Trabajo de Investigación presentado por:

Dos Ramos L, Mariana del C.

Y

Trujillo V. Arkeilyn B.

a la

Escuela de Ingeniería Civil

Como requisito para optar al título de

**INGENIERO CIVIL**

Profesor Guía:

Ing. Echezuria, Heriberto

Caracas, 2019

# RESUMEN

Tabla de contenido

**Escribir el título del capítulo (nivel 1)1**

Escribir el título del capítulo (nivel 2)2

Escribir el título del capítulo (nivel 3)3

**Escribir el título del capítulo (nivel 1)4**

Escribir el título del capítulo (nivel 2)5

Escribir el título del capítulo (nivel 3)6

# **CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Actualmente hay una gran cantidad de reglamentos para el diseño de estructural, estableciendo como objetivo principal evitar el colapso de la estructura, de tal forma que las estructuras sean capaces de resistir sismos de intensidad baja sin sufrir daños estructurales, sismos moderados con daño estructural menor que se puedan reparar y de sismos con intensidad alta con un periodo de retorno bajo siempre y cuando se mantenga la estabilidad general de la estructura. Para lograrlo se necesita de una serie de combinaciones identificando el uso de la estructura y cuantificando las acciones y las cargas que puedan actuar sobre ella.

En zonas donde el riesgo sísmico es elevado, el proyecto de la estructura es mucho mas exigente debido a los efectos que producen los movimientos en los elementos estructurales, por tal motivo las edificaciones sismorresistentes deben poder disipar las fuerzas que produce un sismo sobre ellas. Por lo tanto, se requiere de un proceso de análisis y diseño estructural efectivo, así como una buena combinación entre los materiales de las columnas y vigas, de tal forma se usan protocolos de control de calidad específicos y mano de obra calificada en el proceso constructivo.

Venezuela presenta una serie de problemas en la construcción, principalmente una crisis económica que afecta la disponibilidad y calidad de los materiales, igualmente como la disminución de un personal capacitado para los ensayos que requieren estos, por ejemplo en algunos casos la calidad del concreto no ha sido la necesaria para el proyecto es decir la resistencia del concreto usado es menor a la requerida producto de un cemento que no cumplía con las regulaciones necesarias o una mala mezcla, estos problemas pueden originar modificaciones en las condiciones del diseño inicial afectando el comportamiento de los elementos estructurales y generando disminuciones en el periodo de retorno sísmico, haciendo que la estructura sea más vulnerable en comparación con el diseño óptimo.

El uso de los métodos de análisis no lineales, permite determinar la respuesta no lineal de la estructura evaluando la capacidad sísmica resistente de la estructura, mediante la aplicación de cargas laterales que se incrementan gradualmente hasta que la demanda supere la capacidad resistente de los miembros estructurales de la estructura. Se pretende obtener la curva de capacidad de la estructura mediante la variación de las calidades de los materiales que la conforman en un perfil geotécnico S2, con la cual se podrá interpretar los daños esperados para distintos niveles de demanda sísmica.

**OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

**Objetivo General**

Evaluación del comportamiento de edificaciones de concreto reforzado tipo I por cambio en los materiales utilizados en su construcción.

**Objetivos Específicos**

1. Estudiar el comportamiento que pueden generarse como producto de cambios en la calidad del concreto (resistencia del concreto en obra menor que la resistencia del concreto en diseño).
2. Estudiar el comportamiento que pueden generarse como producto de cambios en la cuantía y colocación del acero de refuerzo (área de acero menor que el área de acero de diseño).

**ANTECEDENTES**

* *Título: “Incidencia de la Variación de la Resistencia Nominal del Concreto en la Capacidad Sismo-Resistente de Edificaciones de Baja Altura de Concreto Estructural Aplicando Análisis Estático No Lineal”*

Autores: Ricardo José Garassini Celli y Adriano Elías Sanchez-Vega Rugero.

Profesor Guía: MSc. Ing. Guillermo Bonilla

Octubre 2017, Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Venezuela

* *Título: “Curvas de Fragilidad Sísmica para edificios aporticados de concreto reforzado de poca altura”*

Autor: Rojas Gil, Romme José

Profesor Guía: Gustavo Coronel D.

Noviembre 2010, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.

* *Título: “Caracterización del comportamiento sísmico de edificios de hormigón armado mediante Respuesta no Lineal”*

Autores: Vielma Pérez, Juan Carlos.

Profesores Guía: Dr. Alex Horia Barbat Barbat y Dr. Sergio Horacio Oller Martinez.

Octubre 2008, Universidad Técnica de Cataluña.

* *Título: “Evaluación del riesgo sísmico en viviendas populares”*

Autores: Ing. Valentina B. Páez Hernández.

Profesor Guía: Óscar A. López S.

Julio 2016, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela*.*

**JUSTIFICACIÓN**

En años recientes los diseños sismorresistentes, han adquirido relevancia, por lo que existe un mayor interés en valorar el comportamiento de la estructura ante la ocurrencia de un sismo y específicamente en evitar posibles pérdidas humanas.

Venezuela presenta zonas de alto riesgo símico, situación que se agrava en vista de las dificultades de obtener los materiales de primera calidad para la construcción o contar con mano de obra calificada; lo que en algunas ocasiones deriva en la necesidad de sustituir la calidad del acero o el área del acero de refuerzo en algunos casos o en las resistencias del concreto utilizado.

Esto representa un problema adicional dado que la calidad no es la requerida para el diseño, especialmente si se trata de edificaciones tipo IA, las cuales deben resistir las totalidades de las acciones mediante sus vigas y columnas tales como los elementos estructurales constituidos por pórticos (Norma COVENIN 1756:2001-1), este tipo de estructuras albergan instalaciones esenciales de funcionamiento vital en condiciones de emergencia donde el colapse de las edificaciones producen pérdidas humanas como en casos de hospitales aumentando los riesgos e incertidumbre en presencia de eventos sísmicos

**ALCANCE Y LIMITACIONES**

El alcance de la investigación consiste en obtener y evaluar las curvas de capacidad de una estructura Tipo I del grupo A, cuando a calidad de los materiales utilizados en su construcción no es la adecuada. Se limitará el estudio a un modelo estructural mediante el análisis no lineal “*Pushover*”, variando la resistencia del concreto y cuantías de acero, al obtener las curvas de capacidad en función de la calidad del material se requiere la ubicación de los puntos de corte con la curva de capacidad de la estructura en condiciones de diseño y en cada caso de la variación de la calidad de los materiales y el espectro de diseño.

Debido a la gran cantidad de combinaciones posibles, se estudiarán los problemas en el acero y en el concreto por separado.

# **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

**BASES LEGALES**

## **NORMAS NACIONALES.**

Norma Venezolana *COVENIN 1753 – 2006 “PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS EN CONCRETO ESTRUCTURAL”*

Norma Venezolana *COVENIN 1756-2001 “EDICACIONES SISMORESISTENTENTES PARTE 1: ARTICULADO Y PARTE 2: COMENTARIOS”*

Norma Venezolana *COVENIN (provisional) 2002-88 “CRITERIOS Y ACCIONES MÍNIMAS PARA EL PROYECTO DE EDIFICACIONES”*

## **NORMAS INTERNACIONALES.**

Norma *ACI 318S-14 “REGLAMENTO DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL”*

Norma *ASCE 7-16 “MINIMUM DESIGN LOADS AND ASSOCIATED CRITERIA FOR BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES”*

Norma *ASCE 41-17 “SEISMIC EVALUATION AN RETROFIT OF EXISTING BUILDINGS”*

Norma *FEMA 4-40*

**BASES TEÓRICAS**

**GLOSARIO DE TÉRMINOS**

* **Acciones Permanentes o Cargas Permanentes:** Son las cargas gravitatorias debidas al peso de todos los componentes estructurales y no estructurales.
* **Acciones Variables o Cargas Variables:** Son las cargas originadas por el uso y ocupación del edificio
* **Acelerolagrama:** Registro de Variación temporal de la acción en un sitio dado y en una dirección.
* **Centro de rigidez de un nivel:** Punto del nivel donde al aplicar una fuerza cortante horizontal, el nivel se traslada sin rotar respecto al nivel inferior.
* **Coeficiente de aceleración horizontal (A0):** cociente de la aceleración horizontal máxima entre la aceleración de la gravedad.
* **Deriva:** Diferencia de los desplazamientos laterales totales entre dos niveles o pisos consecutivos.
* **Desplazamiento de diseño:** desplazamiento lateral producido por el sismo de diseño, excluyendo el desplazamiento debido a la torsión natural y accidental, requerido para el diseño del sistema de aislación.
* **Desplazamiento máximo:** desplazamiento lateral provocado por el sismo máximo posible, excluyendo el desplazamiento debido a la torsión natural y accidental, requerido para el diseño del sistema de aislación.
* **Ductilidad:** Capacidad que poseen los componentes de un sistema estructural de hacer incursiones alternantes en el dominio inelástico.
* ***Espectro de diseño:*** espectro asociado a sismos de diseño, en el cual se incorpora el factor de reducción de respuesta correspondiente al sistema resistente a sismos adoptado.
* ***Espectro de respuesta:*** representa la respuesta máxima de osciladores de un grado de libertad y de un mismo coeficiente de amortiguamiento, sometidos a una historia de aceleraciones dada, expresada en función del período.
* **Efecto P-Δ:** Efecto producido por las cargas axiales y los desplazamientos laterales sobre los momentos flectores en los miembros.
* **Radio de giro Inercial:** Es la raíz cuadrada del cociente entre la inercia rotacional respecto al centro cortante y la masa, para cada planta de la edificación
* **Radio de giro Torsional:** Es la raíz cuadrada del cociente entre la rigidez torsional respecto al centro cortante y rigidez lateral de la dirección considerada, para cada planta de la edificación.

**Amenaza Sísmica**

La amenaza sísmica se puede considerar como aquellas amenazas de tipo geológico que están directamente asociadas a la acción de terremotos. Entre las amenazas sísmicas podemos citar: la amplitud y duración de las sacudidas fuertes del terremoto, la aceleración de la superficie, el fallamiento y ruptura superficial, la inestabilidad y deslizamiento de taludes, la licuefacción, los maremotos y cualquier otro fenómeno físico asociado o causado por los sismos. (Alonso J. 2007).

Los efectos consecuentes de la amenaza sísmica pueden producir daños que afectan el nivel de desempeño de una estructura. El alcance de ellos, depende de la magnitud del sismo, la distancia a la fuente, la dirección de propagación de la ruptura de falla, y las características geológicas de la región y locales.

**Zonificación Sísmica**

La acción sísmica es la acción accidental debida a la ocurrencia de sismo, la cual incorpora los efectos traslacionales y las rotaciones respecto al eje vertical. La zonificación sísmica de Venezuela se presenta en un mapa el cual está en función del coeficiente de aceleración horizontal (A0), donde la distribución se da en 8 zonas sísmicas, iniciando desde “zona 0” con aceleración horizontal 0 en consecuencia, no se consideran acciones sísmicas hasta la “zona 7” considerada como las zonas alta sismicidad con aceleración horizontal 0.40.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ZONAS SÍSMICAS | PELIGRO SÍSMICO | A0 |
| 7 | ELEVADO | 0,40 |
| 6 | 0,35 |
| 5 | 0,30 |
| 4 | INTERMEDIO | 0,25 |
| 3 | 0,20 |
| 2 | BAJO | 0,15 |
| 1 | 0,10 |
| 0 | --- |

Cuadro 1: Capitulo 4, TABLA 4.1 VALORES DE A0 (COVENIN 1756-2001)

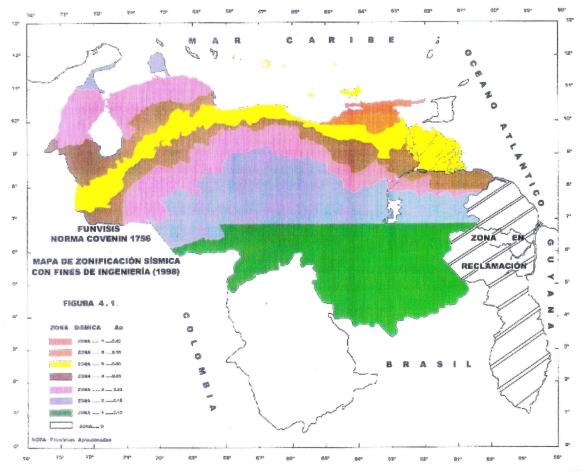


Fig. 1: Capitulo 4, Fig 4.1 Zonificación sísmica (COVENIN 1756-2001)

**Sistemas Estructurales**

Es la unión de cuerpos capaces de resistir cargas sin que exista una deformación excesiva de una de las partes con respecto a otra. Por ello la función de una estructura consiste en trasmitir las fuerzas de un punto a otro en el espacio, resistiendo su aplicación sin perder la estabilidad. Su clasificación en función del material de construcción son estructuras de acero, estructuras de concreto armado, y las estructuras de madera.

**Análisis Estructurales**

El objetivo principal de estos análisis es determinar las deformaciones y fuerzas que ocurren en las estructuras durante un sismo, se pueden dividir en análisis estáticos lineales e inelásticos (no lineales).

Los análisis lineales presentan la condición que las propiedades estructurales, tales como la rigidez y el amortiguamiento, no varían con el tiempo, por lo tanto, las estructuras se diseñan mediante el rango elástico, todos los desplazamientos, esfuerzos, reacciones, son directamente proporcionales a la magnitud de las cargas aplicada La desventaja de este tipo de análisis radica que se puede usar principalmente en estructuras regulares en planta y elevación, cuando presenta asimetrías geométricas este método presenta resultados inexactos.

Los análisis no lineales las propiedades estructurales pueden variar con el tiempo, la deformación y la carga, La respuesta suele no ser proporcional a las cargas, ya que las propiedades estructurales suelen variar. Los métodos elásticos incluyen análisis estático y dinámico, donde se utilizan los procedimientos de la fuerza lateral equivalente, el análisis del espectro de respuesta.

Métodos de análisis estático no lineal utiliza acelerogramas como solicitación, permitiendo que las deformaciones de los materiales sobrepasen su punto cedente, e incursionen en el rango no-lineal (Pushover). Esta técnica se sustenta en el análisis no lineal elástico y permite evaluar la capacidad sísmica de las estructuras. (Alonso J, 2007)

La gran ventaja de este método con respecto al análisis lineal es que directamente toma en cuenta los efectos de la respuesta no lineal del material, por lo tanto, las fuerzas internas y desplazamientos que se obtengan de los cálculos serán más representativos de los esperados durante un sismo. Esta condición permite comprender mejor cómo trabajan las estructuras cuando se ven sometidas a movimientos sísmicos, así como las deformaciones que sufrirán los elementos cuando se sobrepasa su capacidad elástica, lo que podría ocasionar que la edificación experimentará serios daños.

**Espectros de Diseños**

El objetivo principal de

**Espectro Capacidad**

El objetivo principal de

**Espectro de Demanda**

El objetivo principal de

**Espectro Respuesta**

El objetivo principal de

**Formación de Rotulas plásticas**

El objetivo principal de

**Desempeño Estructural**

El objetivo principal de

# **CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO**

**TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación es de tipo analítica, se encuentra orientada a evaluar el desempeño de edificaciones Tipo I, considerando la influencia en la calidad de los materiales en el desempeño de la estructura ante eventos sísmicos, con el fin de establecer, por tratarse de un análisis del comportamiento de una estructura frente a la demanda (SINÓNIMO) sísmica.

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

Se emplea el método “Pushover” de análisis estático no Lineal aplicando una carga variable vertical incremental, mediante el programa ETABS, para obtener las curvas de fragilidad sísmica y curvas de capacidad en este tipo de edificaciones, posteriormente evaluar el comportamiento de la edificación al variar la resistencia del concreto, la cuantía y colocación del acero de refuerzo

**DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN**

La estructura del edificio diseñado consiste en un sistema estructural aporticado de Vigas y Columnas de concreto armado, el cual presenta las características siguientes:

La edificación tiene como uso un hospital tipo II, con altura de entre piso de 3,50 metros

* **Nivel Sótano –3.50**
* **Nivel Planta Baja +0.00**
* **Nivel Piso 1 +3.50**
* **Nivel Piso 2 +7.00**
* **Nivel Piso 3 +10.50**
* **Nivel Piso 4 +14.00**
* **Nivel Piso 5 +17.50**
* **Nivel Techo +21.00**

El nivel Planta Baja +0.0 está conformado por una losa nervada en dos direcciones de espesor e=27cm y formaletas de 75\*75cm recuperables con nervios de 15 cm de ancho y separados cada 90 cm. Esta losa está confinada con vigas de sección 30\*50cm.

Los niveles de planta tipo desde +3.50 hasta 17.50, están conformados por una losa nervada de dos direcciones de espesor 27cm formaletas de 75\*75cm recuperables con nervios de 15 cm de ancho, una losa maciza justo de espesor e=25cm, volados entre 2,25 metros y 1,75 metros de las columnas perimetrales o externas, tres ascensores, y una escalera, esta losa está confinada por vigas 30\*50 cm y los pisos por columnas de aproximadamente 70\*70 cm.

El nivel Planta Techo +21.00 está conformado por una losa maciza de espesor e=20cm. Esta losa está confinada con vigas de sección 30\*50cm. Esta planta cuenta con un área o sala de máquinas.

La sección de las columnas se mantendrá constante inicialmente de 70\*70 cm al igual que las vigas las cuales de acuerdo a la Norma **ACI 318S-14 “REGLAMENTO DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL”** tabla 9.3.1.1 “Altura Mínima de vigas” y la Norma Venezolana **COVENIN 1753 – 2006 “PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS EN CONCRETO ESTRUCTURAL”** art. 8.9.1, dando una sección de 30\*50 cm inicialmente.

El nivel de diseño será 3, el cual requiere una gran disipación de energía en el dominio inelástico bajo sismos muy severos.

## **ANÁLISIS, DISTRIBUCIÓN Y COMBINACIÓN DE CARGAS.**

Se determinaron los pesos por unidad de área para los diferentes elementos que conforman la carga permanente de la estructura, como los pesos propios de las losas nervadas en dos direcciones, losas macizas, estos pesos fueron cálculos en función del espesor de la losa, los pesos de las columnas, vigas, se calcularon mediante el uso de las dimensiones mínimas por áreas tributarias, los frisos y acabados por el peso en función de unidad de área, la escalera, se obtiene de acuerdo a su función y la Norma Venezolana **COVENIN (provisional) 2002-88 “CRITERIOS Y ACCIONES MÍNIMAS PARA EL PROYECTO DE EDIFICACIONES”** capitulo 4 y capitulo 5

Las cargas variables varían de acuerdo al uso de la estructura (hospital, centro penitenciario o escuela), fueron obtenidas en la Norma **ASCE 7-16 “MINIMUM DESIGN LOADS AND ASSOCIATED CRITERIA FOR BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES”** tabla 4.3.1 “minimum uniformly distributed live loads, lo, and minimum concentrated live loads”

La combinación de carga, se analizará en función de los casos de análisis de la norma **COVENIN 1753 – 2006 “PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS EN CONCRETO ESTRUCTURAL”** tabla 9.3 “combinaciones de solicitaciones para el estado límite de agotamiento resistente”

# **REFERENCIAS CONSULTADAS**

ATC 40 (1996), *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, California Seismic Safety Commission, Volume 1, Report No SSC 96 - 01, California.

Alonso, J. (2014) “*Vulnerabilidad sísmica de edificaciones”,* Caracas, Venezuela. Fondo Editorial SIDETUR

Barbat, A. y Pujades, B. (2004*). “Evaluación de la vulnerabilidad y del riesgo sísmico en zonas urbanas. Aplicación a Barcelona”,* 6° Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Sísmica. Portugal.

Bonett, R. (2003). “*Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada”*. Tesis Dr. Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña. ETSECCPB.

COVENIN-MINDUR1756:2001-1*. Edificaciones sismorresistentes. Articulado* (1ra Revisión). Caracas: Fondonorma.

COVENIN-MINDUR 1756:2001-2. *Edificaciones sismorresistentes. Comentarios* (1ra Revisión). Caracas: Fondonorma.

Echezuria, H., y Gómez, D. (2015). *“Probabilidad de daños en estructuras a partir de su desempeño y de la amenaza sísmica”*, X CONVESIS, Cumaná, Venezuela.

Moreno, R. (2006). *“Evaluación del riesgo sísmico en edificios mediante análisis estático no lineal: Aplicación a diversos escenarios sísmicos de Barcelona”* Tesis Dr. Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña.

Páez, V. (2015). *“Curvas de fragilidad en dos tipologías de viviendas  
populares en Caracas”*, X CONVESIS, Cumaná, Venezuela.

Páez, V. (2016). *“Evaluación del Riesgo sísmico en viviendas populares”.* Tesis Magister, Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Ramírez, C. (2003). *“Estimación de la capacidad sismo-resistente en edificaciones de concreto armado modeladas con acero comercial aplicando el método análisis estático no lineal “pushover”*. Tesis Especialista. Universidad Católica Andre Bello. Caracas.

Safina, S. (2002). “*Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales-Análisis de su contribución al riesgo sísmico*. Tesis Dr. Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña. ETSECCPB.

Yépez, F. (1996). *Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo sísmico de estructuras aplicando técnicas de simulación*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona-España.

**Fuentes digitales:**

Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS). *¿Venezuela es un país sísmico?*

<http://www.funvisis.gob.ve/pais_sismico.php>

Genatios, C. (17 de Mayo del 2006). *Terremotos: peligros y prevención*, Red Voltaire

[www.voltairenet.org/article138263.html](http://www.voltairenet.org/article138263.html)

Giusti, R. (15 de Marzo del 2011). *“No estamos preparados para un sismo que puede estar cerca” Entrevistado: Carlos Genatios*. El Universal.

<http://inmuebles.com/site/noticias/noticias.php?id_noticia=8161>