (2012), quien señala que cuando se habla de nivel de la investigación nos estamos refiriendo al grado de profundidad con que se aborda un objeto o fenómeno, estableciendo hasta qué punto se llevará a cabo el estudio del tema o problema planteado, e interpretando lo que el mismo autor plantea con relación a la investigación descriptiva “es aquella que consiste en la caracterización de un hecho fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento”; podemos deducir que esta investigación se ubica en un nivel Descriptivo, pues su alcance abarca hasta un grado intermedio de profundidad en el conocimiento, logrando llegar a la aproximación del objeto de estudio sin avanzar en la interpretación de causas o efectos en el comportamiento del mismo, por el contrario, solo implicó la especificación de las características estructurales, su capacidad, algunas propiedades dinámicas, y la demanda del sitio de la edificación estudiada, para la posterior determinación, mediante al empleo de un programa informático, de su vulnerabilidad ante un evento sísmico.

De manera general, durante el desarrollo de la investigación se calculó las curvas de fragilidad en base a los datos contenidos en documentos estructurales, las cuales permitieron obtener la vulnerabilidad del módulo de aulas de la UDO extensión Cantaura, para concluir en base a lo observado y lo obtenido en los resultados sin pretender desarrollar comparaciones o explicaciones más profundas, sino pretendiendo que el estudio sirva de base a investigaciones futuras.

### **3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.**

#### **2.3.1. Técnicas utilizadas**

Según Arias (2012), una técnica de investigación es el procedimiento o forma particular de obtener datos o información, dicho esto es importante señalar que en todo proyecto o estudio es necesario establecer con claridad que técnicas se utilizarán para la obtención de información que a su vez nos llevará al cumplimiento de los objetivos planteados.

Cabe acotar que según el diseño de nuestra investigación se debe escoger las técnicas adecuadas de recolección de datos, por lo tanto, en conformidad con el diseño de la investigación se aplicaran las siguientes técnicas:

- Revisión documental o bibliográfica:** con la aplicación de esta técnica se logró recabar diferentes tipos de estudio o trabajos previos referentes al tema en cuestión lo que permitió establecer un amplio basamento teórico que se utilizó para el correcto desarrollo de la investigación.
- Observación directa:** se utilizó esta técnica para corroborar que la información plasmada en los planos estructurales del módulo de aulas de la UDO extensión Cantaura, coincidieran en su totalidad con la estructura que actualmente se encuentra asentada en el municipio.
- Entrevista no estructurada:** esta técnica hace referencia a las múltiples consultas realizadas tanto a profesores como a diversos especialistas en la materia, que con sus orientaciones facilitaron la interpretación de la

información obtenida de la revisión bibliográfica, y el desarrollo de la metodología adoptada para el análisis de la vulnerabilidad estructural mediante el uso de las curvas de fragilidad.

### **2.3.2. Instrumentos utilizados.**

Un instrumento de recolección de datos es definido como cualquier recurso dispositivo o formato que se utilice para obtener, registrar o almacenar información, (Arias 2012). Para la correcta ejecución de esta investigación se utilizaron los siguientes instrumentos:

- **Cámara fotográfica:** se utilizó como recurso para obtener muestras digitales que facilitaran la interpretación de los planos. Así mismo, para tener disponible, en caso de ser requerido, los detalles reales de la estructura estudiada con el objetivo de reforzar la observación directa que se realizó y así tener un registro gráfico de todas las instalaciones.
- **Software:** fueron considerados el instrumento principal para la correcta interpretación de los datos obtenidos. Mediante el uso de software comerciales como Microsoft WORD y Microsoft EXCEL se procesó toda la información para el mejor entendimiento de la misma, a su vez se utilizó el programa comercial SAP2000 v19.2. para modelar la estructura, lo cual permitió su análisis matemático y la determinación de las curvas de capacidad de la misma que representan la base para el desarrollo de la metodología adoptada.

### **3.4. Procesamiento de datos**

Una vez recopilados los datos a través de la aplicación de los instrumentos de recolección, es necesario someterlos a un conjunto de operaciones que permitan su correcta interpretación con la finalidad de dar cumplimiento a los objetivos planteados, es allí donde entra en juego el procesamiento de los datos, que no es más que la simple clasificación, registro, tabulación y descripción de los datos obtenidos, que en el caso particular de esta investigación se fundamentó en

la aplicación de las normas ATC-40, la metodología HAZUS (FEMA), así como también las normas establecidas por la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN), en sus publicaciones 1753:2006, "*Proyecto y construcción de obras en concreto estructural*", y 1756:2001, "*Edificaciones Sismoresistentes*".

## CAPITULO IV

### PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.

#### **4.1. Estado del arte en el estudio de la vulnerabilidad de las edificaciones mediante el uso de las curvas de fragilidad.**

La elaboración del estado del arte constituye la fase inicial de esta investigación, ya que a través de ello se pudo conocer la forma como ha sido tratado el tema, el mismo está fundamentado en las investigaciones que permitieron ampliar el conocimiento en este ámbito de estudio en particular y que facilitaron el establecimiento de la vulnerabilidad de la estructura escogida. Diversos estudios que se han desarrollado en el país utilizan las curvas de fragilidad como metodología para evaluar edificaciones de manera práctica y rápida, por ello se escogieron varias monografías que se vinculan de manera directa con esta investigación y que consolidaron el estado del arte exigido.

En 2012 Rojas y Coronel, compararon la vulnerabilidad estructural de 6 edificios de mediana altura (1 a 3 pisos) diseñados con las normas Venezolanas cuya diferencia radicaba en características como el uso, año de construcción, número de pisos y presencia de mampostería de cada modelo en particular, se obtuvo una clara diferencia de vulnerabilidades ya que el mayor valor se presentó en las edificaciones construidas con normas antiguas, esto confirma que las mismas eran menos exigentes que las normas actuales, adicionalmente este estudio ayudo a comprender que el método de análisis lineal es adecuado para generar curvas de fragilidad asociadas a los estados de daño leve y moderado, sin embargo conduce a resultados poco confiables para los estados de daño Severo y Completo lo cual le resta cierta confiabilidad al método en cuestión. Bajo la misma premisa de comparar estructuras de acuerdo a su año de construcción y enmarcada en el desarrollo del proyecto escuela, se elaboró un estudio posterior donde se analizaron los edificios escolares venezolanos (Coronel y López, 2013).



Éste incluyó en el proceso de evaluación, un índice de pérdida para el edificio, que se obtuvo ponderando las probabilidades de ocurrencia y los factores de pérdida económica para todos los estados de daño, del mismo modo se propuso una reducción de los límites asociados con el estado daño leve y moderado, para el caso de las escuelas rurales reconociendo que son más frágiles. A través del mencionado estudio se ratificó la teoría de que los edificios antiguos presentan mayor vulnerabilidad a los construidos con normas modernas, y que esta metodología es poco confiable para los resultados concernientes a los estados de daño severo y completo.

Recientemente, una tesis publicada por Páez, (2016), utiliza varias metodologías de evaluación entre las que destaca en análisis no lineal, con el cual se desarrollaron las curvas de capacidad para 4 configuraciones estructurales tipificadas de una muestra de 626 viviendas del área metropolitana de Caracas, lo que posteriormente dio paso a la creación de las curvas de fragilidad de las estructuras para 4 estados de daño establecidos en la metodología HAZUS y 4 condiciones de sitio representadas por los espectros elásticos de respuesta de la microzonificación sísmica de Caracas. Esta investigación aportó datos fundamentales que permitieron la determinación de la capacidad del módulo de aulas de la UDO Cantaura mediante el uso del análisis no lineal, a su vez se utilizó el mismo mecanismo de formación de rotulas plásticas planteado en dicha tesis que ayudó a comprender el posible sistema de colapso de la estructura analizada.

En base a lo anteriormente expuesto se puede decir que el análisis de vulnerabilidad, enfocado en métodos probabilistas es un método muy aceptado en el país para determinar el posible daño que las estructuras tendrán durante la ocurrencia de un evento sísmico, esto está avalado por los resultados obtenidos en los estudios antes mencionados, que indican que la metodología es útil para predecir de manera confiable los daños observados en las edificaciones estudiadas. Todos estos proyectos se basaron en el análisis de estructuras ya establecidas para comprobar que la metodología es segura en los resultados

obtenidos, sin embargo no se encontró estudio alguno cuyo enfoque haya estado dirigido al estudio de edificaciones en su fase de diseño.

Del mismo modo, son escasos los documentos, monografías, tesis entre otros, donde se describa de manera detallada y sencilla el proceso de construcción de las curvas de fragilidad, lo que dificultó el desarrollo de este trabajo de investigación, ya que fue necesario la consulta constante de expertos en la materia que con sus orientaciones aportaran a la interpretación de la limitada información existente, igualmente no existe estudio que avale de manera matemática y precisa la formulación de los estados de daño planteados previamente por la opinión de expertos.

La formulación del antes mencionado estado del arte permitió la comprensión crítica del tema estudiado gracias al aporte dado por las diversas fuentes de consulta que fueron utilizadas durante el proceso de investigación y que permitieron la obtención y consolidación de datos relevantes acerca de los enfoques teóricos existentes, las tendencias, y las perspectivas metodológicas sobre el análisis de la vulnerabilidad de edificaciones a través de las curvas de fragilidad, ello con la finalidad de generar nuevos conocimientos y comprensiones que permitan adoptar una perspectiva teórica nueva mediante la revisión e interpretación de los documentos existentes.

Por último se puede decir que el proceso de elaboración del estado del arte es un proceso permanente, pues se afirma que la revisión constante de la literatura es importante y necesaria ya que durante el ejercicio investigativo se presentan cambios y refinamientos, relacionados con el avance que va emergiendo de dicho proceso investigativo.

#### **4.2. Curvas de capacidad de la estructura (método Pushover).**

Con la finalidad de dar cumplimiento al objetivo planteado en el capítulo I de esta investigación, se procedió a analizar la estructura utilizando un método de análisis no lineal (Pushover), sin embargo es requerido primeramente un análisis

modal para determinar ciertas propiedades necesarias para la posterior realización del Pushover.

#### 4.2.1. Modelado y Análisis Modal del edificio de aulas de la UDO extensión Cantaura

Se modeló la edificación utilizando el programa comercial Sap2000 v19.0, colocando de manera detallada cada miembro estructural junto a sus dimensiones y materiales.

##### Geometría de la edificación

La Universidad de Oriente Extensión Cantaura, posee una geometría regular, cuenta con dos módulos simétricos, en los cuales se encuentran 5 aulas de aproximadamente  $75m^2$ . Es una edificación que cuenta con dos niveles cuya altura es de  $3,85m$  desde el nivel de base al primer nivel, y  $3,30m$  entre los niveles superiores, alcanzando una altura total de  $10,45m$ . Del mismo modo cuenta con 2 módulos de escaleras y ascensores y una sala de máquinas, los cuales están conectados a los módulos de aulas mediante pasillos.

Esta edificación, es una estructura de concreto armado con pórticos ortogonales entre sí, con columnas y vigas de sección rectangular y losas nervadas armadas en una dirección con espesores de 25 cm y 30 cm.

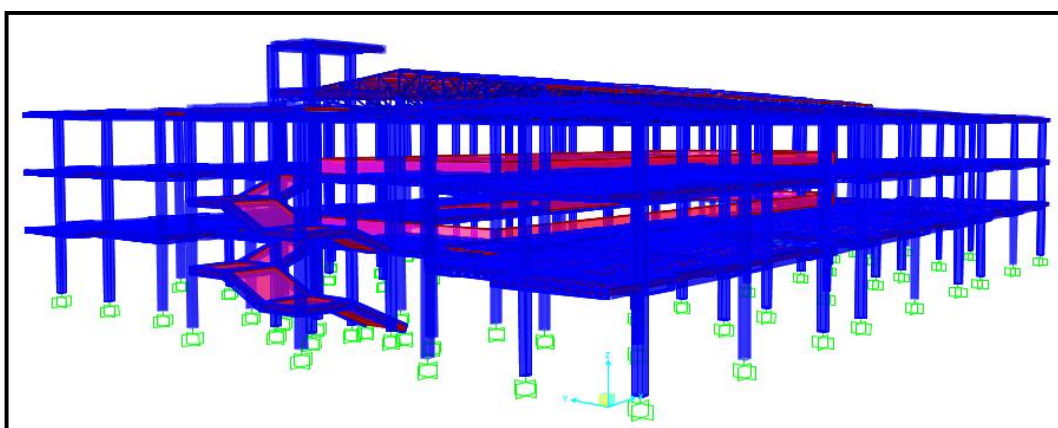


Figura 4. 1. Estructura UDO Cantaura (Modelada en Sap2000).  
Fuente: autor

##### Materiales

Los materiales utilizados son:

- Concreto

**Tabla 4. 1: Propiedades del concreto**

PROPIEDAD	CANTIDAD	UNIDAD
Resistencia $F'c$	280	$kg\ cm^2$
Peso Especifico	2500	$kg\ m^3$
Módulo de elasticidad E	$2,52 \times 10^9$	$kg\ m.s^2$

Fuente: autor

- Acero estructural ASTM 500 Grado C para tubulares estructurales.

**Tabla 4. 2: Propiedades del Acero ASTM 500 Grado C**

PROPIEDAD	CANTIDAD	UNIDAD
Esfuerzo de fluencia $Fy$	3515	$kg\ cm^2$
Peso Especifico	7850	$kg\ m^3$
Módulo de elasticidad E	$2,1 \times 10^6$	$kg\ cm$

Fuente: autor

- Acero estructural ASTM 500 Grado C para barras de refuerzo.

**Tabla 4. 3: Propiedades del Acero ASTM 500 Grado C.**

PROPIEDAD	CANTIDAD	UNIDAD
Esfuerzo de fluencia $Fy$	4200	$kg\ cm^2$
Peso Especifico	7850	$kg\ m^3$
Módulo de elasticidad E	$2,1 \times 10^6$	$kg\ m.s^2$

Fuente: autor

- Aluminio

**Tabla 4. 4: Propiedades del aluminio.**

PROPIEDAD	CANTIDAD	UNIDAD
Resistencia a la compresión $F_{cy}$	2460	$kg\ cm^2$
Peso Especifico	2700	$kg\ m^3$
Módulo de elasticidad E	$7,101 \times 10^9$	$kg\ m. s^2$

Fuente: autor

### **Secciones Estructurales**

En la edificación las vigas y columnas son de sección rectangular, con aceros longitudinales y transversales de tipo A616 grado 60 cuyo esfuerzo de fluencia es de  $4200\ kg\ cm^2$ . El diámetro de las barras utilizadas en el proyecto se especifica en la siguiente tabla.

**Tabla 4. 5: Diámetros y áreas de acero, de las barras usadas en los elementos de la estructura.**

N°	Pulgadas	Área de acero ( $cm^2$ )
# 3	$\emptyset\ 3\ 8''$	0,71
# 4	$\emptyset\ 1\ 2''$	1,27
# 5	$\emptyset\ 5\ 8''$	1,98
# 6	$\emptyset\ 3\ 4''$	2,85
# 7	$\emptyset\ 7\ 8''$	3,88
# 8	$\emptyset\ 1''$	5,07
# 11	$\emptyset\ 1 - 3\ 8''$	10,07

Fuente: Calculista Proyecto

### **Columnas:**

Para el caso de las columnas existen 4 tipos denominadas en los planos como C1, C2, C3 y C4, las dimensiones de las mismas están reflejadas en la siguiente tabla.

**Tabla 4. 6: Dimensiones de las columnas.**

Tipo de columna	Planta y nivel 1 (+3,85m)	Nivel 2 (+7,15m)
C1	40 x 40 cm	35 x 35 cm
C2	30 x 40 cm	30 x 40 cm
C3	35 x 35 cm	35 x 35 cm
C4	45 x 35 cm	45 x 35 cm

Fuente: Calculista Proyecto

Es importante mencionar que el acero de refuerzo presente en las columnas de tipo C1 y C2 existentes en el nivel de planta y nivel 1 (+3,85m), tienen cierta variación con respecto a las columnas del mismo tipo presentes en el nivel 2 (+7,15m).

**Vigas:**

Las secciones de las vigas presentes en la edificación están reflejadas en la siguiente tabla donde se clasificaron inicialmente según las dimensiones que las caracterizan. Se pueden distinguir 7 tipos de vigas.

**Tabla 4. 7: Dimensiones de las vigas presentes en la estructura.**

Tipo de viga	Sección (cm)
V1	30 x 30
V2	30 x 40
V3	30 x 45
V4	30 x 50
V5	30 x 55
V6	30 x 60
V7	30 x 70

Fuente: Calculista Proyecto

Adicionalmente, se realizó una clasificación según el acero longitudinal que posee cada viga en particular, ya que mediante un análisis de los planos

estructurales, se observó variaciones en el acero longitudinal de los cortes dibujados y los despieces del acero de las vigas.

Para realizar esta clasificación se utilizaron como referencia los cortes de secciones, reflejadas en los planos estructurales. En base a dichos cortes y analizando a su vez, el despiece de acero de las vigas, se dibujaron las secciones adicionales que presentaban variaciones en las varillas longitudinales con respecto a los cortes de referencia. Los resultados están reflejados en las siguientes tablas.

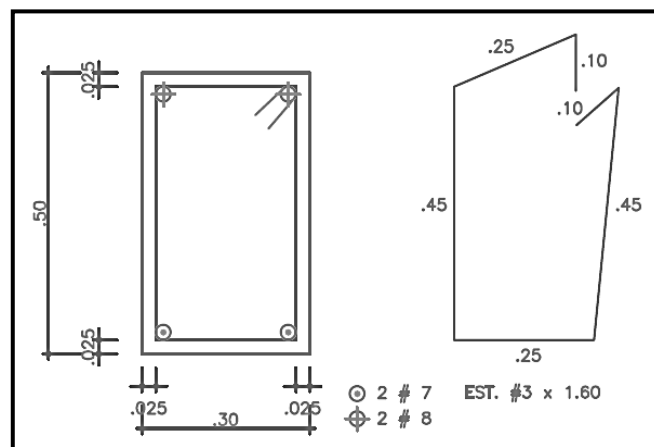


Figura 4. 2. Corte de viga A-A.

Fuente: Planos estructurales del módulo de aulas de la UDO Cantaura.

**Tabla 4. 8: Acero longitudinal del corte de viga A-A y sus variaciones.**

Corte	Dimensiones	Acero longitudinal			
		Superior		Inferior	
		Cantidad	# Varilla	Cantidad	# Varilla
A-A	30 x 50	2	8	2	7
A1-A1	30 x 50	2	6	2	7
A2-A2	30 x 50	2	8	2	7
		1	7		
A3-A3	30 x 70	1	7	2	7
		2	8		
A4-A4	30 x 45	2	8	2	6

Fuente: Calculista Proyecto

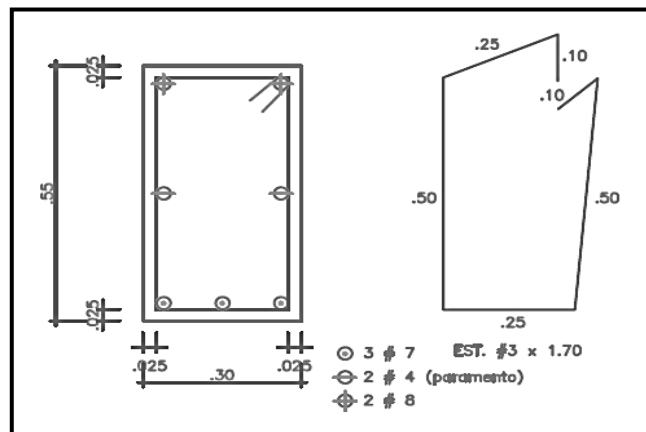


Figura 4. 3. Corte de viga B-B.

Fuente: Planos estructurales del módulo de aulas de la UDO Cantaura.

**Tabla 4. 9: Acero longitudinal del corte de viga B-B y sus variaciones.**

Corte	Dimensiones	Acero longitudinal					
		Superior		Medio		Inferior	
		Cantidad	# Varilla	Cantidad	# Varilla	Cantidad	# Varilla
B-B	30 x 55	2	8	2	4	3	7
B1-B1	30 x 55	3	7	2	4	3	7
B2-B2	30 x 55	2	7	2	4	3	7
B3-B3	30 x 55	3	8	2	8	3	7
				2	4		
B4-B4	30 x 70	3	8	2	8	2	7
				2	4		
B5-B5	30 x 45	2	8	2	4	2	6

Fuente: Calculista Proyecto

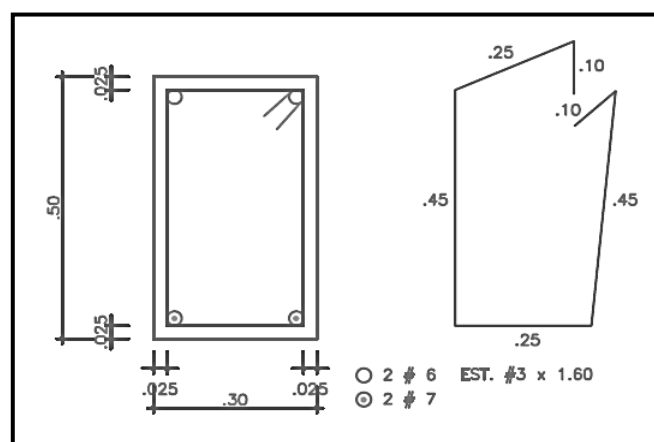


Figura 4. 4. Corte de viga F-F.

Fuente: Planos estructurales del módulo de aulas de la UDO Cantaura.



**Tabla 4. 10: Acero longitudinal del corte de viga F-F y sus variaciones**

Corte	Dimensiones	Acero longitudinal			
		Superior		Inferior	
		Cantidad	# Varilla	Cantidad	# Varilla
F-F	30 x 50	2	6	2	7
F1-F1	30 x 50	2	6	2	7
		1	8		
F2-F2	30 x 70	2	6	2	7
		1	8		
F3-F3	30 x 45	2	6	2	6

Fuente: Calculista Proyecto

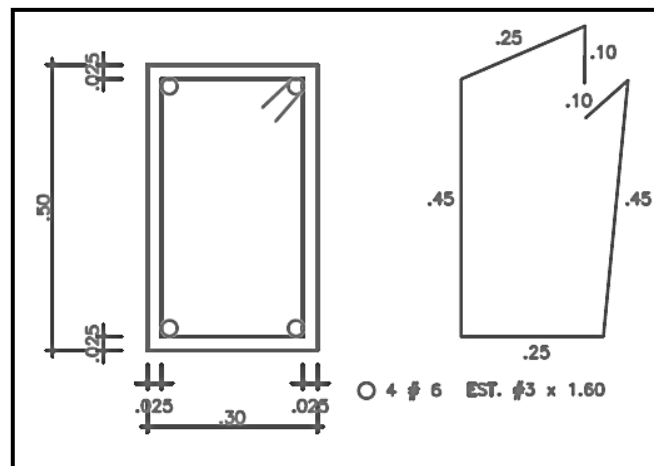


Figura 4. 5. Corte de viga G-G.

Fuente: Planos estructurales del módulo de aulas de la UDO Cantaura.

**Tabla 4. 11: Acero longitudinal del corte de viga G-G y sus variaciones.**

Corte	Dimensiones	Acero longitudinal			
		Superior		Inferior	
		Cantidad	# Varilla	Cantidad	# Varilla
G-G	30 x 50	2	6	2	6
G1-G1	30 x 50	3	6	2	6

Fuente: Calculista Proyecto

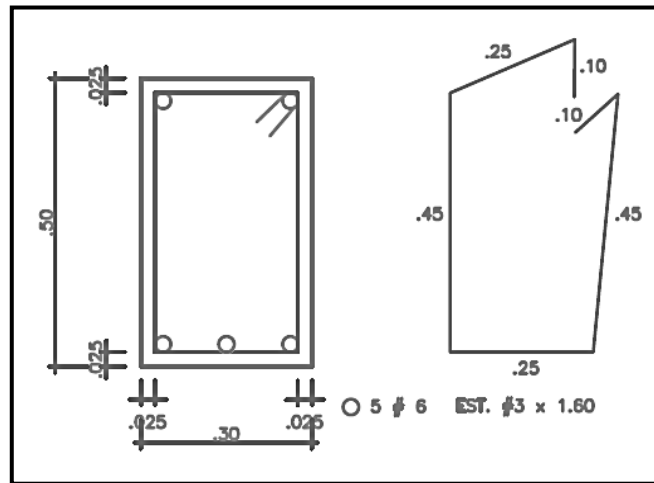


Figura 4. 6. Corte de viga H-H.

Fuente: Planos estructurales del módulo de aulas de la UDO Cantaura.

**Tabla 4. 12: Acero longitudinal del corte de viga H-H y sus variaciones.**

Corte	Dimensiones	Acero longitudinal			
		Superior		Inferior	
		Cantidad	# varilla	Cantidad	# varilla
H-H	30 x 50	2	6	3	6
H1-H1	30 x 50	3	6	3	6

Fuente: Calculista Proyecto

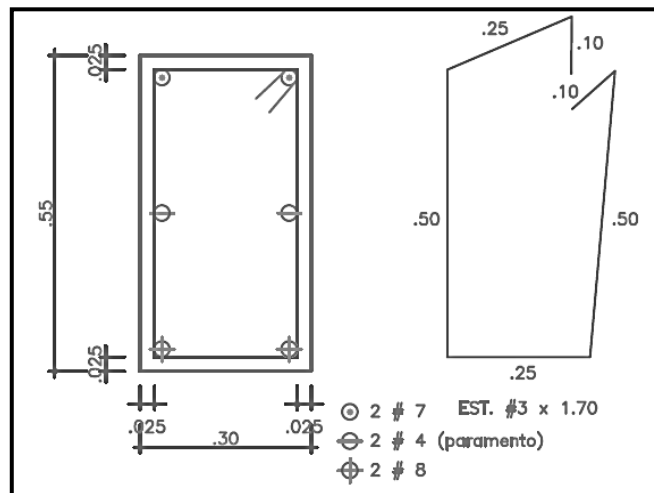


Figura 4. 7. Corte de viga I-I.

Fuente: Planos estructurales del módulo de aulas de la UDO Cantaura.

**Tabla 4. 13: Acero longitudinal del corte de viga I-I y sus variaciones.**

Corte	Dimensiones	Acero longitudinal					
		Superior		Medio		Inferior	
		Cantidad	# varilla	Cantidad	# varilla	Cantidad	# varilla
I-I	30 x 55	2	7	2	4	2	8
I1-I1	30 x 55	3	6	2	4	2	7
						1	6
I2-I2	30 x 55	2	6	2	4	2	7
I3-I3	30 x 55	2	7	2	8	2	8
		1	8	2	4		
I4-I4	30 x 70	1	8	2	8	2	7
		2	7	2	4		
I5-I5	30 x 45	2	7	2	4	2	6

Fuente: Calculista Proyecto

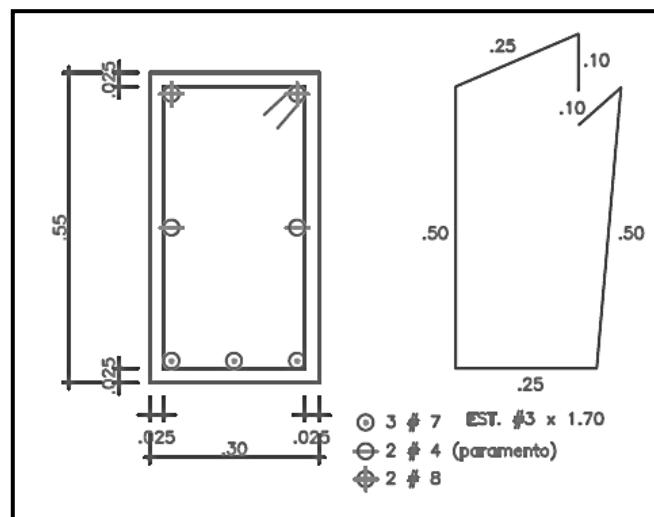


Figura 4. 8. Corte de viga J-J.

Fuente: Planos estructurales del módulo de aulas de la UDO Cantaura.

**Tabla 4. 14: Acero longitudinal del corte de viga J-J y sus variaciones.**

Corte	Dimensiones	Acero longitudinal					
		Superior		Medio		Inferior	
		Cantidad	# varilla	Cantidad	# varilla	Cantidad	# varilla
J-J	30 x 55	2	8	2	4	3	7
J1-J1	30 x 55	3	8	2	4	3	7

Fuente: Calculista Proyecto

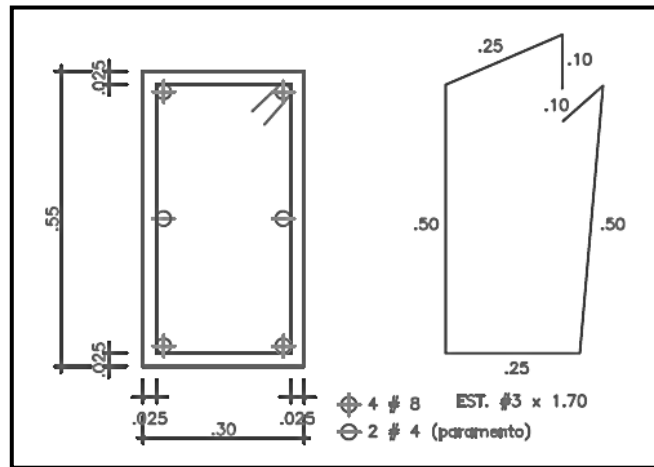


Figura 4. 9. Corte de viga K-K.

Fuente: Planos estructurales del módulo de aulas de la UDO Cantaura.

**Tabla 4. 15: Acero longitudinal del corte de viga K-K y sus variaciones.**

Corte	Dimensiones	Acero longitudinal					
		Superior		Medio		Inferior	
		Cantidad	# varilla	Cantidad	# varilla	Cantidad	# varilla
K-K	30 x 55	2	8	2	4	2	8
K1-K1	30 x 55	3	8	2	4	2	8

Fuente: Calculista Proyecto

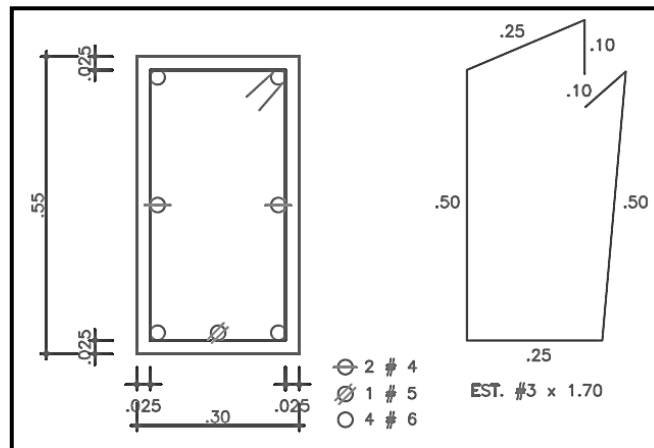


Figura 4. 10. Corte de viga O-O.

Fuente: Planos estructurales del módulo de aulas de la UDO Cantaura.

**Tabla 4. 16: Acero longitudinal del corte de viga O-O y sus variaciones.**

Corte	Dimensiones	Acero longitudinal					
		Superior		Medio		Inferior	
		Cantidad	# varilla	Cantidad	# varilla	Cantidad	# varilla
O-O	30 x 55	2	6	2	4	1	5
						2	6
O1-O1	30 x 30	1	5	N/a	N/a	2	5
		2	6				
O2-O2	30 x 55	1	5	2	4	1	5
		2	6			2	6
O3-O3	30 x 55	3	6	2	4	1	5
						2	6
O4-O4	30 x 30	1	7	N/a	N/a	2	5
		2	6				
O5-O5	30 x 55	1	7	2	4	1	5
		2	6			2	6
O6-O6	30 x 55	1	6	2	4	1	5
		2	7			2	6
O7-O7	30 x 55	2	7	2	4	3	6
		1	6				
O8-O8	30 x 55	2	7	2	4	3	6
O9-O9	30 x 55	3	6	2	4	1	5
						2	6

Fuente: Calculista Proyecto

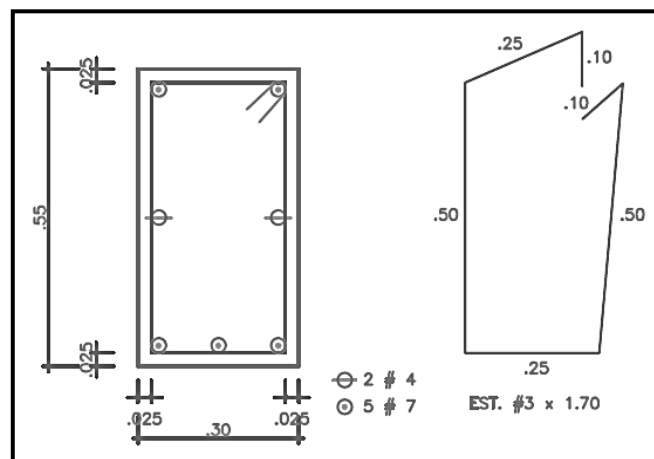


Figura 4. 11. Corte de viga P-P.

Fuente: Planos estructurales del módulo de aulas de la UDO Cantaura.

**Tabla 4. 17: Acero longitudinal del corte de viga P-P y sus variaciones.**

Corte	Dimensiones	Acero longitudinal					
		Superior		Medio		Inferior	
		Cantidad	# varilla	Cantidad	# varilla	Cantidad	# varilla
P-P	30 x 55	2	7	2	4	3	7
P1-P1	30 x 55	2	7	2	4	3	7

Fuente: Calculista Proyecto

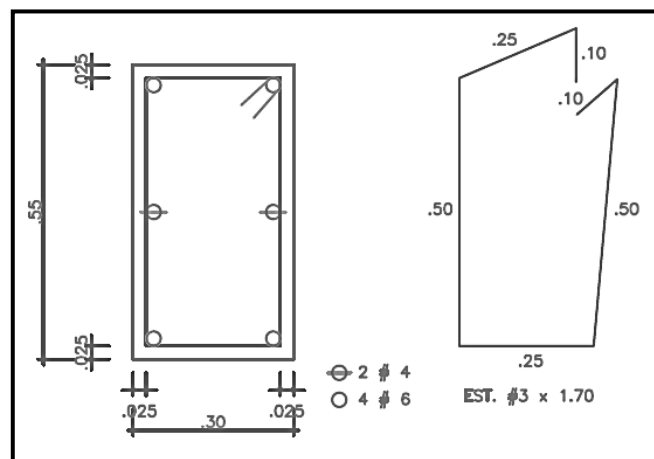


Figura 4. 12. Corte de viga Q-Q.

Fuente: Planos estructurales del módulo de aulas de la UDO Cantaura.

**Tabla 4. 18: Acero longitudinal del corte de viga Q-Q y sus variaciones.**

Corte	Dimensiones	Acero longitudinal					
		Superior		Medio		Inferior	
		Cantidad	# varilla	Cantidad	# varilla	Cantidad	# varilla
Q-Q	30 x 55	2	6	2	4	2	6
Q1-Q1	30 x 30	2	6	N/a	N/a	2	5

Fuente: Calculista Proyecto

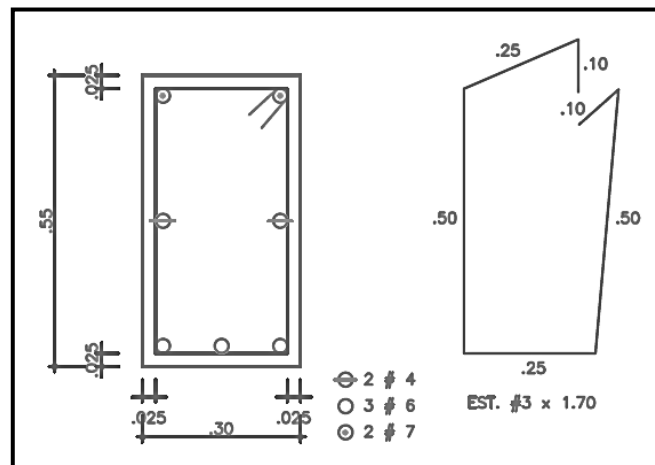


Figura 4. 13. Corte de viga R-R.

Fuente: Planos estructurales del módulo de aulas de la UDO Cantaura.

**Tabla 4. 19: Acero longitudinal del corte de viga R-R y sus variaciones.**

Corte	Dimensiones	Acero longitudinal					
		Superior		Medio		Inferior	
		Cantidad	# varilla	Cantidad	# varilla	Cantidad	# varilla
R-R	30 x 55	2	7	2	4	3	6
R1-R1	30 x 55	3	7	2	4	3	6
R2-R2	30 x 55	1	6	2	4	3	6
		2	7				

Fuente: Calculista Proyecto

Los cortes de viga, C-C, D-D, E-E, L-L, M-M, N-N y S-S, no presentaron variaciones por lo cual se encuentran agrupados en siguiente tabla.

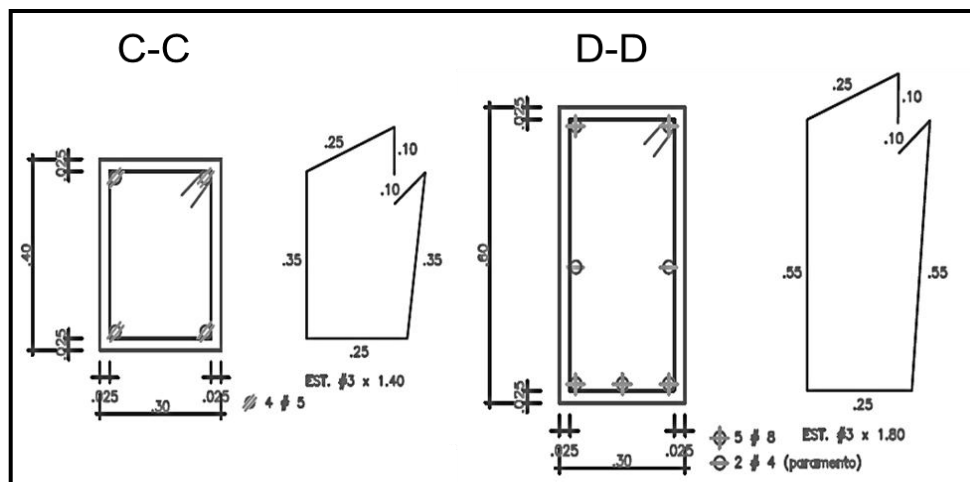


Figura 4. 14. Cortes de viga C-C y D-D.

Fuente: Planos estructurales

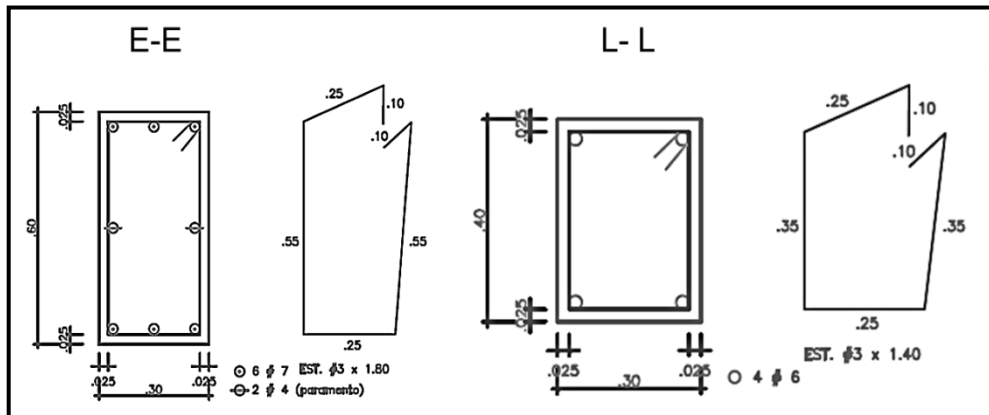


Figura 4. 15. Cortes de viga E-E y L-L.  
Fuente: Planos estructurales

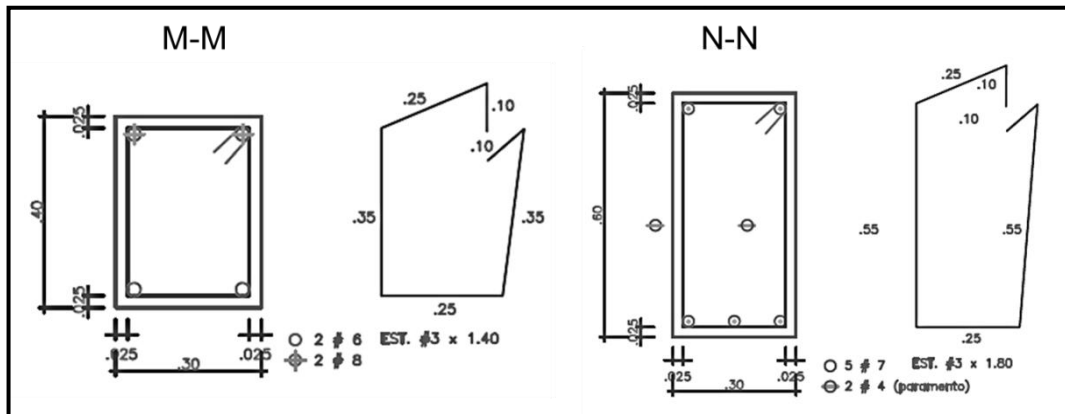


Figura 4. 16. Cortes de viga M-M y N-N.  
Fuente: Planos estructurales

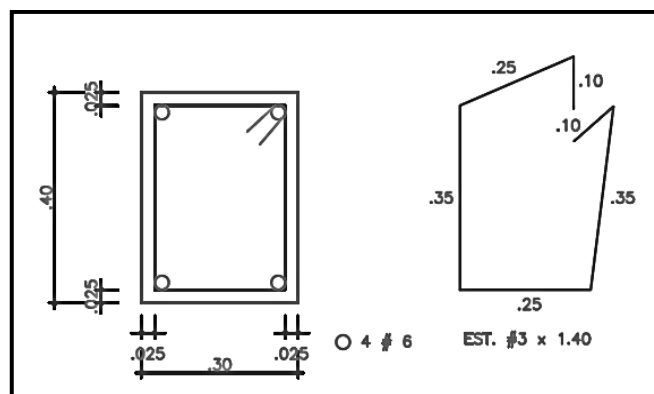


Figura 4. 17. Corte de viga S-S.  
Fuente: Planos estructurales del módulo de aulas de la UDO Cantaura.



**Tabla 4. 20: Acero longitudinal de cortes de viga que no presentaron variaciones.**

Corte	Dimensiones	Acero longitudinal					
		Superior		Medio		Inferior	
		Cantidad	# varilla	Cantidad	# varilla	Cantidad	# varilla
C	30 x 40	2	5	N/a	N/a	2	5
D	30 x 60	2	8	2	4	3	8
E	30 x 60	3	7	2	4	3	7
L	30 x 40	2	6	N/a	N/a	2	6
M	40 x 40	2	8	N/a	N/a	2	6
N	30 x 60	2	7	2	4	3	7
S	30 x 40	2	6	N/a	N/a	2	6

Fuente: Calculista Proyecto

### **Tubulares estructurales:**

Según los planos estructurales del proyecto, las cerchas están conformadas por tubos estructurales de sección circular de dos diámetros diferentes; para los miembros principales se utilizaron tubos de 4 - 1 2", por otro lado, los miembros secundarios o miembros tirantes que conforman la cercha, tienen un diámetro de 3 - 1 2" y por último, las cruces de San Andrés son tubos estructurales de 2 - 3 8".

Con respecto a las correas se utilizaron tubulares de sección rectangular de 120x60 mm. Es importante señalar que el acero estructural para todos los perfiles tubulares antes mencionados, es calidad CONDUVEN, con un esfuerzo de fluencia  $f_y = 3515 \text{ kg cm}^2$

**Tabla 4. 21: Dimensiones de los perfiles estructurales de las cerchas que conforman el techo de la estructura.**

Elemento de las cerchas	Sección	Dimensión	Espesor (mm)
Principal	Circular	$\emptyset$ 4 - 1 2"	2,50
Tirante	Circular	$\emptyset$ 3 - 1 2"	2,25
Cruz de San Andrés	Circular	$\emptyset$ 2 - 3 8".	2,25
Correa	Rectangular	120x60 mm	2,50

Fuente: Calculista Proyecto

### **Patrones de carga.**

Para efectos de la determinación de la capacidad del módulo de aulas de la universidad de oriente se tomaron en cuenta los siguientes patrones de carga.

#### **Cargas muertas o cargas permanentes.**

La carga muerta general de toda la edificación correspondiente al peso propio de todos los elementos de concreto y acero presentes en la estructura, se agregó utilizando el comando de carga “Gravity (All)”, con el cual es posible agregar el peso propio de los miembros como una fuerza que actúa en el eje global  $-Z$  de la estructura.

##### ***1) Losas de Entrepisos.***

Para las cargas aplicadas a las losas de entrepisos, ocasionadas por los acabados de las mismas se utilizaron valores reflejados en la tabla 7.7 del manual para el proyecto de estructuras de concreto armado, en la cual se puede apreciar el desglose de la carga permanente aplicada de acuerdo al espesor que tendrá dicho entepiso.

Para el caso particular del módulo de aulas de la universidad de oriente se tomó en cuenta la carga permanente para entrepisos de 25 y 30cm de espesor los cuales reflejan cargas de 615 y 660kg  $m^2$  respectivamente. Por otro lado se consideraron cargas de 465 y 510kg  $m^2$  para las losas de techo.

##### ***2) Losas de escaleras.***

Para las losas de escalera se consideraron las cargas asociadas a los acabados finales, y de igual manera se consideró el peso que los escalones ejercen sobre dichas losas. Es importante aclarar que en la edificación la losa de escalera que inicia en el nivel de planta, y termina en el primer nivel de descanso tiene dimensiones diferentes a la losa de escalera presente en los niveles superiores, lo que se traduce en una variación en las cargas de la misma.

**Tabla 4. 22: Especificación de la carga permanente ocasionada por los acabados y el peso de los escalones sobre la escalera de planta baja.**

Material o elemento	Peso unitario	Unidad	Espesor (m)	Peso total material ( $kg/m^2$ )
Acabado de granito*	100,00	$kg/m^2$	0,05	100,00
Mortero correctivo de cemento	2150,00	$kg/m^3$	0,03	64,50
Friso cemento	2200,00	$kg/m^3$	0,03	66,00
Peso debido a los escalones**	160,89	$kg/m^2$	1	160,89
Total carga ( $kg/m^2$ )				391,39

**Fuente: autor**

**Tabla 4. 23: Especificación de la carga permanente ocasionada por los acabados y el peso de los escalones sobre la escalera de los niveles superiores.**

Material o elemento	Peso unitario	Unidad	Espesor (m)	Peso total material ( $kg/m^2$ )
Acabado de granito*	100,00	$kg/m^2$	0,05	100,00
Mortero correctivo de cemento	2150,00	$kg/m^3$	0,03	64,50
Friso cemento	2200,00	$kg/m^3$	0,03	66,00
Peso debido a los escalones**	157,89	$kg/m^2$	1	157,89
Total carga ( $kg/m^2$ )				388,39

**Fuente: autor**

Nota: \*El valor del peso unitario del acabado de granito fue tomado directamente de la tabla 4.3 Pesos Unitarios probables de Elementos Constructivos (norma COVENIN 2002), correspondiente a un pavimento de granito artificial de 5 cm de espesor, por lo cual no fue necesario la realización de ningún cálculo matemático para su determinación.

\*\*El valor del peso debido a los escalones se obtuvo mediante la realización de un cálculo aproximado, utilizando las dimensiones de las escaleras plasmadas en los planos del proyecto.

### Ejemplo de cálculo del peso ocasionado por los escalones.

El procedimiento para estimar el peso sobre la escalera, ocasionado por los escalones de la misma es sencillo. Para ejemplificar este ejercicio se utilizaron las dimensiones de la escalera del nivel de planta, reflejadas en la figura 4.18:

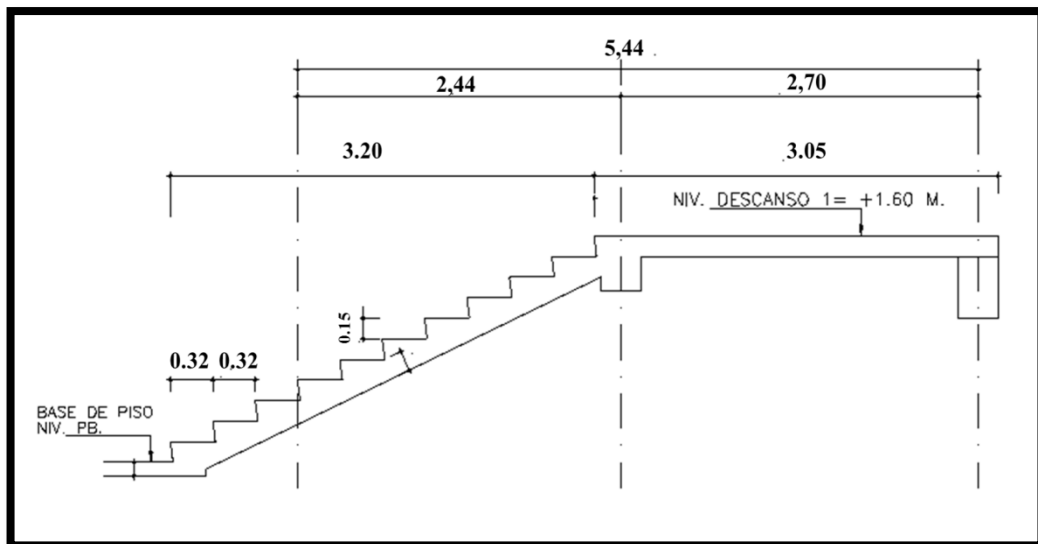


Figura 4. 18. Dimensiones de la escalera de planta  
Fuente: planos estructurales.

- a) Calcular el área del escalón, utilizando las dimensiones reflejadas en los planos estructurales.

$$area = \frac{b \times h}{2}$$

$$area = \frac{0,15 \times 0,32}{2} = 0,024m^2$$

- b) Calcular el volumen de concreto por cada escalón, multiplicando el área previamente calculada por el ancho del elemento, luego se multiplica

dicho volumen por el número de escalones presente en ese tramo de escalera.

$$\text{volumen} = \text{area} \times \text{ancho}$$

$$\text{volumen} = 0,024\text{m}^2 \times 2,50\text{m}$$

$$\text{volumen} = 0,06\text{m}^3 \times 10 \text{ escalones} = 0,6 \text{m}^3 \text{ escalon}$$

- c) Calcular el peso total de los escalones, multiplicando el volumen por escalón, por el peso específico del concreto dado en la norma COVENIN 2002, correspondiente a  $2400 \text{ kg m}^3$ .

$$\text{peso escalones} = 0,6\text{m}^3 \times 2400 \text{ kg m}^3$$

$$\text{peso escalones} = 1440 \text{ kg}$$

- d) Calcular la distancia diagonal y el área total de la escalera.

Distancia diagonal de la escalera: la base  $b$  representa la altura desde la base de piso hasta el nivel de descanso 1, y la altura  $h$  representa la distancia horizontal de la losa inclinada.

$$d = \sqrt{b^2 + h^2}$$

$$d = \sqrt{1,6^2 + 3,2^2} = 3,58\text{m}$$

Área de la escalera: la base  $b$  representa el ancho de los escalones, mientras que la altura  $h$  representa la distancia diagonal de la losa inclinada calculada previamente.

$$\text{área} = b \times h$$

$$\text{área} = 2,50\text{m} \times 3,58\text{m} = 8,95\text{m}$$

- e) Calcular el peso de los escalones por  $m^2$ , dividiendo el peso de los escalones entre el área total de la losa.

$$\text{peso} = \frac{\text{peso escalones}}{\text{area total de la losa}}$$

$$\text{peso} = \frac{1440\text{kg}}{8,95\text{m}^2} = 160,89 \text{ kg } m^2$$

Para el caso particular de las losas de descanso pertenecientes al sistema de escaleras, se utilizó una carga diferente a las establecidas en las tablas anteriores, ya que en las mismas no existen escalones que ejerzan algún tipo de carga sobre ellas. Las cargas utilizadas se describen en la siguiente tabla.

**Tabla 4. 24: Especificación de la carga permanente ocasionada por los acabados sobre la losa de descanso del sistema de escaleras.**

Material o elemento	Peso unitario	Unidad	Espesor (m)	Peso total material ( $kg \ m^2$ )
Acabado de granito*	100,00	$kg/m^2$	0,05	100,00
Mortero correctivo de cemento	2150,00	$kg \ m^3$	0,03	64,50
Friso cemento	2200,00	$kg \ m^3$	0,03	66,00
Total carga ( $kg \ m^2$ )				230,50

Fuente: autor

NOTA: \*El valor del peso unitario del acabado de granito fue tomado directamente de la tabla 4.3 Pesos Unitarios probables de Elementos Constructivos (norma COVENIN 2002), correspondiente a un pavimento de granito artificial de 5 cm de espesor por lo cual no fue necesario la realización de ningún cálculo matemático para su determinación.

**Tabla 4. 25: Resumen de las cargas permanentes ocasionadas por los acabados, aplicadas a las losas de la edificación.**

N°	Nombre	Cantidad	Unidad
1	Azotea e=30cm	510	$kg\ m^2$
2	Azotea e=25	465	$kg\ m^2$
3	Entrepiso e=30	660	$kg\ m^2$
4	Entrepiso e=25	615	$kg\ m^2$
5	Acabado escalera de planta	391,39	$kg\ m^2$
6	Acabado escalera niveles superiores	388,39	$kg\ m^2$
7	Acabado losas de descanso	230,50	$kg\ m^2$

Fuente: autor

#### **Cargas vivas o cargas variables.**

En la edificación se pueden distinguir 5 tipos de carga viva que son las correspondientes al uso particular de cada área de la edificación. Todos los valores reflejados en la siguiente tabla fueron obtenidos de la norma COVENIN 2002, específicamente de la tabla 5.1 Mínimas Cargas Distribuidas Variables Sobre Entrepisos  $kg/m^2$ .

**Tabla 4. 26: Especificación de las cargas variables presentes en la edificación.**

Uso De La Edificación	Área	Carga $kg\ m^2$
<b>Edificaciones educacionales</b> (escuelas, liceos, universidades, institutos técnicos y similares)	<b>Áreas públicas</b> pasillos comedores, vestuarios, salas de estar	400
	<b>Áreas privadas</b> oficinas, aulas, quirófanos, cocinas, lavanderías, servicios y mantenimiento	300
	Azoteas o terrazas	100
	Escaleras y escaleras de escape	500
	Áreas con cargas livianas de maquinas	600

Fuente: Norma COVENIN 2002

Los patrones de carga definidos para el análisis de la estructura fueron los siguientes:

**Tabla 4. 27: Patrones de Carga utilizados para el análisis.**

N°	Nombre del caso de Carga	Tipo de Carga
1	Peso propio	Muerta (DEAD)
2	Azotea e=30cm	Muerta (SUPERDEAD)
3	Azotea e=25	Muerta (SUPERDEAD)
4	Entrepiso e=30	Muerta (SUPERDEAD)
5	Entrepiso e=25	Muerta (SUPERDEAD)
6	Acabado escalera de planta	Muerta (SUPERDEAD)
7	Acabado escalera niveles superiores	Muerta (SUPERDEAD)
8	Acabado losas de descanso	Muerta (SUPERDEAD)
9	Pasillos	Viva (LIVE)
10	Aulas	Viva (LIVE)
11	Escaleras	Viva (LIVE)
12	Sala de maquinas	Viva (LIVE)
13	Azotea	Viva (LIVE)
14	Sismo X	Sismo (QUAKE)
15	Sismo Y	Sismo (QUAKE)

Fuente: autor

### Casos de Carga

Para el desarrollo de del análisis de la estructura fueron creados los siguientes casos de carga:

- Modal** (de tipo Modal)
- Sismo** (de tipo Espectro de Respuesta): Para las direcciones de aceleración aplicadas en este caso se utilizó un factor de escala de 9.81 en las componentes horizontales U1 y U2. Para los 3 tipos de carga la función espectral utilizada fue el espectro elástico de diseño de la estructura calculado previamente.



### **Combinaciones de efectos.**

Se consideró adoptar el criterio RCSC para la combinación direccional, este criterio de combinación direccional permite asumir un único sismo direccionado de manera diagonal a la edificación, lo que a su vez se podría considerar como la componente horizontal del sismo más desfavorable.

En cuanto a la combinación modal se consideró el criterio de combinación cuadrática completa (CCC), conocido por sus siglas en inglés como, Complete Quadratic Combination (CQC).

Las combinaciones de carga usadas en el análisis de la estructura fueron las siguientes:

- Combo 1:** 1.4 CP + 1.4 CPP
- Combo 2:** 1.2 CP + 1.2CPP + 1.6 CV
- Combo 3:** 1.2 CP + 1.2 CPP + 1.6 CVT
- Combo 4:** 1.2 CP + 1.2 CPP + 1.6 CVT +  $\gamma$ CV
- Combo 5:** 1.2 CP + 1.2 CPP + 0.5CVT
- Combo 6:** 0.9 CP + 0.9 CPP
- Combo 7:** 1.20 CP + 1.20 CPP  $\pm$  SISMO
- Combo 8:** 0.90 CP + 0.90 CPP  $\pm$  SISMO

### **Espectro de Respuesta de la estructura.**

Los valores utilizados para la construcción del espectro de diseño de la estructura fueron obtenidos directamente de las tablas establecidas por la norma COVENIN (2002), Edificaciones Sismoresistentes Parte 1: articulado.

- 1) **Zona sísmica:** se obtiene utilizando la tabla 4.2 zonificación sísmica de Venezuela, en donde especifica la zona sísmica dependiendo del municipio donde se encuentre la edificación. Para el estado Anzoátegui, específicamente el municipio Pedro María Freites la zona sísmica corresponde a una zona sísmica 4.

- 2) **Factor de corrección  $\varphi$  y forma espectral S**: se obtiene de la tabla 5.1 forma espectral y factor de corrección de la norma ingresando con las características del suelo o con la forma espectral y la zona sísmica.

$$S2 \qquad \varphi = 0,80$$

- 3) **Coefficiente de aceleración vertical  $A_0$** : para obtener este valor se debe contar con datos como el municipio donde se encuentra la estructura y la zona sísmica (consultar tabla 4.1 valores de  $A_0$  de la norma).

$$A_0 = 0,25$$

- 4) **Factor de importancia  $\alpha$** : para encontrar este valor es necesario determinar previamente a que grupo pertenece la estructura según su uso, consultando la clasificación establecida en el artículo 6.1. clasificación según el uso, de la norma.

La edificación al ser de uso educacional corresponde a una clasificación de tipo A, que abarca edificaciones que albergan instalaciones esenciales, de funcionamiento vital en condiciones de emergencia o cuya falla pueda dar lugar a cuantiosas pérdidas humanas o económicas.

$$\text{Grupo A} \qquad \alpha = 1,30$$

- 5) **Nivel de diseño**: a partir de la clasificación de la estructura según el uso de la misma y la zona sísmica, se obtiene nivel de diseño que para el caso particular de la edificación estudiada es ND3.
- 6) **Factor de reducción de respuesta  $R$** : los valores de este factor están dados en la tabla 6.4 factores de reducción  $R$  de la norma, sin embargo para efectos de la realización del análisis Pushover se utilizara el espectro de respuesta elástico cuyo  $R=1$ .
- 7) **Periodo máximo  $T^*$ , exponente de la rama descendente  $p$ , factor de magnificación promedio  $\beta$** : se obtienen entrando a la tabla 7.1 valores de  $T^*$ ,  $\beta$  y  $p$ , utilizando la forma espectral que para este caso en particular corresponde a la forma S2, arrojando los siguientes valores.

$$T^* = 0,7\text{seg} \quad \beta = 2,6 \quad p = 1.0$$

- 8) **Periodo de respuesta dúctil  $T^+$** : utilizando el factor de respuesta  $R$  obtenido anteriormente se determina el periodo  $T^+$  de la tabla 7.2 valores de  $T^+$ .

$$R \geq 5 \quad T^+ = 0,4$$

- 9) **Coefficiente  $C$** : se obtiene aplicando la siguiente formula.

$$C = \frac{R}{\beta} = \frac{6.0}{2,6}$$

$$C = 1.2325$$

Una vez determinados todos los valores de manera correcta, se procede a aplicar las formulas establecidas en la norma COVENIN 2002, en el artículo 7.2 Espectros de diseño, en el cual se establece que, las ordenadas  $A_d$  quedan definidas en función de su periodo  $T$  de la siguiente manera.

El grafico del espectro elástico de respuesta queda reflejado en la Figura 4.19.

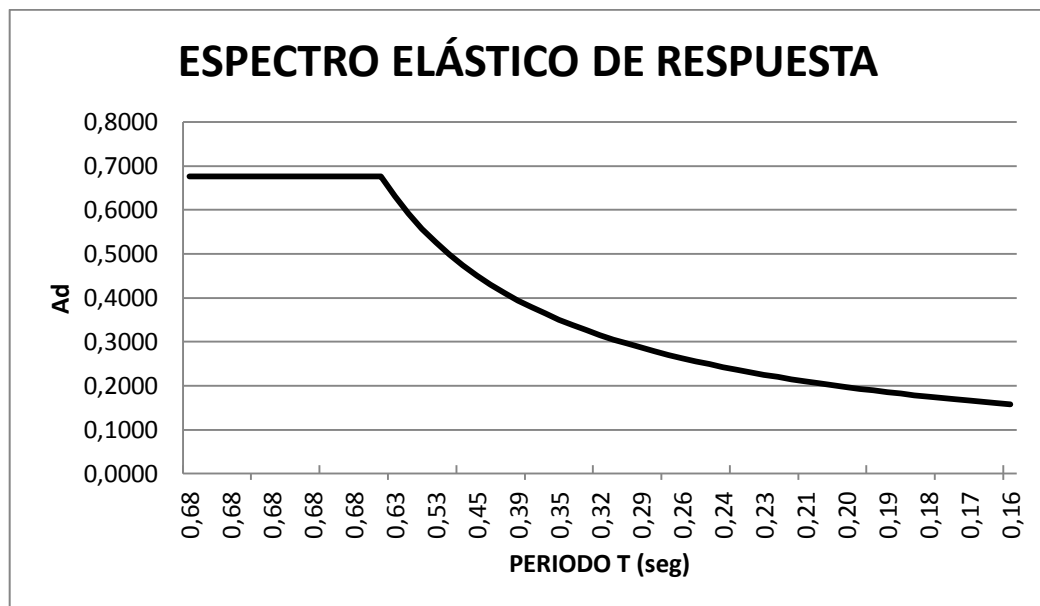


Figura 4. 19. Espectro elástico de respuesta de la estructura  
Fuente: Autor

### Fuentes de masa.

Para definir la fuente de masa se utilizaron todos los patrones de carga definidos anteriormente a excepción del peso propio, y se utilizó un factor igual a 1 para todas las cargas muertas, y 0,5 para todas las cargas vivas, con el propósito de que dicho factor escale los patrones de carga antes de ser añadidos a la masa total. Este factor depende del porcentaje establecido en la norma COVENIN 2002.

### Resultados del Análisis modal de la estructura.

En esta etapa se describe la estructura mediante sus propiedades dinámicas las cuales son, los modos de vibración, la frecuencia y el amortiguamiento. Para analizar la estructura se utilizaron 12 modos de vibración debido a la dimensión y complejidad de la misma, los resultados están reflejados en la siguiente tabla.

**Tabla 4. 28: Características Dinámicas de la estructura obtenidas del análisis modal realizado.**

Modo de vibración	Período T (seg.)	Frecuencia (ciclos/seg.)	Factor de participación de masa (eje X)	Factor de participación de masa (eje Y)
1	1,027	0,974	0,845	0,00344
2	0,858	1,166	0,00001216	0,001802
3	0,851	1,175	0,005066	0,691
4	0,753	1,329	3,1363E-06	0,0001676
5	0,750	1,333	5,887E-07	0,0003611
6	0,743	1,345	1,099E-07	0,000004847
7	0,731	1,369	0,002739	2,244E-07
8	0,728	1,374	0,0006421	0,000005839
9	0,652	1,535	0,005232	0,176
10	0,644	1,552	0,0006033	0,002406
11	0,642	1,559	0,047	0,038
12	0,528	1,894	5,707E-07	0,000008498
<b>TOTAL</b>			<b>90,63%</b>	<b>91,32%</b>

Fuente: autor

#### 4.2.2. Análisis Pushover de la estructura.

Se realizaron 2 análisis por separado, uno en sentido “X” y otro en el sentido “Y” de la estructura, con el objetivo de conocer la capacidad resistente en

ambas direcciones, debido a que los pórticos de la misma presentan diferentes rigideces para cada sentido en particular.

En este estudio se utilizó el segundo método propuesto por el ATC-40, llamado “Procedimiento de Código Estandarizado”, en el cual se relaciona el peso por nivel y el peso global de la estructura con el cortante basal de la misma, obtenido del análisis modal previamente realizado. Las fuerzas obtenidas fueron las siguientes:

- **Nivel 1:** 93.443,93 Kg
- **Nivel 2:** 170.636,95 Kg
- **Nivel 3:** 296.707,14 Kg

Cabe destacar que debido a que el peso de la edificación y el cortante en la base no varían para las dos direcciones de análisis, las fuerzas reflejadas anteriormente serán utilizadas para el análisis de la estructura en ambos sentidos.

### **Ejemplo del cálculo de la fuerza lateral aplicada por nivel**

El siguiente ejemplo corresponde al cálculo de la fuerza lateral correspondiente al nivel 1 de la edificación, del mismo modo se realizaron los cálculos para los niveles superiores dando como resultado las fuerzas reflejadas anteriormente.

#### Datos de la estructura

- Peso total: 1.267.546,53 Kg
- Peso nivel 1: 401.999,48 Kg
- Cortante basal: 799.733,13 Kg
- Altura del nivel: 3,85m
- Altura total: 10,45m

$$f_1 = \frac{401.999,48kg * 3,85m}{1.267.546,53kg * 10,45m} * 799.733,13kg$$

$$f_1 = 93.443,93 kg$$

Una vez calculadas las fuerzas por nivel, se procedió calcular la rigidez lateral que aporta cada pórtico, de cada sentido de la estructura, a la rigidez lateral global de la misma, para así, aplicar el porcentaje de fuerza correspondiente a cada pórtico tanto en sentido X como en sentido Y. Para realizar estos cálculos se utilizó el método de cálculo de rigideces laterales de Wilbur, que corresponde al uso de fórmulas que pueden aplicarse a marcos regulares formados por elementos con momentos de inercia constantes.

El primer paso para calcular las rigideces laterales por pórtico por nivel, es determinar la inercia de todos los elementos que se encuentran en dicho pórtico del nivel en particular, posterior a esto se debe calcular la rigidez relativa de dichos elementos (columnas y vigas) para finalmente proceder a calcular la rigidez lateral del pórtico mediante la fórmula establecida en el método Wilbur.

**Ejemplo del cálculo de la rigidez lateral del nivel 1 del pórtico A = M (sentido X).**

– **Calculo de las inercias de las secciones**

$$I_y = \frac{B^3 * h}{12}$$

Columna tipo 1: 0,40m x 0,40m

$$I_y = \frac{0,40^3 * 0,40}{12} = 0,00213m^4$$

Columna tipo 4: 0,45m x 0,35m

$$I_y = \frac{0,45^3 * 0,35}{12} = 0,00265m^4$$

Viga tipo 1: 0,30m x 0,30m

$$I_y = \frac{0,30^3 * 0,30}{12} = 0,000675m^4$$

Viga tipo 5: 0,30m x 0,55m

$$I_x = \frac{0,30^3 * 0,55}{12} = 0,00124m^4$$

– **Calculo de la rigidez relativa de los elementos.**

$$R_x = \frac{I_y}{L}$$

Columna tipo 1: 0,40m x 0,40m

$$R_{c1} = \frac{0,00213m^4}{3,85m} = 0,000553$$

Columna tipo 4: 0,45m x 0,35m

$$R_{c4} = \frac{0,00265m^4}{3,85m} = 0,000688$$

$$k_{c1} = 3 * R_{c1} + 6 * R_{c4}$$

$$k_{c1} = 3 * 0,000553 + 6 * 0,000688 = 0,00579$$

Viga tipo 1: 0,30m x 0,30m

$$R_{v1} = \frac{0,000675m^4}{1,92m} = 0,000352$$

Viga tipo 5: 0,30m x 0,55m

$$R_{v5} = \frac{0,00124m^4}{7,6m} = 0,000163$$

$$R_{v5} = \frac{0,00124m^4}{4,5m} = 0,000276$$

$$k_{v1} = 2 * R_{v1} + 6 * R_{v5} + 2 * R_{v5}$$

$$k_{v1} = 2 * 0,000352 + 6 * 0,000163 + 2 * 0,000276 = 0,00223$$

– **Calculo de la rigidez lateral por nivel del pórtico A = M**

$$K_1 = \frac{48 * E}{h_1 * \frac{4 * h_1}{k_{c1}} + \frac{h_1 + h_2}{k_{v1} + \frac{k_{c1}}{12}}}$$

$$K_1 = \frac{48 * 25.267.132,8}{3,84 * \frac{4 * 3,85}{0,00579} + \frac{3,85 + 3,30}{0,00223 + \frac{0,00579}{12}}}$$

$$K_1 = 59.577,20 \text{ kg m}$$

Aplicando el procedimiento anteriormente descrito, se calcularon las rigideces por nivel de cada pórtico, tanto en sentido X como en sentido Y de la edificación, luego se determinó la rigidez total por nivel, mediante la sumatoria de las rigideces calculadas y finalmente se expresó de manera porcentual el aporte de rigidez que cada pórtico suministra a la rigidez total en cada sentido.

**Tabla 4. 29: Rigideces por nivel, correspondientes a los pórticos en sentido X.**

Pórtico	Nivel 1		Nivel 2		Nivel 3	
	Rigidez K (Kg/m)	%	Rigidez K (Kg/m)	%	Rigidez K (Kg/m)	%
A	59.577,20	15,7%	34.937,64	15,1%	48.448,08	16,2%
B	18.630,71	4,9%	6.658,19	2,9%	8.204,40	2,7%
C	49.304,25	13,0%	28.860,63	12,5%	40.662,12	13,6%
D	21.326,10	5,6%	14.709,16	6,4%	16.109,62	5,4%
E	23.874,55	6,3%	19.302,52	8,3%	15.964,91	5,3%
F	18.365,76	4,8%	13.559,91	5,9%	12.849,45	4,3%
G	3.424,12	0,9%	2.470,67	1,1%	21.160,35	7,1%
H	18.219,61	4,8%	14.224,87	6,1%	14.447,37	4,8%
I	22.769,74	6,0%	14.949,67	6,5%	13.849,57	4,6%
J	21.326,10	5,6%	14.709,16	6,4%	16.109,62	5,4%
K	49.304,25	13,0%	28.860,63	12,5%	40.662,12	13,6%
L	14.711,46	3,9%	3.248,76	1,4%	2.942,27	1,0%
M	59.577,20	15,7%	34.937,64	15,1%	48.448,08	16,2%
<b>TOTALES</b>	<b>380.411,04</b>	<b>100,0%</b>	<b>231.429,46</b>	<b>100,0%</b>	<b>299.857,98</b>	<b>100,0%</b>

Fuente: autor



**Tabla 4. 30: Rigideces por nivel, correspondientes a los pórticos en sentido Y.**

Pórtico	Nivel 1		Nivel 2		Nivel 3	
	Rigidez K (Kg/m)	%	Rigidez K (Kg/m)	%	Rigidez K (Kg/m)	%
1	17.477,87	2,8%	16.622,68	2,3%	13.488,85	1,9%
2	40.924,09	6,6%	36.567,08	5,0%	29.166,97	4,2%
2'	11.958,20	1,9%	14.504,96	2,0%	13.910,62	2,0%
3	38.401,82	6,2%	38.933,57	5,3%	44.228,43	6,4%
4	70.599,64	11,4%	69.383,89	9,5%	67.056,89	9,7%
5	49.824,42	8,1%	72.604,44	10,0%	76.779,69	11,1%
6	49.824,42	8,1%	72.604,44	10,0%	76.779,69	11,1%
7	59.696,73	9,7%	85.878,36	11,8%	65.401,27	9,4%
8	49.824,42	8,1%	72.604,44	10,0%	76.779,69	11,1%
9	49.824,42	8,1%	72.604,44	10,0%	76.779,69	11,1%
10	70.599,64	11,4%	69.383,89	9,5%	67.056,89	9,7%
11	38.401,82	6,2%	38.933,57	5,3%	44.228,43	6,4%
11'	11.180,76	1,8%	15.300,29	2,1%	0,00	0,0%
12	40.924,09	6,6%	36.567,08	5,0%	29.166,97	4,2%
13	40.924,09	2,8%	16.622,68	2,3%	13.488,85	1,9%
<b>TOTALES</b>	<b>640.386,46</b>	<b>100,0%</b>	<b>729.115,83</b>	<b>100,0%</b>	<b>694.312,92</b>	<b>100,0%</b>

Fuente: autor

Este procedimiento se realizó con la finalidad de distribuir de manera equitativa, las fuerzas de empuje lateral que fueron calculadas previamente, es decir, de acuerdo al porcentaje de rigidez del pórtico se le asigna el mismo porcentaje de la fuerza correspondiente a ese nivel en un sentido en particular, por ejemplo, tomando los valores anteriores se puede decir que para el pórtico A en el sentido X de la estructura, se debe asignar 15,7% de la fuerza calculada correspondiente al nivel 1.

Los porcentajes de fuerza por nivel, que se deben aplicar a los pórticos, se encuentran reflejados en las siguientes tablas:

**Tabla 4. 31: porcentaje de fuerza aplicada a los pórticos en sentido X.**

Pórtico	Nivel 1		Nivel 2		Nivel 3	
	%	Fuerza (Kg)	%	Fuerza (Kg)	%	Fuerza (Kg)
A	15,7%	14.634,51	14,9%	25.507,55	16,2%	47.939,00
B	4,9%	4.576,44	2,9%	4.932,43	2,7%	8.118,19
C	13,0%	12.111,07	12,3%	21.058,59	13,6%	40.234,85
D	5,6%	5.238,53	6,4%	10.987,85	5,4%	15.940,34
E	6,3%	5.864,53	8,5%	14.419,12	5,3%	15.797,16
F	4,8%	4.511,35	5,9%	10.129,35	4,3%	12.714,43
G	0,9%	841,10	1,1%	1.845,61	7,1%	20.938,01
H	4,8%	4.475,45	6,2%	10.626,08	4,8%	14.295,56
I	6,0%	5.593,15	6,5%	11.167,51	4,6%	13.704,04
J	5,6%	5.238,53	6,4%	10.987,85	5,4%	15.940,34
K	13,0%	12.111,07	12,3%	21.058,59	13,6%	40.234,85
L	3,9%	3.613,71	1,4%	2.408,87	1,0%	2.911,35
M	15,7%	14.634,51	14,9%	25.507,55	16,2%	47.939,00
<b>TOTALES</b>	<b>100%</b>	<b>93.443,93</b>	<b>100%</b>	<b>170.636,95</b>	<b>100%</b>	<b>296.707,14</b>

Fuente: autor

**Tabla 4. 32: porcentaje de fuerza aplicada a los pórticos en sentido Y.**

Pórtico	Nivel 1		Nivel 2		Nivel 3	
	%	Fuerza (Kg)	%	Fuerza (Kg)	%	Fuerza (Kg)
1	2,83%	2.647,26	2,28%	3.890,25	1,94%	5.764,31
2	6,63%	6.198,51	5,02%	8.557,89	4,20%	12.464,19
2'	1,94%	1.811,23	1,99%	3.394,64	2,00%	5.944,55
3	6,22%	5.816,47	5,34%	9.111,73	6,37%	18.900,54
4	11,44%	10.693,27	9,52%	16.238,10	9,66%	28.656,04
5	8,08%	7.546,58	9,96%	16.991,81	11,06%	32.810,97
6	8,08%	7.546,58	9,96%	16.991,81	11,06%	32.810,97
7	9,68%	9.041,88	11,78%	20.098,34	9,42%	27.948,53
8	8,08%	7.546,58	9,96%	16.991,81	11,06%	32.810,97
9	8,08%	7.546,58	9,96%	16.991,81	11,06%	32.810,97
10	11,44%	10.693,27	9,52%	16.238,10	9,66%	28.656,04
11	6,22%	5.816,47	5,34%	9.111,73	6,37%	18.900,54
11'	1,81%	1.693,48	2,10%	3.580,77	0%	0,00
12	6,63%	6.198,51	5,02%	8.557,89	4,20%	12.464,19
13	2,83%	2.647,26	2,28%	3.890,25	1,94%	5.764,31
<b>TOTALES</b>	<b>100,0%</b>	<b>93.443,93</b>	<b>100,0%</b>	<b>170.636,95</b>	<b>100,0%</b>	<b>296.707,14</b>

Fuente: autor

### **Patrones y casos de carga.**

Para la realización del análisis estático no lineal de la estructura fue necesario crear 2 nuevos patrones de carga que no estaban establecidos en el análisis modal previamente realizado. Los nuevos patrones de carga son:

- Pushover X (Push X) y carga gravitacional no lineal en X (CGNL X), para el análisis en sentido X.
- Pushover Y (Push Y) y carga gravitacional no lineal en Y (CGNL Y), para el análisis en sentido Y.

Una vez creados estos patrones de carga, se debe dar las características a los casos de carga que se utilizaran para el análisis.

- **Carga gravitacional no lineal (CGNL):** se debe considerar como un caso de carga estática no lineal en la cual se toman en cuenta todas las cargas permanentes y variables que actúan sobre la edificación multiplicadas por un factor de escala de 1,10 y 0,25 respectivamente. A su vez este caso de carga debe ser configurado para que inicie desde cero, es decir la CGNL debe iniciar desde un estado donde la estructura tiene cero desplazamiento y velocidad, todos los elementos están sin tensión, y no hay historia de deformación no lineal.

Para el parámetro de control de aplicación de carga, en la CGNL se debe utilizar la opción de carga completa o *Full Load* ya que ésta es una carga gravitacional y por lo tanto se espera que la estructura la soporte en su totalidad.

- **Carga Pushover:** del mismo modo que la CGNL, la carga Pushover debe considerarse como una carga estática no lineal para así asegurar que las cargas se apliquen sin efectos dinámicos. Sin embargo las condiciones iniciales de este caso de carga deben ser los desplazamientos, las velocidades, los esfuerzos, las cargas, las energías y los historiales de deformación no lineal, resultantes del análisis no lineal previo.

El tipo de control para la aplicación de la carga es por control de desplazamiento, en el cual se estableció un desplazamiento de control de 40cm, en la dirección U1 para el análisis en sentido X, y U2 para el análisis en sentido Y. Es importante mencionar la necesidad de establecer un nodo de control con el cual se podrá monitorear los desplazamientos de la estructura, este nodo debe ser diferente para ambos análisis y a su vez debe ubicarse en el diafragma de techo de la estructura.

Para el caso del análisis en sentido X de la estructura se utilizó el nodo número 478 ubicado en el nivel 3 del pórtico A, por otro lado se consideró el nodo de control 395 para el análisis en sentido Y ubicado en el nivel 3 del pórtico 4.

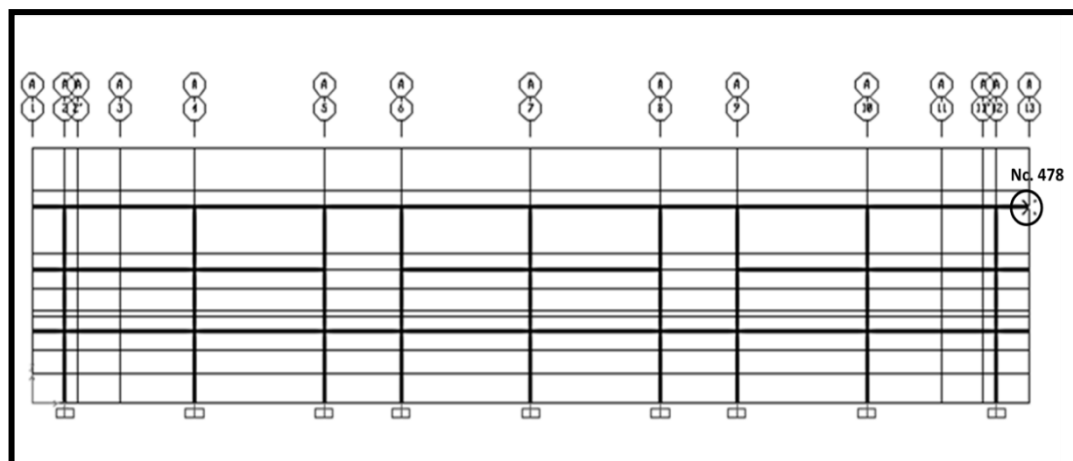


Figura 4. 20. Ubicación del nodo de control para el análisis en X  
Fuente: Estructura modelada en Sap2000

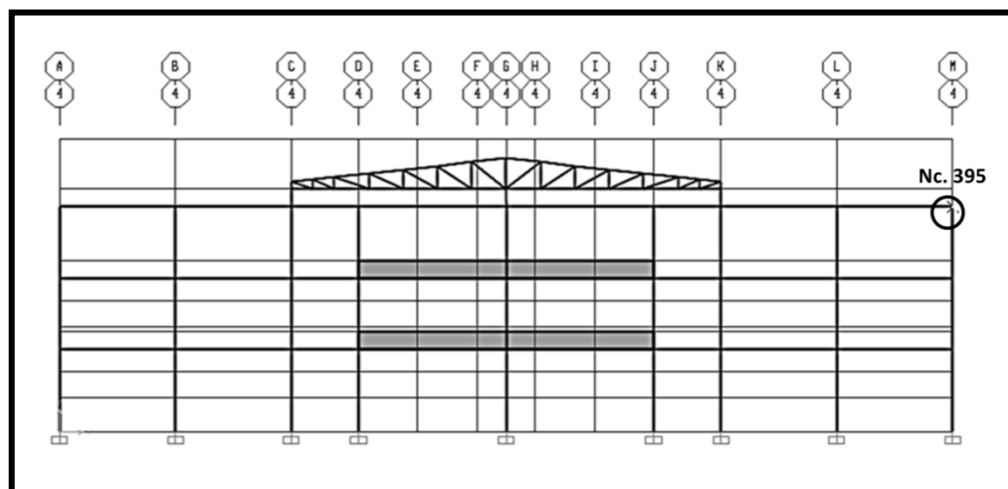


Figura 4. 21. Ubicación del nodo de control para el análisis en Y.  
Fuente: Estructura modelada en Sap2000

### Definición del mecanismo de generación de rotulas plásticas.

Se utilizó un mecanismo de generación de rotulas plásticas, fundamentado en las tablas establecidas en el documento 41-13 del American Society of Civil Engineers, (ASCE), específicamente se emplearon las tablas 10-7 Concrete Beam-Flexure y la tabla 10-8 Concrete Columns, para vigas y columnas respectivamente, estas rotulas se deben asignar en un porcentaje de la longitud de los elementos, que se aproxime a los extremos de los mismos, para ello se utilizaron distancias relativas de 0,95 y 0,05, tanto en columnas como en vigas.

### Resultados del análisis Pushover

En este análisis se lograron obtener las gráficas representativas de la capacidad de la edificación para cada sentido (X e Y) global en particular. Los resultados están reflejados en las siguientes tablas y gráficas.

**Tabla 4. 33: Valores representativos de la curva de capacidad en sentido X**

Paso	Desplazamiento (cm)	Fuerza en la base (ton)
0	0,0027	0
1	0,813	210,26
2	4,877	1094,30
3	8,144	1421,13
4	12,894	1686,57

Paso	Desplazamiento (cm)	Fuerza en la base (ton)
5	15,394	1786,52
6	15,644	1804,70
7	16,144	1826,01

Fuente: autor

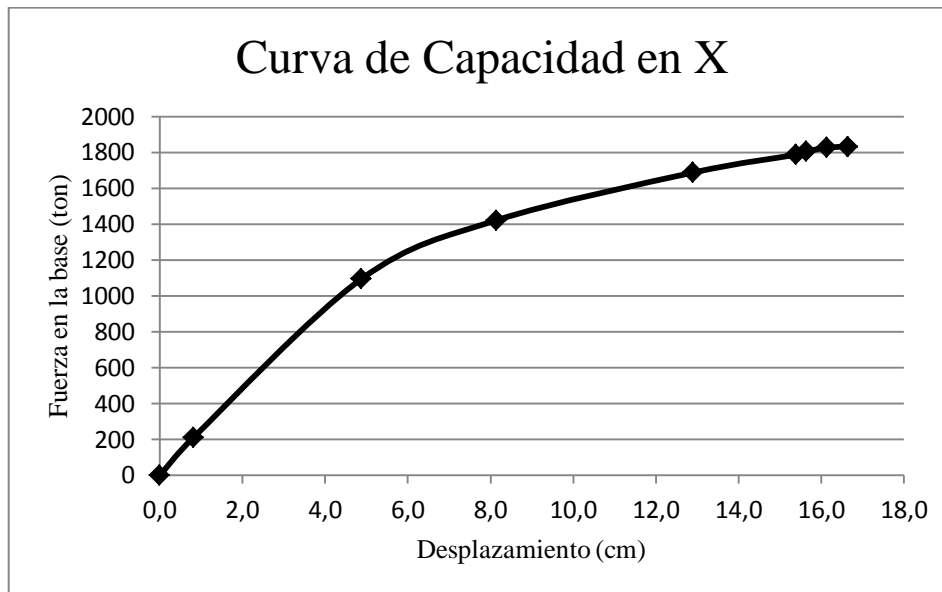


Figura 4. 22. Curva de Capacidad en sentido X

Fuente: Autor

**Tabla 4. 34: Valores representativos de la curva de capacidad en sentido Y.**

Paso	Desplazamiento (cm)	Fuerza en la base (ton)
0	0,0263	0
1	0,1484	61,22
2	4,158	1257,17
3	6,8976	1707,17
4	10,7946	2034,43
5	10,8451	2018,80

Fuente: autor

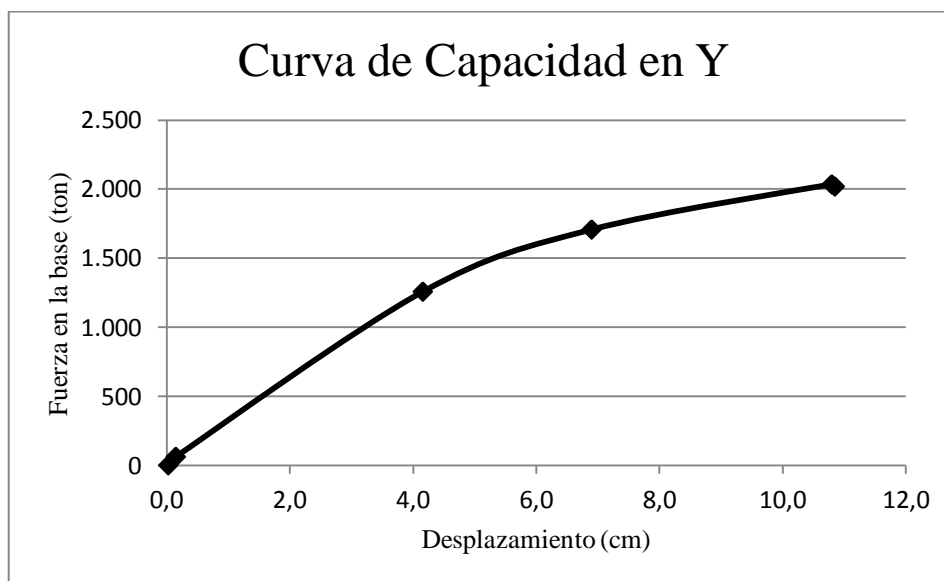


Figura 4. 23. Curva de Capacidad en sentido Y  
Fuente: Autor.

De acuerdo a los resultados reflejados en las gráficas anteriores la estructura es más resistente en su eje global Y, alcanzando el mecanismo de colapso a los 10.84cm de desplazamiento correspondiente a la aplicación de una fuerza equivalente a 2018 ton, por otro lado el eje global X alcanza el colapso bajo efectos de una fuerza lateral igual a 1826 ton que a su vez desplaza la estructura 16.14cm. Estos resultados coinciden con los valores indicados por Romero y Souki (2017) en su trabajo de grado, en dicha evaluación estructural se concluye que la estructura en cuestión va a fallar para un sismo en dirección X.

#### 4.3. Construcción de las Curvas de fragilidad de la estructura.

Una vez obtenidas las curvas de capacidad se procede a aplicar paso a paso la metodología planteada por HAZUS-FEMA, para así dar cumplimiento al objetivo planteado en el capítulo I.

##### 4.3.1. Espectros de Capacidad por sentido de análisis

**Tabla 4. 35: Valores representativos del espectro de capacidad en sentido X.**

Paso	Desplazamiento Espectral Sd (cm)	Aceleración Espectral Sa ( $m s^2$ )
0	0	0
1	0,671	0,411
2	4,007	2,092
3	6,738	2,727
4	10,711	3,207
5	12,808	3,420
6	13,013	3,439
7	13,443	3,481
8	14,013	3,520

Fuente: autor

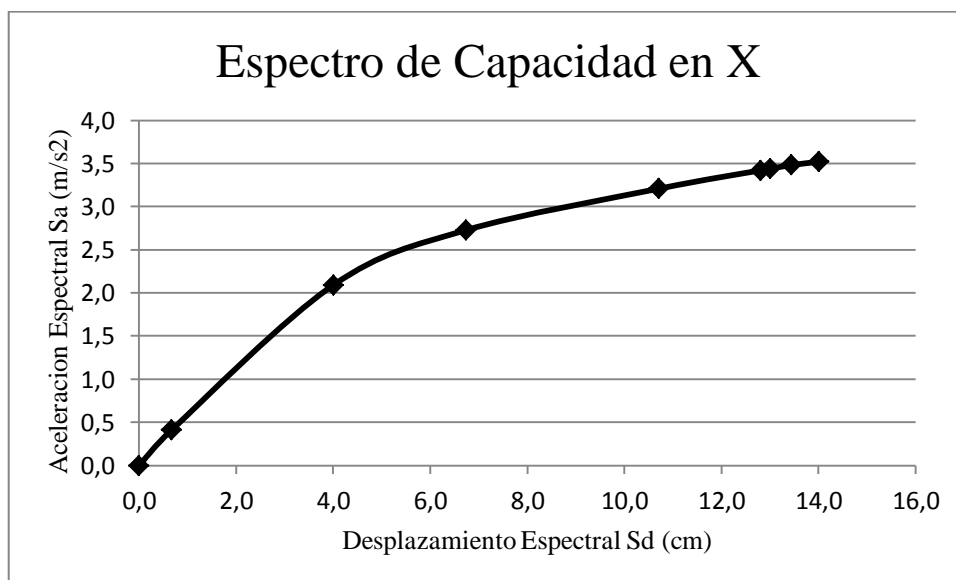


Figura 4. 24. Espectro de Capacidad en sentido X

Fuente: Autor.

**Tabla 4. 36: Valores representativos del espectro de capacidad en sentido Y.**

Paso	Desplazamiento Espectral Sd (cm)	Aceleración Espectral Sa ( $m s^2$ )
0	0	0
1	0,148	0,124
2	3,491	2,537
3	5,711	3,516



Paso	Desplazamiento Espectral $S_d$ (cm)	Aceleración Espectral $S_a$ ( $m\ s^2$ )
4	9,245	4,525
5	9,340	4,324

Fuente: autor

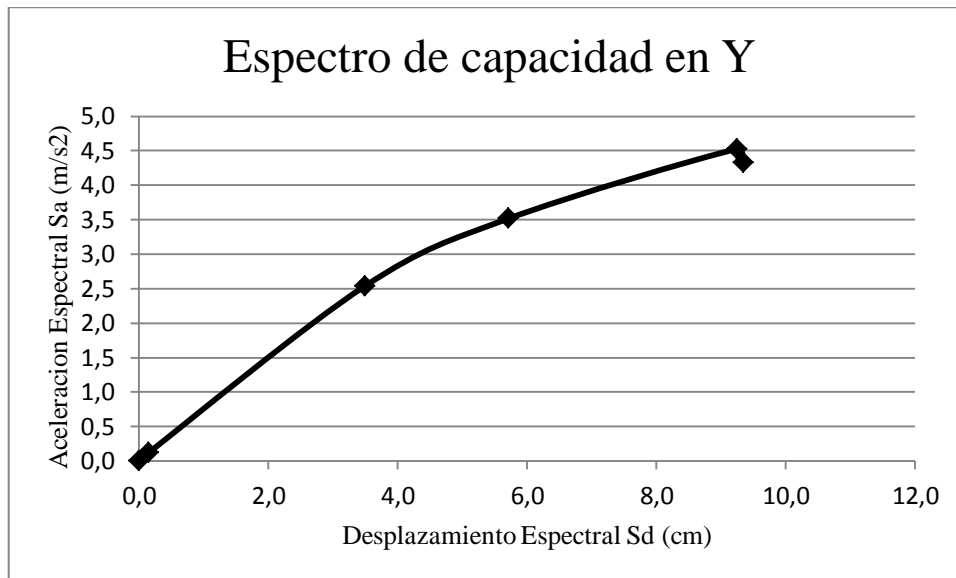


Figura 4. 25. Espectro de Capacidad en sentido Y

Fuente: Autor.

#### 4.3.2. Espectros bilineales de capacidad, por sentido de análisis

**Tabla 4. 37: Valores que definen el espectro bilineal de capacidad en sentido X.**

Capacidad Cedencia		Capacidad Última	
Dy (cm)	Ay ( $m\ s^2$ )	Du (cm)	Au ( $m\ s^2$ )
2,985	2,112	14,013	3,520

Fuente: autor

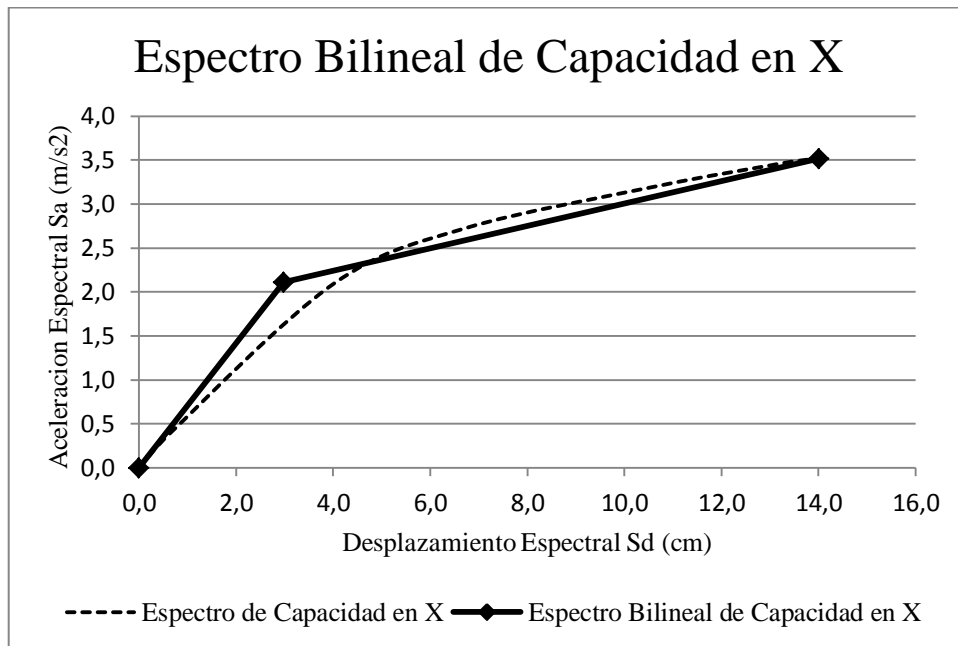


Figura 4. 26. Espectro bilineal de capacidad en sentido X  
Fuente: Autor.

**Tabla 4. 38: Valores que definen el espectro bilineal de capacidad en sentido Y.**

Capacidad Cedencia		Capacidad Última	
Dy (cm)	Ay ( $m s^2$ )	Du (cm)	Au ( $m s^2$ )
2,787	2,594	9,340	4,324

Fuente: autor

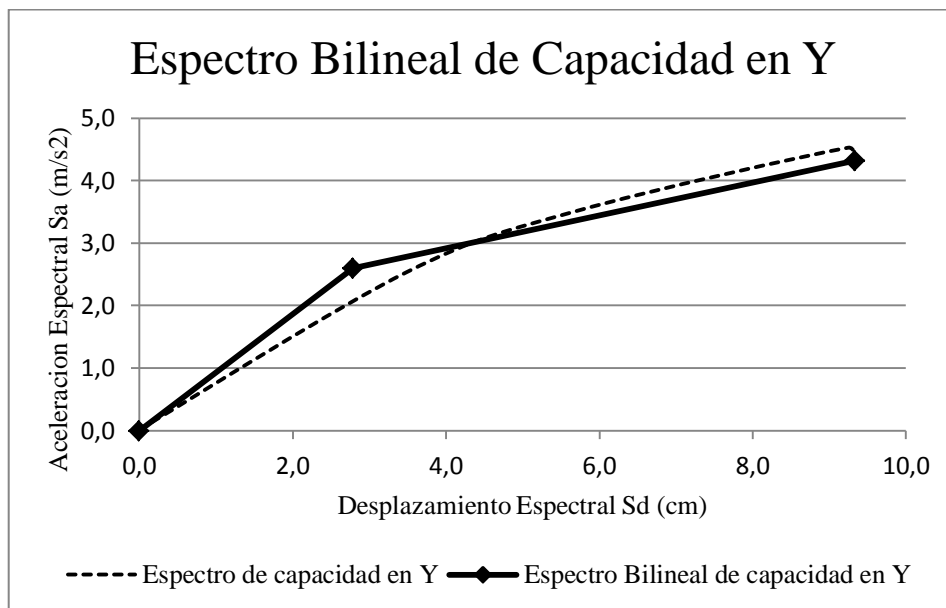


Figura 4. 27. Espectro Bilineal de Capacidad en sentido Y.  
Fuente: Autor.

#### 4.3.3. Umbrales de los Estados de daño

A través de los espectros anteriormente descritos se procedió a aplicar las fórmulas que definen los estados de daño, para así obtener los desplazamientos espectrales que los caracterizan.

##### Análisis en sentido X

1) Daño Leve:

$$Sd_1 = 0,70 Dy$$

$$Sd_1 = 0,70 \cdot 2,985$$

$$Sd_1 = 2,0895 \text{ cm}$$

2) Daño Moderado:

$$Sd_2 = Dy$$

$$Sd_2 = 2,985 \text{ cm}$$

3) Daño Severo:

$$Sd_3 = Dy + 0,25 Du - Dy$$

$$Sd_3 = 2,985 + 0,25 \cdot 14,013 - 2,985$$

$$Sd_3 = 5,742cm$$

4) Daño Completo

$$Sd_4 = Du$$

$$Sd_4 = 14,013cm$$

### **Análisis en sentido Y**

1) Daño Leve:

$$Sd_1 = 0,70 Dy$$

$$Sd_1 = 0,70 \cdot 2,787$$

$$Sd_1 = 1,951cm$$

2) Daño Moderado:

$$Sd_2 = Dy$$

$$Sd_2 = 2,787cm$$

3) Daño Severo:

$$Sd_3 = Dy + 0,25 Du - Dy$$

$$Sd_3 = 2,787 + 0,25 \cdot 9,340 - 2,787$$

$$Sd_3 = 4,425cm$$

4) Daño Completo

$$Sd_4 = Du$$

$$Sd_4 = 9,340cm$$

#### **4.3.4. Desviación Estándar**

De acuerdo a las características de la edificación puede decirse que la misma corresponde a un sistema estructural tipo C3, que describe un edificio de armazón de hormigón con muros de relleno de mampostería sin reforzar (Concrete Frame Buildings with Unreinforced Masonry Infill Walls, C3), a su vez, esta estructura entra en la sub-clasificación “M” (Mid-rise), por su altura, ya que

sobrepasa los 34 ft. En conclusión el módulo de aulas de la universidad de oriente extensión Cantaura es un edificio de tipo C3M según la metodología Hazus adoptada.

Una vez determinado el tipo de edificación, se debe ir a la tabla 5.9 del manual Hazus, para así obtener los valores pre-calculados de la desviación estándar ( $\beta$ ) y la media, dados para los 36 edificios tipificados en esta metodología. Estos valores están agrupados en la siguiente tabla:

**Tabla 4. 39: valores de la desviación estándar (beta,  $\beta$ ) y de la media según la metodología Hazus.**

Estado de Daño	Desplazamiento Espectral (Cm)	
	Beta ( $\beta$ )	Media
Leve	2,159	2,286
Moderado	2,11	4,572
Severo	2,0066	11,43
Completo	2,489	26,67

Fuente: autor

#### 4.3.5. Curvas de Fragilidad de la estructura por sentido de análisis

##### Curvas de fragilidad en sentido X

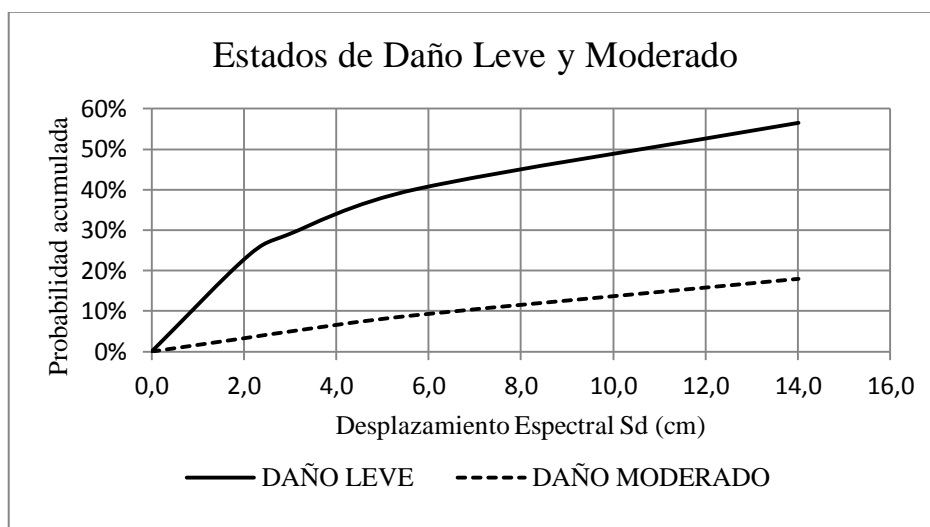


Figura 4. 28. Curvas de fragilidad de la estructura en sentido X para los estados de daño Leve y Moderado

Fuente: autor

### Curvas de fragilidad en sentido Y

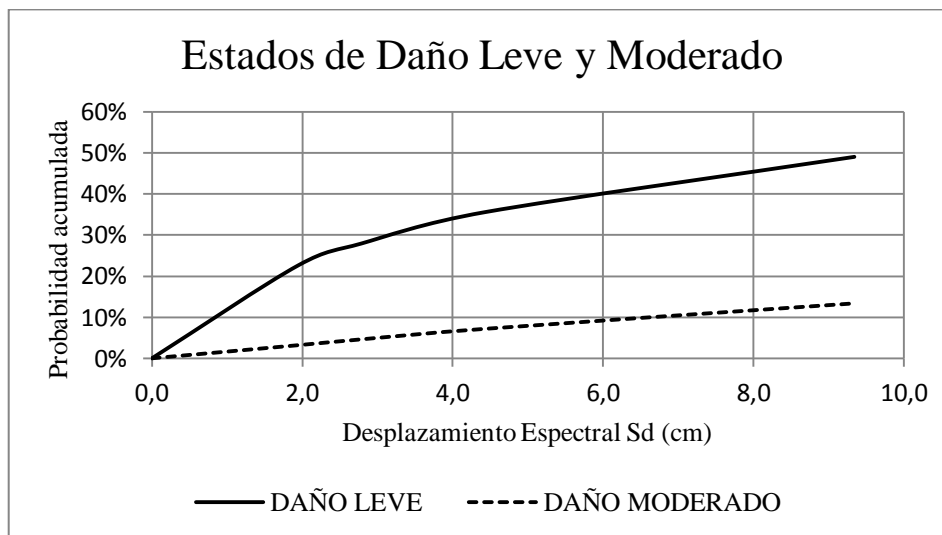


Figura 4. 29. Curvas de fragilidad de la estructura en sentido Y para los estados de daño Leve y Moderado  
Fuente: autor

### Interpretación de las curvas

Las curvas de fragilidad se expresan como la probabilidad acumulada de alcanzar o superar un determinado estado de daño para una tipología estructural dada o en el caso de esta investigación para un edificio en particular, y el parámetro adoptado para definir la intensidad sísmica es el desplazamiento espectral de la estructura. El resultado obtenido es una gráfica cuyo eje horizontal representa el desplazamiento y la probabilidad de que dicho desplazamiento exceda un cierto estado de daño puede observarse en el eje vertical de dicha gráfica.

Para el análisis realizado en el sentido X global del módulo de aulas de la Universidad de Oriente extensión Cantaura, puede observarse que de manera general, la probabilidad de que la estructura sufra daños leves después de la ocurrencia de un terremoto no sobrepasa 60%, por otro lado los resultados obtenidos para el estado de daño moderado reflejan que la probabilidad no excede 20%. Considerando los desplazamientos observados en la gráfica 4.28, para un desplazamiento de 6cm la estructura tiene 10% de probabilidad de sufrir daños

moderados y 40% de que el sistema estructural tenga daños leves en sus elementos.

Tomando como referencia la figura 4.29 que muestra los resultados obtenidos para el análisis en sentido Y, se puede decir que la probabilidad de daño leve en la estructura no supera 50%, y por otro lado el daño moderado refleja valores por debajo de 15%, lo que indica que la estructura es más resistente en este sentido tomando como punto comparativo los resultados del análisis en sentido X, por último para un desplazamiento de 4cm la estructura tiene 8% de probabilidad de presentar daños moderados mientras que para el mismo desplazamiento es 34% probable que los daños sean leves.

Los estados de daño Severo y Completo para los análisis en ambos sentidos, arrojaron probabilidades máximas por debajo de 0.006% y  $2.37 \times 10^{-20}$ % respectivamente, por lo tanto no fueron reflejadas en las gráficas ya que sería imposible apreciarse estos valores en comparación con los allí graficados.

#### **4.4. Guía introductoria para la elaboración de curvas de fragilidad en edificaciones.**

A continuación se describirán una serie de actividades o tareas agrupadas en 4 etapas, que son necesarias para la realización de las curvas de fragilidad de una edificación. Cabe destacar que esta lista en particular, está fundamentada en el procedimiento ejecutado en este proyecto, sin embargo puede ser aplicada a cualquier otra estructura para la cual sea requerida.

##### **4.4.1. Etapa I: Actividades Previas.**

- **Revisión de los planos estructurales:** esta etapa representa el inicio de todo el proceso de análisis de una estructura, por lo cual es necesario que se realice el estudio general de los planos obtenidos, ello para tener conocimiento de variables como: tipo de estructura que se analizara, materiales utilizados, tipo de secciones, uso de la edificación, entre otros.

- **Identificación de las secciones de los elementos estructurales:** una vez revisado los planos estructurales, es importante identificar de manera precisa las dimensiones de cada elemento estructural (vigas, columnas, losas, entre otros.). Se debe verificar que en cada corte de sección este representado de manera fiel las características del elemento. Ésta revisión se debe realizar haciendo énfasis en las áreas de acero y dimensiones de cada elemento. En caso de encontrar alguna disparidad o diferencia, se recomienda dibujar una nueva sección en la cual se represente de manera exacta las características reales del elemento en particular. Todo esto con la finalidad de que el modelado de la estructura se realice de la manera más precisa posible ya que alguna irregularidad entre los planos y el modelo computarizado representaría variaciones significativas en los resultados obtenidos.
- **Crear el espectro elástico de respuesta de la estructura:** consiste en construir una gráfica que represente la reacción de una estructura bajo efectos de una vibración del suelo que la soporta, para ello son necesarios ciertos datos como, el tipo de suelo, el tipo de estructura, la zona sísmica correspondiente al lugar donde se encuentra cimentada la estructura, la clasificación de la misma dependiendo de su uso, el nivel de diseño, entre otros.

#### **4.4.2. Etapa II: Modelado de la estructura y análisis modal con el Programa Sap2000.**

La lista de actividades que se describirán a continuación son aplicables para el programa comercial Sap2000 versión 19. Cabe destacar que este programa no varía en gran medida entre sus versiones más cercanas, sin embargo, pueden existir diferencias notorias entre una versión u otra.

- **Definir la geometría de la edificación:** una manera sencilla de realizar esta tarea es, utilizar las plantillas predefinidas que el programa ofrece en su menú de opciones, para posteriormente personalizarla de acuerdo a las características de la estructura que se pretende analizar. De igual modo



utilizando esta opción se pueden definir las unidades con las cuales se trabajara en dicho análisis bien sean, metros (m), centímetros (cm), kilogramos (Kg), toneladas (Ton), entre otras.

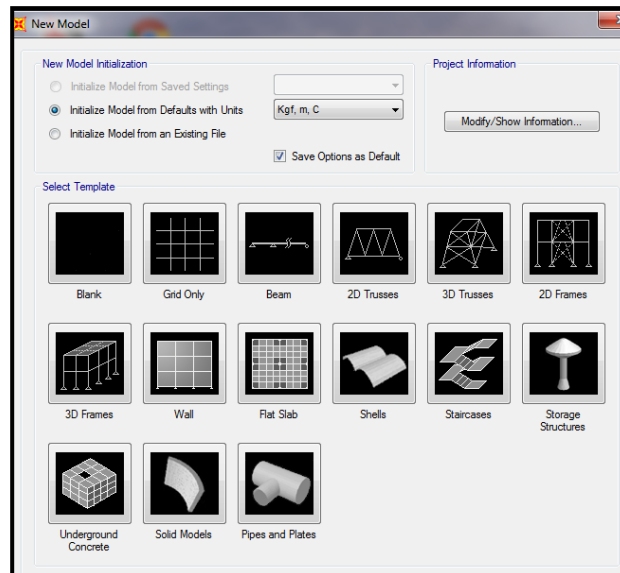


Figura 4. 30. Menú de opciones del programa Sap2000 para establecer las características de un modelo nuevo.

Fuente: Programa Sap2000 v19.1

- **Asignar el tipo de restricciones** en los nodos de las cimentaciones, así como también, en los nodos de niveles superiores.
- **Definir el material estructural** con el cual está construida la edificación en particular, cargando en el programa mediante su menú de opciones, las propiedades intrínsecas de cada material utilizado, como por ejemplo, la resistencia  $f'c$  del concreto, la resistencia  $fy$  del acero, los módulos de elasticidad de ambos materiales, entre otros.

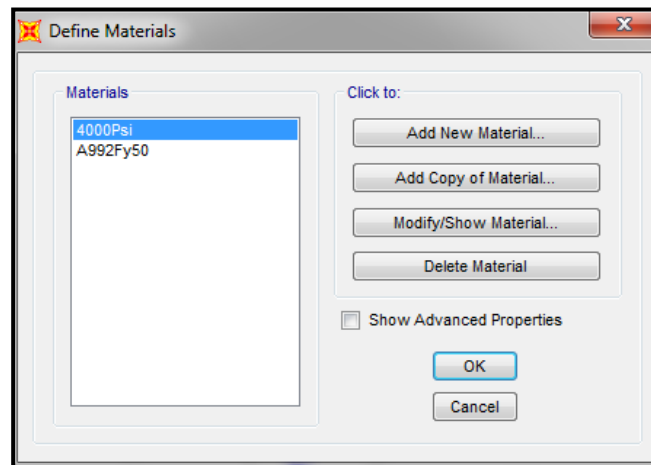


Figura 4. 31. Menú de opciones del programa Sap2000 para definir los materiales de la estructura.  
Fuente: Programa Sap2000 v19.1

- **Cargar las secciones de los elementos:** esta actividad es muy importante, ya que en esta etapa se deben crear las distintas secciones de los elementos estructurales que se encuentran en la edificación (vigas, columnas, perfiles estructurales, entre otros), para lo cual es necesario tener bien identificados datos como, áreas de acero, dimensiones y recubrimiento para el caso particular de columnas y vigas.

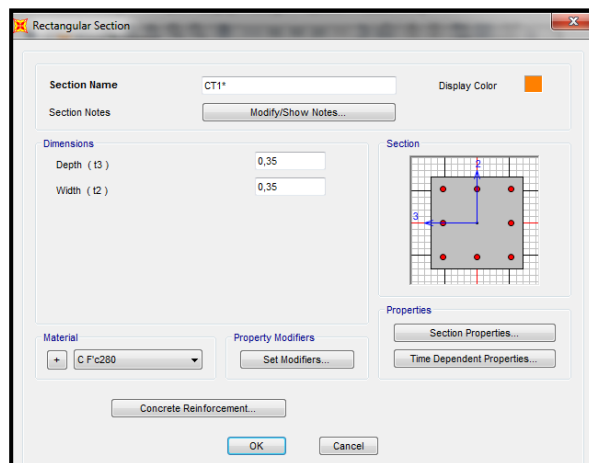


Figura 4. 32. Menú de opciones del programa Sap2000 para asignar propiedades y dimensiones a las secciones estructurales.  
Fuente: Programa Sap2000 v19.1

- **Colocar el sistema de losas de cada nivel:** se realiza del mismo modo que las tareas anteriormente descritas, es decir, mediante el menú de opciones

que ofrece el programa Sap2000, se define el área con el espesor y las características deseadas, para luego proceder a asignarlas a los entresijos o techos de la estructura que se analizará.

- **Definir los patrones de carga a utilizar:** Toda estructura es diseñada considerando 3 estados o patrones de carga, definidas por la variación en el tiempo de la intensidad con la que actúan sobre dicha estructura. Se distinguen así las cargas muertas, las cargas vivas y las cargas accidentales.

La norma venezolana (COVENIN 2002), define las cargas muertas como las acciones permanentes que actúan sobre la edificación, de manera continua e invariable en el tiempo, como por ejemplo, las cargas ocasionadas por el peso propio de los elementos estructurales y no estructurales (paredes, frisos, rellenos, instalaciones, entre otros.). Así mismo define las cargas vivas, como las acciones que actúan sobre la edificación con una magnitud variable en el tiempo y que están definidas según su uso habitual u ocupación, como por ejemplo, las cargas de personas, objetos, vehículos, ascensores, entre otras.

Todas estas posibles cargas, están establecidas en la norma Venezolana COVENIN 2002, y su determinación obedece estudios estadísticos que permitieron describirlas probabilísticamente. En la figura 4.33 se puede observar la ventana de opciones de Sap2000 que permite la creación de los diferentes casos de carga requeridos.

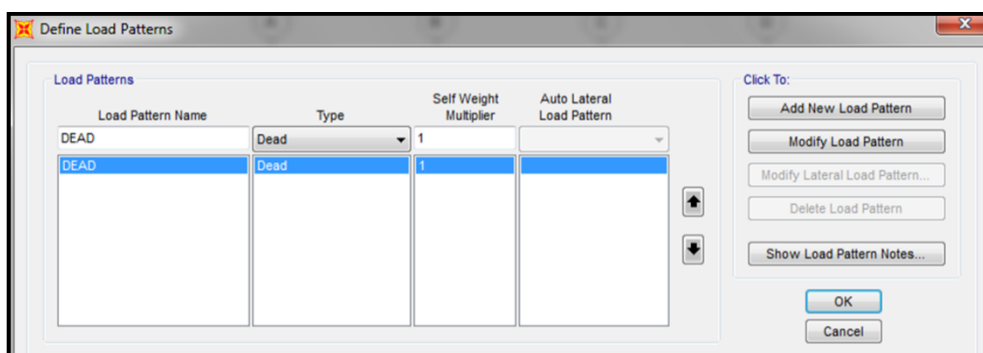


Figura 4. 33. Menú de opciones del programa Sap2000 para crear los patrones de carga.  
Fuente: Programa Sap2000 v19.1

- **Asignar cargas a las losas:** una vez definidas todas las cargas permanentes y variables que actúan sobre la edificación, se debe establecer cada acción, en la losa particular en la cual actúa. Es un proceso sumamente sencillo sin embargo es recomendable estar atento para evitar cometer cualquier equivocación, ya que esto ocasionaría variaciones considerables en los resultados finales del análisis.

En esta etapa se deben considerar los ejes en los cuales será aplicada la carga, ya que el programa te ofrece 2 opciones, eje global que son las coordenadas de toda la estructura y el eje local que depende de la orientación que el usuario le asignó a algún miembro en particular, se recomienda utilizar el eje global para asignar todas las cargas sin embargo en los casos de losas inclinadas se debe utilizar el eje local, y a su vez asegurarse de que los dos ejes mencionados (Global y Local) coincidan. Dependiendo del tipo de carga que sea requerida el programa te ofrece ciertas opciones, la gravitacional, la uniforme hacia los marcos, la uniforme, entre otros.

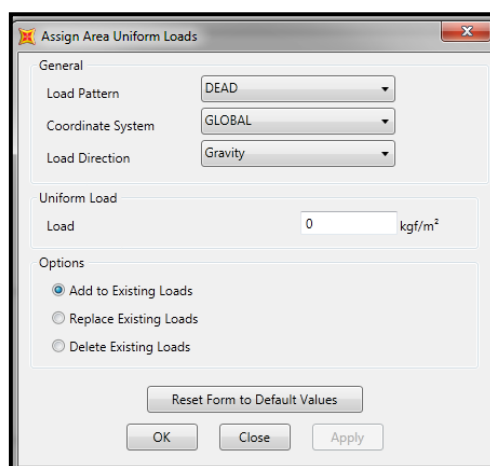


Figura 4. 34. Menú de opciones del programa Sap2000 para asignar a un área la carga uniforme.  
Fuente: Programa Sap2000 v19.1

- **Establecer los casos de carga:** Un caso de carga define la manera en la cual los patrones de carga previamente definidos serán aplicados a la estructura, así como también define como será calculada la respuesta estructural de la edificación, y por consiguiente es indispensable definir los

casos de carga que actuaran sobre la edificación ya que los patrones de carga por si mismos no crean respuesta alguna en la estructura (desviaciones, tensiones, entre otros), tomando en cuenta la normativa vigente, en la cual se establecen los factores que escalaran dichas cargas en las combinaciones que se crearan.

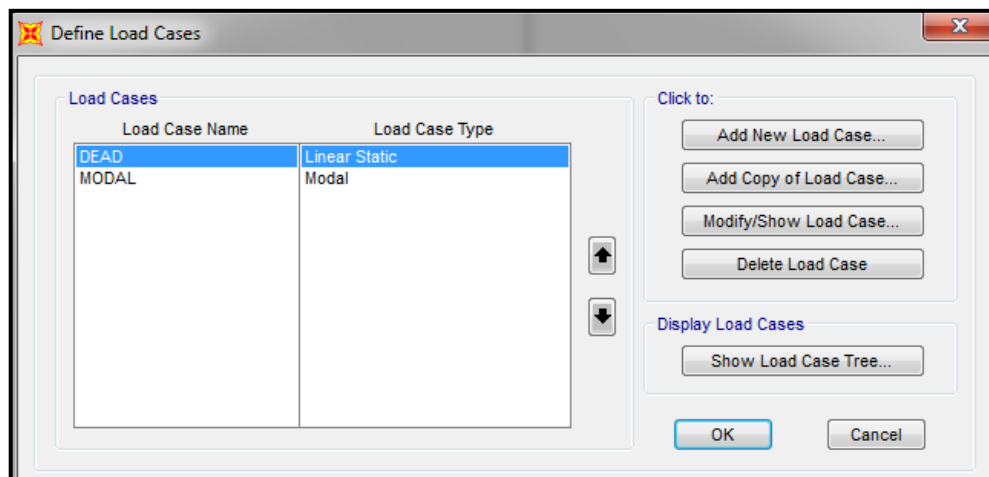


Figura 4. 35. Menú de opciones del programa Sap2000 para establecer los casos de carga.  
Fuente: Programa Sap2000 v19.1

- Definir las combinaciones de carga:** Una combinación de carga es la suma o envolvente de los resultados del análisis de ciertos casos de carga, es decir, es la suma de las cargas que posiblemente actuarán sobre la estructura durante el análisis multiplicadas por los factores de mayoración correspondientes.

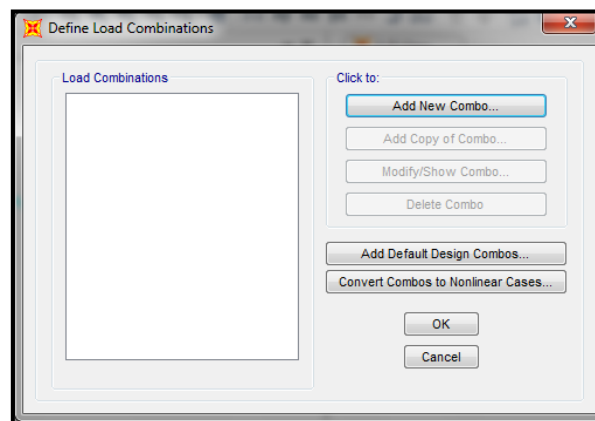


Figura 4. 36. Menú de opciones del programa Sap2000 para establecer las combinaciones de carga.  
Fuente: Programa Sap2000 v19.1

- **Ingresar el espectro elástico de diseño de la estructura:** una vez definido el espectro de respuesta de la edificación, se debe ingresar al programa mediante la opción de definir funciones, “Espectro de Respuesta” (Response Spectrum). Los datos a ingresar son las ordenadas y abscisas de la gráfica que previamente fue creada.

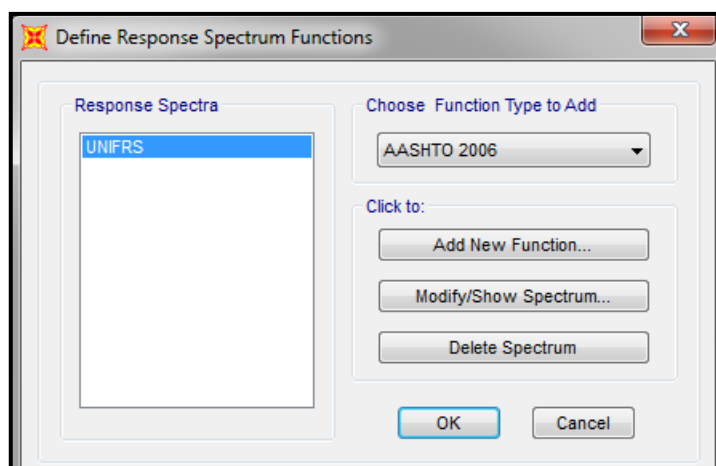


Figura 4. 37. Menú de opciones del programa Sap2000 para insertar el espectro de diseño de la estructura.

Fuente: Programa Sap2000 v19.1

- **Definir las combinaciones de efectos para el caso de carga sísmica:** En cuanto a la realización de un análisis estructural, la energía liberada durante un terremoto se expresa en forma de tres registros de aceleración: dos horizontales y uno vertical. En estos análisis de la respuesta de una edificación, una vez que se consideran las componentes sísmicas de forma individual es necesario combinar sus efectos, lo cual ha sido implementado por muchos códigos a nivel mundial.

La norma COVENIN 1756 en el capítulo 8, específicamente en el artículo 8.6, establece 3 criterios para realizar esta combinación de efectos, los cuales son:

- La raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las solicitaciones correspondientes a cada dirección del sismo (RCSC), o conocida en la literatura internacional como Square Root Sum Squares (SRSS), por sus siglas en inglés.

- La regla 100-30 que establece que, se debe considerar el valor absoluto de las solicitaciones debidas a sismo en una dirección, más 0,30 del valor absoluto de las solicitaciones debidas a sismo en la dirección ortogonal y viceversa.
- El criterio CQC3, se considera una extensión del criterio de la combinación cuadrática completa (CQC). Este criterio considera todas las posibles direcciones de las componentes sísmicas horizontales junto con la relación de intensidades entre ellas.

Para el caso de carga “Sismo” se puede utilizar cualquier método de combinación, de los previamente descritos, sin embargo se recomienda utilizar el método SRSS para la combinación direccional y el CQC para la combinación modal, debido a que una combinación SRSS (Raíz cuadrada de la suma de los cuadrados) de dos análisis espectrales al 100% respecto a cualquier definición ortogonal de ejes, definidas por el usuario, producirá fuerzas de diseño que no son función del sistema de referencia y como resultado se obtiene un diseño estructural que tendrá igual resistencia a los movimientos sísmicos en todas las direcciones (López, 2009). En otras palabras este criterio de combinación direccional permite asumir un único sismo direccionado de manera diagonal a la edificación, lo que a su vez se podría considerar como la componente horizontal del sismo más desfavorable.

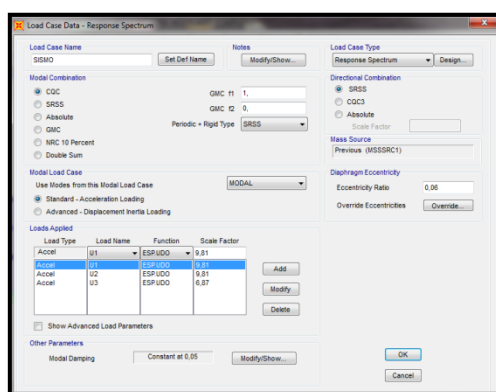


Figura 4. 38. Menú de opciones del programa Sap2000 para definir la combinación de efectos del caso de carga sísmica.

Fuente: Programa Sap2000 v19.1

- **Asignar las fuentes de masa para las cargas:** en esta tarea se le debe indicar al programa de qué manera calculara las masas del modelo que se analizara por lo cual es necesario especificar cuáles factores escalaran las cargas permanentes y variables de la edificación. Estos factores dependen del porcentaje de las cargas permanentes y variables que se consideran al momento de analizar sísmicamente una edificación, y están establecidos en las normas.

Se debe escoger la opción de especificar patrones de carga, para así detallar cómo SAP2000 debe calcular la masa para el modelo, a su vez es indispensable asignarle el factor multiplicador establecido en la norma para cada tipo de carga ingresada.

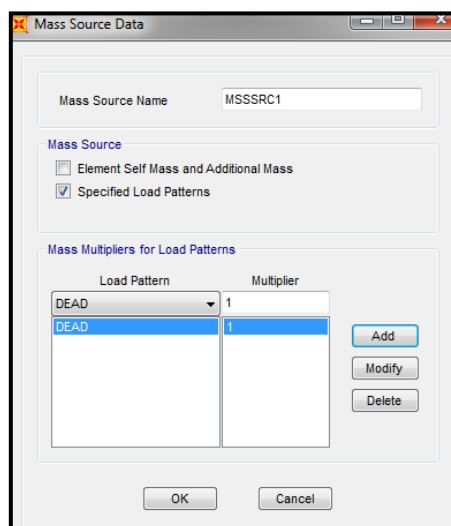


Figura 4. 39. Menú de opciones del programa Sap2000 para asignar las cargas a la fuente de masa de la estructura.

Fuente: Programa Sap2000 v19.1

- **Realizar un análisis modal de la estructura:** se corre el análisis para obtener datos fundamentales que caracterizan la estructura en base a sus propiedades dinámicas como por ejemplo, factores de participación modal, factores de participación de masa, periodos de vibración, entre otros. En la pantalla que se muestra en la figura 4.40, se pueden elegir cuales casos de carga serán corridos al momento del análisis. Por lo general suelen ser



escogidos los casos de carga muerta o permanente, cargas variables o vivas, cargas por acciones sísmicas y por supuesto el caso de carga modal.

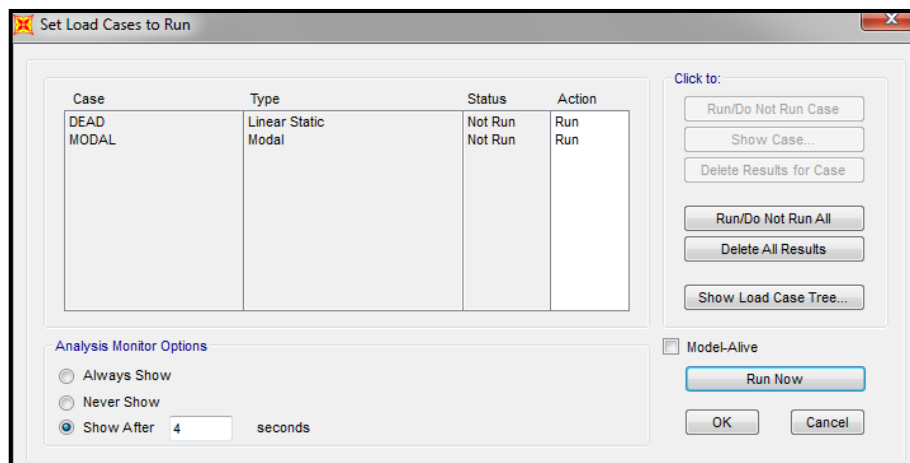


Figura 4. 40. Menú de opciones del programa Sap2000 para escoger los casos de carga para el análisis.

Fuente: Programa Sap2000 v19.1

#### 4.4.3. Etapa III: Análisis de Capacidad Pushover

Esta etapa corresponde a la aplicación de cargas laterales a distintos miembros estructurales, para observar una secuencial formación de rotulas plásticas en la estructura, y de este modo determinar la capacidad resistente de la misma, que posteriormente será comparada con la demanda posible ante un evento natural.

- **Crear los nuevos patrones de carga**, que serán utilizados en los análisis de capacidad en ambos sentidos, es decir, para el análisis de capacidad en X se debe crear, el patrón de carga Pushover y el patrón de carga gravitacional no lineal, del mismo modo ocurre para el análisis de capacidad en Y. Ambos deben ser de tipo no lineal, sin embargo para el caso de carga gravitacional no lineal, se debe indicar en las opciones del menú Sap2000, que las condiciones iniciales de dicha carga inicien desde cero, es otras palabras, deben iniciar desde un estado no deformado de la estructura. Para el caso de la carga Pushover las condiciones iniciales deben partir del caso de carga gravitacional no lineal que corresponda al análisis en un sentido en particular.

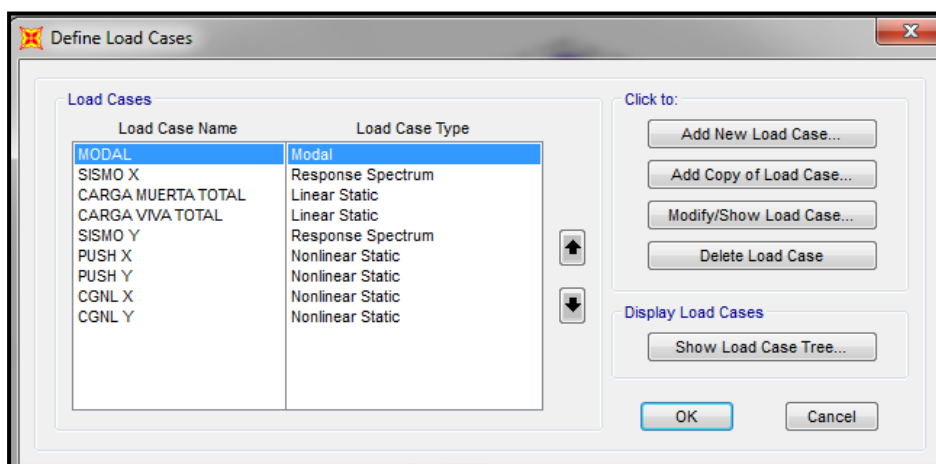


Figura 4. 41. Menú de opciones del programa Sap2000 para modificar los casos de carga aplicados a la estructura.

Fuente: Programa Sap2000 v19.1

- **Calcular las fuerzas que serán aplicadas a los miembros estructurales:** se realiza con las formulas indicadas en el ATC-40 en la cual se relacionan datos como, el peso total y por nivel de la edificación, la altura total y por nivel de la edificación y por último el cortante basal obtenido del análisis modal previamente realizado.
- **Ubicar los pórticos y aplicarles la carga calculada en el paso anterior.** Las cargas se aplican directamente en el centro de masa de la estructura, pero en los casos particulares donde no sea posible ubicar dicho punto, se puede manejar la metodología utilizada en esta investigación, la cual indica cómo aplicar las cargas a los diferentes pórticos en cada sentido en particular, mediante la previa determinación del aporte porcentual de rigidez que dicho pórtico proporciona a la rigidez total de la edificación.
- **Establecer el mecanismo de generación de rotulas plásticas:** este procedimiento se le aplica únicamente que a los elementos principales de la estructura (vigas y columnas), y se realiza por separado, es decir, se debe seleccionar inicialmente las columnas y asignarle las características a la rótula mediante el menú de opciones que ofrece el programa. El Sap2000 (versión 19.1), de manera automática, tiene precargados los parámetros presentados por el FEMA 356 para la formación de rotulas plásticas que pueden ser utilizados perfectamente para el análisis de alguna

estructura, sin embargo, si el caso amerita personalizar estos parámetros, también es posible realizarlo mediante la definición previa de las propiedades de las rótulas a través el menú de “Definir” (Define).

Para el caso particular de las vigas es necesario trabajar por separado las vigas que se encuentran en el sentido X y en el sentido Y de la edificación ya que al momento de indicar el estado de carga se debe especificar el patrón de carga gravitacional no lineal correspondiente al sentido donde se encuentre dicha viga, es decir, para las vigas en sentido X se debe utilizar el caso de carga CGNLX, y del mismo modo ocurre con las vigas en sentido Y.

Por último, es importante establecer el porcentaje de la longitud en la cual se estima que se genere la rótula plástica. Para vigas y columnas se recomienda utilizar el 5% y el 95% de la longitud del elemento para de esta manera evitar que las rótulas de las vigas y columnas puedan coincidir al momento del análisis.

- **Realizar el Análisis no Lineal:** se procede a correr el análisis para los casos de carga MODAL, CGNLX, PUSHX, CGNLY y PUSHY, para así obtener las curvas de capacidad en ambos sentidos, al igual que otros datos como los espectros de capacidad, el Performance Point, los espectros de demanda, entre otros.

#### 4.4.4. Etapa IV: Construcción de las curvas de fragilidad de la edificación

- **Espectro de Capacidad:** Una vez obtenida la curva de capacidad de la estructura mediante el análisis Pushover de la misma, se deben transformar los valores de cortante (eje de ordenadas), y desplazamiento en la parte superior (eje de abscisas), a coordenadas espectrales para así obtener el espectro de capacidad. Esta conversión se realiza transformando punto por punto la curva de capacidad, mediante la aplicación de las ecuaciones 3 y 4 descritas en el capítulo II: en donde  $S_a$ , es la aceleración espectral y  $S_d$  corresponde al desplazamiento espectral.

En particular, si se trabaja con programas de análisis estructural, no es necesario realizar esta conversión ya que, algunos software (Sap2000, ETABS, entre otros), proporcionan el espectro de capacidad de manera directa.

- **Expresar el espectro de capacidad en un formato bilineal:** al modificar el espectro de esta manera, será más útil definir los estados de daño, mediante la determinación de los puntos  $(Dy, Ay)$  y  $(Du, Au)$ , que corresponden a la fluencia y al colapso de la estructura respectivamente. Una manera sencilla de obtener estos valores es tomar como punto de colapso  $(Du, Au)$  los reflejados en el espectro de capacidad de la estructura, luego se define la aceleración cedente  $Ay$  como el 60% de la aceleración última  $Au$ . Obtenidos 3 de los 4 puntos necesarios para hallar la curva, se procede a determinar mediante tanteo el desplazamiento cedente  $Dy$ , es decir, se debe ir modificando este valor hasta encontrar que las áreas por encima y por debajo de la curva sean aproximadamente iguales.
- **Definir los estados de daño:** a partir del espectro de capacidad en su representación bilineal, y tomando los valores  $(Dy, Ay)$  y  $(Du, Au)$ , se definen los desplazamientos espectrales que definen los umbrales de los 4 estados de daño  $Sd_1$ , mediante la aplicación de las formulas 5, 6, 7 y 8, descritas en el capítulo II de esta investigación.
- **Hallar la desviación estándar:** representa un dato indispensable para el cálculo de las curvas de fragilidad y puede obtenerse de dos maneras; la más compleja, sin embargo es la que se adapta más a las características del edificio estudiado, implica la combinación de la variabilidad de la curva de capacidad, la variabilidad del espectro de demanda y la variabilidad asociada con el umbral discreto de cada estado de daño. Por otro lado la más sencilla implica adoptar valores pre-calculados para 36 tipos de edificaciones establecidos en la metodología Hazus FEMA.

- **Graficar las Curvas de Fragilidad de la estructura para cada estado de Daño:** Ésta actividad es la más sencilla ya que implica la programación con el software Excel de la fórmula que define las curvas de fragilidad, utilizando los valores de la desviación estándar y la media obtenidos en el paso anterior. Una vez realizado el cálculo se grafican las curvas de cada estado de daño, para así tener una mejor comprensión de los datos arrojados.

En estas curvas, el eje horizontal de las abscisas representa el desplazamiento en cm, mientras que el eje vertical corresponde a la probabilidad de que para un desplazamiento dado la estructura presente daño leve, moderado, severo o completo.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### **5.1. Conclusiones.**

Una vez desarrollada la investigación, acatando lo establecido en la metodología adoptada y cumpliendo con los requerimientos de las distintas normas vigentes descritas en los capítulos anteriores, se obtuvieron los resultados de los cuales se pudo establecer las conclusiones que a continuación se mencionan.

- La determinación de la vulnerabilidad estructural mediante métodos probabilistas es una técnica de amplia aceptación en el país. Esto está avalado por los resultados obtenidos en los estudios enmarcados en el estado del arte descrito anteriormente, los cuales indican que esta técnica conocida como curvas de fragilidad, es útil para predecir de manera confiable los posibles daños que sufrirá una estructura bajo acciones sísmicas. A pesar de esto, son escasos los documentos que describan de manera detallada la elaboración de dichas curvas lo que complico significativamente el desarrollo de esta investigación, por último se pudo constatar que no existe investigación alguna en la cual se aplique la metodología de las curvas de fragilidad para evaluar edificaciones en su fase de diseño.
- Para inicialmente establecer la capacidad del módulo de aulas de la Universidad de Oriente-Extensión Cantaura, se adoptó una metodología sencilla conocida como método Pushover. Este método se basa en la aplicación de cargas de empuje lateral que van aumentando gradualmente hasta que la estructura alcance un estado de colapso por la formación de rotulas plásticas o hasta que el desplazamiento monitoreado a través del nodo de control supere el límite establecido en la norma que para el caso de esta investigación fue el 4% de la altura total según FEMA 356.

La utilización de este método permite determinar la capacidad resistente de la estructura y compararla con la demanda posible ante un evento natural. En este análisis la demanda depende de factores como la amenaza sísmica o el sitio donde se encuentra ubicada la estructura mientras que la capacidad está ligada a la rigidez, la resistencia y la deformación de cada uno de los miembros de la edificación.

- Debido a que el daño que puede sufrir una edificación, está fuertemente relacionado con la capacidad que dicha estructura tenga al momento de la ocurrencia de un sismo, el Pushover representa una técnica de análisis fundamental para el posterior desarrollo de las curvas de fragilidad, ya que las gráficas obtenidas de este análisis, donde se refleja la capacidad de la estructura, son la base para el establecimiento de los umbrales de los estados de daño que determinan las curvas de fragilidad.
- La capacidad en sentido Y del módulo de aulas de la Universidad de Oriente-Extensión Cantaura refleja que el colapso de la estructura se alcanza para un desplazamiento último de 10,84 cm al aplicarse una fuerza de 2018,80 ton, por otro lado el colapso de la misma para el análisis en sentido X se alcanza al desplazarse la edificación 16,144 cm correspondiente a una fuerza lateral de 1826,01 ton. Por lo tanto se puede decir que el eje global “Y” de la estructura tiene mejor desempeño que el eje “X” de análisis.
- Se determinó que la construcción de la curva de capacidad, es muy sensible a la distribución horizontal de carga que se decida aplicar, por lo tanto la dificultad radica en la incertidumbre en torno a la selección del tipo de distribución horizontal (triangular, uniforme o invertida) que se utilizara para el análisis, ya que no existe teoría alguna que fundamente el uso de alguna en específico.
- El procedimiento realizado para desarrollar las curvas de fragilidad del módulo de aulas de la UDO extensión Cantaura, está fundamentado en lo establecido por el ATC-40, el cual establece la comparación de la demanda sísmica del sitio con la capacidad intrínseca de la estructura estudiada.

- La definición de la acción sísmica es uno de los pasos más importantes en el desarrollo de las curvas de fragilidad ya que ésta representa los posibles movimientos a los que va a estar sometida la edificación a lo largo de su vida útil, para el desarrollo de la metodología adoptada en esta investigación se utilizó un espectro elástico de diseño, elaborado bajo los criterios establecidos en la norma COVENIN 1756-2001, y que representa la posible amenaza sísmica para el sitio donde se encuentra la estructura estudiada.
- A pesar de que el método empleado para la determinación de la capacidad de la estructura implica un análisis matemático de la estructura en cuestión, el método pierde severidad al momento de determinar los estados de daño ya que estos umbrales están basados en opiniones de expertos, es decir, las formulas desarrolladas para obtener los umbrales de los estados de daño se basan en factores subjetivos.
- Las curvas de fragilidad obtenidas para el módulo de aulas de la Universidad de Oriente-Extensión Cantaura, reflejan que para el estado de daño leve la probabilidad no supera 60% para ambos sentidos de análisis, a su vez no hay probabilidad por encima de 20% de que el daño en la estructura sea moderado. Para los daños severos y el colapso la probabilidad de excedencia es insignificante, lo que indica que la estructura tiene un nivel de vulnerabilidad moderado.

## **5.2. Recomendaciones.**

- Realizar una propuesta para la aplicación de la metodología de las curvas de fragilidad para evaluar la vulnerabilidad de edificaciones en su fase de diseño.
- Realizar un modelo computarizado de la estructura que cumpla a cabalidad con lo reflejado en los planos estructurales obtenidos previamente, para así asegurar que los resultados sean los adecuados para describir el comportamiento de dicha edificación.



- Evitar el uso del Pushover para el análisis de estructuras irregulares en las cuales los modos de vibración más altos son significativos, ya que este método se fundamenta en la hipótesis de que el periodo fundamental de vibración de la estructura es el que define el comportamiento de la misma.
- Aplicar la metodología propuesta en esta investigación cuando se requiera de un estudio de la vulnerabilidad de un grupo de edificaciones con características similares, ya que a través de este método se puede caracterizar su vulnerabilidad de una manera sencilla y práctica.
- Unificar el criterio de determinación del punto de desempeño ya que existe una gran discrepancia entre los métodos propuestos por el ATC-40 y el establecido en el FEMA 356.
- Ampliar el concepto de la curva bilineal de capacidad, utilizada para el establecimiento de los umbrales de los estados de daño, ya que actualmente no existe un consenso en la comunidad internacional que ratifique el uso de una metodología única para la determinación de los puntos de cedencia y colapso que a su vez son necesarios para graficar la curva antes mencionada.
- Desarrollar estudios que sustenten la determinación de las formulas usadas para obtener los umbrales de los estados de daño, ya que actualmente éstas fórmulas fueron desarrolladas basándose en criterios y factores subjetivos.
- Disminuir la discrecionalidad en la determinación de la desviación estándar mediante la evaluación del comportamiento de edificaciones típicas a nivel local tratando de evaluar posibles elementos que aporten indicios claros en los posibles estados de daño que se esperan para cada sismo en particular.
- Tomar en cuenta los resultados obtenidos en este estudio para elaborar posibles planes de restauración o reforzamiento estructural del módulo de aulas de la Universidad de Oriente-Extensión Cantaura.
- Utilizar la guía propuesta en el capítulo IV como base de consulta para el desarrollo de futuras investigaciones, ya que en ella se especifica de manera detallada el procedimiento necesario para realizar el análisis

Pushover de una edificación, así como también establece el procedimiento para elaborar las curvas de fragilidad de una estructura.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

- Alonso, J. (2007). *Vulnerabilidad sísmica de Edificaciones*. Caracas: Fondo editorial SIDETUR.
- Applied Technology Council. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. California.
- Arias, F. G. (2012). *El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica* (6ta ed.). Caracas, Venezuela: Episteme.
- Arismendi, E. (2013). *Tipo y Diseño de la Investigación*. Obtenido de [http://planificaciondeproyectosemirarismendi.blogspot.com/2013/04/tipos-y-diseño-de-la-investigación\\_21.html](http://planificaciondeproyectosemirarismendi.blogspot.com/2013/04/tipos-y-diseño-de-la-investigación_21.html)
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, (2001). En *Manual de Construcción, Evaluación y Rehabilitación Sísmica Resistente de Viviendas de Mampostería*. San Salvador: LA RED.
- Ávila, G., Cubillos, C., Granados, A., Medina, E., Rodríguez, É., Rodríguez, C., y otros. (2015). *GUÍA METODOLÓGICA para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia y Servicio Geológico Colombiano.
- Barbat, A., & Pajuades, L. (2004). *Evaluación de la Vulnerabilidad y del Riesgo Sísmico en Zonas Urbanas. Aplicación a Barcelona*.
- Bermudez, C. (2010). *Vulnerabilidad Sísmica en Edificios de Acero. Tesis Doctoral*. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Bonett, R. (2003). *Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de Edificios. Aplicación en Entornos Urbanos en Zonas de Amenaza Alta y Moderada. Tesis Doctoral*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.

- Cardona, O. (1993). *Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo*. Recuperado el 2 de Noviembre de 2016, de <http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/html/cap3.htm>
- Chiroiu, L., Goula, X., Roca, A., Susagna, T., Barbat, A., & Pajuades, L. (2001). El metodo del Espectro de Capacidad Aplicado a la Evaluacion de Estados de Daños Sismicos.
- Coronel, G., & Lopez, O. (2013). Metodologia Para la Estimacion de Daños por Sismos en Edificios Escolares de Venezuela Mediante Curvas de Fragilidad. *Revista de la Facultad de Ingenieria U.C.V., Vol 28(Nº 2)*, pp.65-86.
- Coronel, G., Lopez, O., & Betancourt, N. (2010). Evaluacion de niveles de riesgo sismico en escuelas de Venezuela mediante curvas de fragilidad. *Congreso Chileno de Sismologia e Ingenieria Antisismica*. Valdivia Santiago de Chile.
- COVENIN. (2001). *Edificaciones Sismoresistentes , Norma venezolana Covenin 1756:2001*. Caracas, Venezuela: COVENIN, FONDONORMA Y FUNVISIS.
- COVENIN-MINDUR. (2002). *Criterios y acciones minimas para el proyecto de edificaciones 2002-88*. Caracas.
- ENCOVI. (2014). *Vulnerabilidad ciudadana ante las amenazas naturales*. Caracas: Fondo editorial SIDETUR .
- Fernandez. (2003). *Ciudades en Riesgo, Degradacion Ambiental, Riesgo Urbano y Desastres*. Recuperado el 2 de Noviembre de 2016, de [http://www.desenredando.org/public/libros/1996/cer/CER\\_todo\\_ene-7-2003.pdf](http://www.desenredando.org/public/libros/1996/cer/CER_todo_ene-7-2003.pdf)

- FUNVISIS. (2002). *La Investigacion Sismologia en Venezuela*. Caracas, Venezuela: Fundacion Venezolana de Investigaciones Sismologicas (Funvisis).
- Lopez, E. (2009). Efectos ortogonales en la combinacion direccional del analisis dinamico tridimensional. *Seminario tecnico Sidetur 2009*.
- Lopez, O., Marinilli, A., & Coronel, D. (2015). *Reducción del Riesgo Sísmico en Edificaciones Escolares de Venezuela*. Caracas: IMME y FUNVISIS.
- Martínez, J. (2012). *Caracterizacion de la Vulnerabilidad sismica utilizando curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño para algunas tipologias estructurales de hormigon armado. Aplicacion a la ciudad de Valdivia region de los Rios*. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.
- Martinez, S. (2014). Evaluacion de la vulnerabilidad sismica urbana basada en tipologias constructivas y disposicion urbana de la edificacion. Aplicacion en la ciudad de Lorca, Region de Murcia. *Tesis Doctoral*. Madrid.
- Rojas, R., & Coronel, G. (2014). *Curvas de Fragilidad y Vulnerabilidad Sismica del Edificio Residencial Tipo 6M8-66 mediante Analisis Estatico No Lineal*. Caracas: Jornada de Investigacion Facultad de Ingenieria UCV.
- Romero, S., & Souki, Y. (2017). *Evaluación estructural de las patologías del módulo de aulas de la universidad de oriente extensión cantaura*. Cantaura, Anzoategui .
- Salguera, G. (2015). Estudio de Vulnerabilidad Sismica mediante la revision de la capacidad de resistencia y el metodo estatico no lineal, para el Palacio Municipal de Ciudad Sandino, Managua. *Trabajo investigativo para obtener el Titulo de Ingeniero Civil*. Managua, Nicaragua: Universidad Centroamericana.

- Sanchez, N. (2013). *Analisis Estatico No Lineal - Metodo Pushover*. Obtenido de <http://civilgeeks.com/2013/09/18/analisis-estatico-no-lineal-aenl-metodo-pushover/>
- Sandi, H. (1986). Vulnerability and risk analysis for individual structures and systems. *Conferencia Europea de Ingenieria Sismica*.
- Velasquez, J. (2006). Estimacion de Perdidas por Sismo en Edificios Peruanos Mediante Curvas de Fragilidad Analiticas. *Tesis para optar al grado de Magister en Ingenieria Civil*. Lima, Peru: Pontificia Universidad Catolica del Peru.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO**

<b>TÍTULO</b>	ELABORACIÓN DE CURVAS DE FRAGILIDAD PARA EL EDIFICIO DE AULAS DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE, NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI EXTENSIÓN CANTAURA.
<b>SUBTÍTULO</b>	

**AUTOR (ES):**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CÓDIGO CVLAC / E MAIL</b>
Garcia Das Neves Jessalis Carolina	<b>CVLAC:</b> 22.862.161 <b>E MAIL:</b> jessiigdn@gmail.com
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>

**PALABRAS O FRASES CLAVES:**

Capacidad

Fragilidad

Curvas Capacidad

Pushover

Análisis Estructural

## **METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO**

<b>ÁREA</b>	<b>SUB ÁREA</b>
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Civil

### **RESUMEN (ABSTRACT):**

La siguiente investigación está enmarcada en el desarrollo de una metodología probabilista conocida como curvas de fragilidad las cuales permiten conocer la vulnerabilidad o el grado de daño al cual puede estar sometida una estructura en caso de que la misma esté bajo una demanda sísmica. La estructura analizada es el módulo de aulas de la Universidad de Oriente extensión Cantaura, ubicada en el estado Anzoátegui. Esta es una estructura regular con pórticos ortogonales entre sí, con columnas y vigas de sección rectangular, cuenta con dos módulos simétricos y dos niveles, alcanzando una altura total de 10.45mts. Para establecer la capacidad de la estructura se realizó un análisis no lineal conocido como análisis Pushover en el cual se aplicaron cargas laterales a los pórticos hasta que la misma alcanzara el mecanismo de colapso, posteriormente se establecieron los umbrales de los estados de daño y por último la desviación estándar que depende directamente del tipo de estructura. Como resultado las curvas de fragilidad indican que la estructura tiene un grado de vulnerabilidad moderado, por último se propone una guía que permite la aplicación del método adoptado en esta investigación.



**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL</b>				
	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS (X)</b>	<b>TU</b>	<b>JU</b>
Cabrera, Daniel	<b>CVLAC:</b>	17.421.606			
	<b>E_MAIL</b>	danielcabrera@udo.edu.ve			
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
Martínez, Jhonatan	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU (X)</b>
	<b>CVLAC:</b>	15.376.400			
	<b>E_MAIL</b>	ingmartinezgj@gmail.com			
	<b>E_MAIL</b>				
Cermeño, Carlos	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU (X)</b>
	<b>CVLAC:</b>	8.494.906			
	<b>E_MAIL</b>	carloscermeño@hotmail.com			
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU</b>
	<b>CVLAC:</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				

<b>2018</b>	<b>08</b>	<b>03</b>
<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>DÍA</b>

**LENGUAJE. SPA**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO**

**ARCHIVO (S):**

<b>NOMBRE DEL ARCHIVO</b>	<b>TIPO MIME</b>
TESIS. Elaboración de curvas de fragilidad para el edificio de aulas de la Universidad de Oriente, núcleo de Anzoátegui extensión Cantaura.doc.	Aplicación/msword

**CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS:** A B C D E F G H I J  
K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z.  
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

**ALCANCE**

**ESPACIAL:** (OPCIONAL)

**TEMPORAL:** (OPCIONAL)

**TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Ingeniero Civil

**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Pregrado

**ÁREA DE ESTUDIO:**

Departamento de Ingeniería Civil

**INSTITUCIÓN:** Universidad de Oriente / Extensión Cantaura



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano  
**Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ**  
Vicerrector Académico  
Universidad de Oriente  
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI - 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
SISTEMA DE BIBLIOTECA  
RECIBIDO POR *Ragley*  
FECHA *5/8/09* HORA *5:30*

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

*Juan A. Bolanos Cuneo*  
Secretario



C.C: Rectora, Vicerectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

Apartado Correos 094 / Tel: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela

## **METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO**

### **DERECHOS**

De acuerdo al Artículo 41 del Reglamento de trabajos de grado:

“Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo”

---

Garcia D., Jessalis C.

**AUTOR**

---

Ing. Cabrera, Daniel

**TUTOR**

---

Ing. Martínez, Jhonatan

**JURADO**

---

Ing. Cermeño, Carlos

**JURADO**

---

Arq. Loaiza, Ramón

**POR LA COMISIÓN DE TRABAJO DE GRADO**