



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL
MÉTODO ESTÁTICO EQUIVALENTE Y EL
ANÁLISIS DINÁMICO PLANO EN PÓRTICOS
REGULARES E IRREGULARES DE
CONCRETO REFORZADO SEGÚN LA
NORMA COVENIN 1756-2001**

Autores: Emilio Ladino
Wilfredo Núñez



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL MÉTODO ESTÁTICO EQUIVALENTE Y EL
ANÁLISIS DINÁMICO PLANO EN PÓRTICOS REGULARES E IRREGULARES DE
CONCRETO REFORZADO SEGÚN LA NORMA COVENIN 1756-2001**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de
INGENIERO CIVIL**

Autores: Emilio Ladino
CI: 19.773.789
Wilfredo Núñez
CI: 20.968.950
Tutor: Ing. Joel Curreri
CI: 17.338.221

San Diego, Agosto de 2018



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero Joel Curreri G. titular de la cédula de identidad N.º 17.338.221, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por los ciudadanos Ladino L Emilio J; titular de la cedula de identidad 19.773.789 y Núñez G Wilfredo J; titular de la cédula de identidad 20.968.950 titulado **“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL MÉTODO ESTÁTICO EQUIVALENTE Y EL ANÁLISIS DINÁMICO PLANO EN PÓRTICOS REGULARES E IRREGULARES DE CONCRETO REFORZADO SEGÚN LA NORMA COVENIN 1756-2001.”**; presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 12 días del mes de marzo del año 2018.

Ing. Joel Curreri G.
C.I: 17.338.221



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

San Diego, Agosto de 2018

ACTA DE REVISIÓN METODOLÓGICA DEL TRABAJO DE GRADO

Quienes suscriben esta Acta, dejan constancia que el Proyecto de Trabajo de Grado: **“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL MÉTODO ESTÁTICO EQUIVALENTE Y EL ANÁLISIS DINÁMICO PLANO EN PÓRTICOS REGUALRES E IRREGULARES DE CONCRETO REFORZADO SEGÚN LA NORMA COVENIN 1756-2001”**, ha sido revisado y, cumpliendo con los requisitos exigidos para su aprobación, recomiendan su tramitación ante el organismo académico correspondiente.

Ing. Joel Curreri G.

Tutor Académico

Firma

Fecha

Ing. Alicia de Pizzella

Tutor Metodológico

Firma

Fecha

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a Dios por darme la fuerza y entendimiento para culminar esta etapa de mis estudios en la Ingeniería.

A la Universidad José Antonio Páez, nuestra casa de estudio que nos abrió sus puertas para formarnos como profesionales.

A nuestro tutor el profesor Ing. Joel Curreri, quien dedicó parte de su tiempo en enseñarnos y asesorarnos, aclarando las dudas que se presentaron en el desarrollo de este trabajo de grado, compartiendo sus amplios conocimientos en la materia.

A demás, a todos los profesores que nos apoyaron a lo largo de la carrera con sus consejos para la realización de este trabajo de grado, y en la formación como profesionales.

A nuestros amigos y compañeros que estuvieron con nosotros, apoyándonos en el transcurso de la carrera.

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a todas esas personas que de alguna u otra manera estuvieron presentes durante la realización del mismo.

Mi Padre Ramón Ladino, quien con su lucha diaria me ha demostrado que todo éxito se logra con la constancia en el trabajo. Mi Madre Magaly Lugo, que con su amor y consejos oportunos me ayudaron a sobrellevar todos obstáculos a lo largo de mi carrera.

A mis Hermanos Daniel, Hernán y Alexis por su apoyo incondicional a lo largo de este camino, estando presente en todo momento.

A toda mi familia que de una u otra forma me apoyaron en el transcurso de la carrera.

Así mismo, a mis amigos que siempre estuvieron presentes cuando más los necesite, apoyándome a lo largo de este camino de formación.

Emilio Ladino....

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a todas esas personas que de alguna u otra manera estuvieron presentes durante la realización del mismo.

Mi madre Olga Guzmán, y a mi tía Damelis Guzmán que siempre presto un apoyo incondicional en los buenos y malos momentos.

A toda mi familia que siempre tenían la forma de motivarme aun cuando las cosas no iban tan bien.

Así mismo, a mis amigos que siempre estuvieron presentes cuando más los necesite, apoyándome a lo largo de este camino de formación

Wilfredo Núñez....

2.2.1.4	Período fundamental.....	13
2.2.1.5	Norma COVENIN 1756-2001 “Edificaciones sismorresistentes.....	14
2.2.1.6	Coefficiente de Aceleración horizontal.....	16
2.2.1.7	Clasificación según el uso de la edificación.....	17
2.2.1.8	Factor de importancia.....	18
2.2.1.9	Clasificación según el Nivel de Diseño.....	19
2.2.1.10	Clasificación según el tipo de estructura.....	21
2.2.1.11	Formas espectrales.....	21
2.2.1.12	Factor de reducción de respuesta R.....	23
2.2.1.13	Cálculo del período fundamental.....	24
2.2.1.14	Calculo del espectro de diseño.....	25
2.2.1.15	Calculo de la fuerza cortante basal.....	28
	Calculo y verificación del coeficiente sísmico y	
2.2.1.16	distribución vertical de las fuerzas de diseño debido a los efectos traslacionales.....	28
2.2.2	Análisis Dinámico.....	29
2.2.2.1	Estructuras simples.....	29
2.2.2.2	Sistemas de un grado de libertad.....	30
2.2.2.3	Vibración libre.....	31
2.2.3	Análisis dinámico plano.....	32
2.2.3.1	Modelo matemático.....	32
2.2.3.2	Modos de vibración.....	33
2.2.3.3	Numero de modos de vibración.....	33
2.2.3.4	Análisis para el cálculo del cortante basal por el método dinámico plano.....	35
2.2.4	Control del cortante basal.....	36

III MARCO METODOLÓGICO

3.1	Tipo de la investigación.....	37
3.2	Diseño de la investigación.....	38
3.3	Nivel de la investigación.....	38
3.4	Técnicas e instrumentación de recolección de datos.....	39
3.5	Fases metodológicas.....	40

IV RESULTADOS

4.1	Ordenamiento del procedimiento para la aplicación del Método Estático Equivalente y El método Dinámico Plano establecido por la norma COVENIN 1756-20001.....	42
4.2	Programación de hojas de cálculo con las metodológicas del Método Estático Equivalente según norma COVENIN 1756-2001	54
4.2.1	Hoja principal de entrada de datos.....	54
4.2.2	Ingreso de parámetros normativos.....	55
4.2.3	Entrada de datos para análisis de carga.....	56
4.2.4	Entrada para definir la ordenada del espectro de diseño.....	58
4.2.5	Cálculo del cortante basal.....	60
4.3	Aplicación del Método Estático Equivalente y Método Dinámico Plano a pórticos regulares e irregulares de concreto reforzado.....	61

4.4 Comparación de los resultados obtenidos por la aplicación del método estático equivalente y el análisis dinámico plano a pórticos de concreto reforzado.....	65
CONCLUSIONES.....	89
RECOMENDACIONES.....	91
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	92

ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENIDO

Figura		pp.
1	Distribución de fuerzas.....	8
2	Esfuerzo de cortante basal.....	10
3	Secuencia de proceso de análisis.....	10
4	Espectro de respuesta.....	12
5	Zonificación sísmica.....	16
6	Formas espectrales tipificadas	22
7	Espectro de diseño.....	27
8	Espectro de diseño.....	27
9	Estructuras simples y su idealización estructural.....	30
10	Sistema de un grado de libertad.....	30
11-21	Flujograma para aplicación del método estático equivalente y análisis dinámico plano.....	43-53
22	Ingreso de datos a la hoja de cálculo (Excel).....	54
23	Entrada de parámetros normativos.....	55
24	Entrada de datos para análisis de carga.....	56
25	Ingreso de numero de niveles.....	57
26	Ingreso de distancia entre vanos.....	57
27	Cálculo de período fundamental de la estructura T_a	58
28	Ingreso de datos para el cálculo del período fundamental.....	59
29	Calculo de periodo fundamental T	60
30	Resultado del cortante basal V_o	61
31-33	Modelos de pórticos regulares e irregulares.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		pp.
1	Valores de aceleraciones horizontales.....	17
2	Factor de importancia.....	19
3	Áreas que requieren cumplimiento ND3.....	20
4	Forma espectral y factor de corrección.....	23
5	Factor de reducción de respuesta.....	26
6		

ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafico	pp.
1	Cortante basal forma espectral S1, factor de corrección 1, zona sísmica 5, pórtico regular de un vano..... 65
2	Cortante basal forma espectral S2, factor de corrección 0.9, zona sísmica 5, pórtico regular de un vanos..... 67
3	Cortante basal forma espectral S3, factor de corrección 0,8, zona sísmica 5, pórtico regular de un vano..... 69
4	Cortante basal forma espectral S1, factor de corrección 1, zona sísmica 5, pórtico regular de dos vano..... 71
5	Cortante basal forma espectral S2, factor de corrección 0.9, zona sísmica 5, pórtico regular de dos vanos..... 73
6	Cortante basal forma espectral S3, factor de corrección 0,8, zona sísmica 5, pórtico regular de dos vanos..... 75
7	Cortante basal forma espectral S1, factor de corrección 1, zona sísmica 5, pórtico regular de tres vanos..... 77
8	Cortante basal forma espectral S3, factor de corrección 0,8, zona sísmica 5, pórtico regular de tres vanos..... 79
9	Irregularidad aumento de la masa con la elevación, roca blanda o meteorizada, suelos muy duros o muy densos, S2..... 81
10	Irregularidad aumento de la masa con la elevación, roca sana o fracturada S1..... 82
11	Irregularidad aumento de la masa con la elevación, suelos blandos o sueltos, S3..... 83
12	Irregularidad aumento de la masa con la elevación, roca blanda o meteorizada, suelos muy duros o muy densos, S1..... 84
13	Irregularidad aumento de la masa con la elevación, roca blanda o meteorizada, suelos muy duros o muy densos, S3..... 85

14	Roca sana fracturada, S1.....	86
15	Roca sana fracturada, S2.....	87



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL MÉTODO ESTÁTICO
EQUIVALENTE Y ANÁLISIS DINÁMICO PLANO REGULARES E
IRREGULARES EN PÓRTICOS DE CONCRETO REFORZADO SEGÚN
NORMA COVENIN 1756-2001**

Autor(es): Ladino L Emilio J
Núñez G Wilfredo J

Tutor: Joel Curreri G.

Fecha: Agosto de 2018

RESUMEN

En el siguiente trabajo de grado se analizan los factores y parámetros sísmicos propuesto por la Norma Venezolana COVENIN 1756-2001 “Edificaciones Sismorresistentes”, que intervienen en la aplicación del Método Estático Equivalente y el Análisis Dinámico Plano. Mismos que permiten el cálculo del cortante basal en las estructuras; además de su distribución en cada nivel, teniendo ciertas diferencias en algunos casos muy marcadas. Para el efecto, se presentan resultados obtenidos durante la investigación y la aplicación de ambos métodos.

Por otra parte, se describe la metodología utilizada para el cálculo del cortante basal aplicando El método Estático Equivalente y el Análisis Dinámico Plano, en 7 tipos de pórticos regulares de concreto reforzado, considerando la variación del numero tramos. De igual manera, 12 tipos de pórticos irregulares.

Descriptor: Cálculo, métodos estructurales.

INTRODUCCIÓN

Actualmente debido a los grandes avances tecnológicos que existe en materia de ingeniería civil, se ha evidenciado el gran auge de la creación de estructuras cada vez más complejas y ambiciosas las cuales requieren un análisis más detallado del comportamiento que estas adoptan tras la acción sísmica a la cual son sometidas. Es por ello que la esencia de cualquier procedimiento para la evaluación sísmica es la comparación entre la medida de la demanda a la que un sismo somete a la estructura y la capacidad que tiene esta para resistirla. De modo tradicional la demanda está caracterizada por fuerzas, siendo la fuerza total acumulada (producto de las fuerzas inerciales) en el nivel más bajo de la edificación el valor utilizado para tal fin, dicha fuerza se conoce como cortante basal.

Por medio de estos avances los ingenieros comenzaron a reconocer el mejor comportamiento de las estructuras, en consecuencia, decidieron aplicar de forma más racional la tasa de demanda sísmica al darse cuenta que la usada anteriormente derivaba en sobre diseños, causados por la falta de entendimiento del comportamiento de la estructura en rango inelástico.

Nuestro país, por condición de zona sísmica, el diseño de todas las estructuras debe contemplar las acciones y criterios sísmicos normalizados, y ampliamente estudiados, ya que de esto dependerá el correcto funcionamiento de las estructuras. La norma venezolana COVENIN 1756- 2001 “Edificaciones sismorresistente” propone diferentes métodos de análisis estructural, entre estos están el Método Estático Equivalente y el Método de Análisis Dinámico Plano, los cuales difieren en cuanto a su aplicación ya que el primero está limitado a edificaciones regulares de 10 niveles o 30 metros.

El presente trabajo de grado se realizó con la finalidad de verificar las diferencias que existen en el cálculo del cortante basal con la aplicación de ambos métodos de

análisis, mediante un análisis comparativo considerando pórticos regulares e irregulares de concreto reforzado. Para ello se usó herramientas actualizadas que nos permitió obtener resultados con mayor rapidez y precisión. Así mismo, se contó con amplia bibliografía de la materia de Diseño Sismorresistente a demás de la Norma Venezolana COVENIN 1756-2001 para recopilar los lineamientos técnicos que esta presenta.

Aunado a esto se elaboró flujogramas de aplicación del Método Estático Equivalente y el Análisis dinámico Plano, esto con la finalidad de que sirvan como material de apoyo para la aplicación de ambos métodos.

La investigación se encuentra estructurada de la siguiente manera:

Capítulo I El Problema: Planteamiento del problema, formulación del problema, objetivo general, objetivos específicos, justificación del problema, alcance y limitaciones.

Capítulo II Marco Teórico: Antecedentes de la investigación y bases teóricas

Capítulo III Marco Metodológico: Tipo de Investigación, diseño de la investigación, nivel de investigación y fases metodológicas.

Capítulo IV Resultados: En el cual se encuentra el desarrollo de los objetivos planteados en la presente investigación, con su análisis de resultados.

Finalmente, se encuentra las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

Planteamiento del problema

Los movimientos sísmicos se definen como la vibración del suelo provocada por la liberación de energía de deformación acumulada en la corteza terrestre y el manto superior de la tierra, esta energía se libera principalmente en forma de ondas vibratorias que se propagan como ondas de volumen y ondas de superficie. Este tipo de fenómeno natural genera desestabilización en el suelo, ocasionando movimientos vibratorios de las masas de las edificaciones comprometiendo los elementos estructurales que la conforman siendo capaz de originar fallas o la completa destrucción de la misma.

Estos eventos producen pérdidas de vidas humanas y económicas lo cual conduce al refinamiento de los métodos de análisis sismorresistentes, por ellos los reglamentos y códigos a nivel internacional han propuesto una serie de métodos de análisis sismorresistentes que varían según las características de la estructura en estudio. La norma venezolana COVENIN 1756-2001 “Edificaciones sismorresistentes” propone diferentes métodos de análisis de acuerdo a ciertas especificaciones estructurales que el diseño implica tales como, Método Estático Equivalente, Método del Análisis Dinámico Plano, Método de la Torsión Estática Equivalente, Método del Análisis Dinámico Espacial, Método del Análisis Dinámico Espacial con diafragma flexible.

En cuanto al Método Estático Equivalente y el Método del Análisis Dinámico Plano, la norma establece ciertas limitaciones en la aplicación de cada uno de ellos para el cálculo del cortante basal. En el caso del método estático equivalente, es aplicable solo para edificaciones de tipo regular que no excedan los 10 niveles o 30 metros, y el método del análisis dinámico plano es aplicable para edificaciones mayores de 10 niveles, limitándose a solo irregularidades en vertical.

1.2 Formulación del problema

¿Cuánta es la diferencia existente del cortante basal, cuando es aplicado el Método Estático Equivalente y el Método de Análisis Dinámico Plano propuesto por la Norma COVENIN 1756-2001 “Edificaciones Sismorresistentes”, esto a pórticos de concreto reforzado?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Comparar los resultados del método estático equivalente y el método de análisis dinámico plano para pórticos regulares e irregulares de concreto reforzado según la Norma COVENIN 1756- 2001 “Edificaciones Sismorresistentes”.

1.3.2 Objetivos específicos

Ordenar un procedimiento manual de método estático equivalente y análisis dinámico plano según norma COVENIN 1756-2001 “Edificaciones Sismorresistentes”.

Programar hoja de cálculo para la aplicación del Método Estático Equivalente según la norma COVENIN 1756-2001 “Edificaciones Sismorresistentes”.

Aplicar la metodología del método estático equivalente y del análisis dinámico plano a pórticos regulares e irregulares de concreto reforzado según la norma COVENIN 1756-2001 “Edificaciones Sismorresistentes”.

Realizar comparaciones de los resultados obtenidos por la aplicación del método estático equivalente y análisis dinámico plano a pórticos regulares e irregulares de concreto reforzado según la norma COVENIN 1756-2001 “Edificaciones Sismorresistentes”.

1.4 Justificación del problema

Verificar las limitaciones impuestas por la norma COVENIN 1756-2001 “Edificaciones Sismorresistentes”, con respecto al método estático equivalente y el método de análisis dinámico plano, mediante un análisis comparativo de pórticos regulares e irregulares de concreto reforzado. Esto con el fin de dar un aporte a las futuras investigaciones en el campo del comportamiento sismorresistente de las estructuras.

1.5 Alcance y limitación

En este proyecto se pretende recopilar y analizar información referente al método estático equivalente y el análisis dinámico plano propuesto por la normativa sismorresistente COVENIN 1756-2001, además de comparar los cortantes en la base como resultados de la aplicación de cada uno de ellos.

Se pretende con el desarrollo del contenido propuesto cubrir lo referente al método estático equivalente y el análisis dinámico plano como herramienta al momento de tomar criterios para el dimensionado y consecuentemente la construcción de estructuras sismorresistentes tomando en cuenta los aspectos teóricos, aplicaciones de ejemplos prácticos de pórticos de concreto reforzado.

Se limitará en el análisis plano, considerando solo los efectos traslacionales dejando a un lado los efectos torsionales presentes en las estructuras luego de la demanda sísmica. También se limitará a las irregularidades en vertical de incremento de masa con la elevación y entrepiso débil.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Ortega Menéndez, Joaquín (2011), en su trabajo titulado **“Análisis comparativo entre sismo estático y dinámico, para marcos de concreto reforzado”** el objetivo de este estudio es establecer un análisis comparativo entre ambos métodos aplicados particularmente a marcos de concreto armado, el cual realiza mediante una edificación de 4 niveles y tomando en cuenta en sus cálculos la normativa local (Guatemala), concluyendo que los valores del sismo estático tienden a tener un mayor valor en comparación del sismo dinámico, esto debido a que el método estático obtiene un valor de cortante basal el cual luego reparte a los niveles. En cambio, el método dinámico encuentra cuál es la fuerza resistida según masa y rigidez del nivel, con esto calcula el cortante basal ajustado a estos parámetros.

Así mismo, González Ricardo, Pájaro Gustavo (2015), en su trabajo titulado **“comparación entre el método estático equivalente (norma COVENIN 1756) y el método de análisis no lineal propuesto por el ATC-40 y FEMA 356 para el diseño sismo resistente de una estructura regular tipo I”** se diseñan las dimensiones de elementos estructurales mediante el método estático equivalente y se someten a un patrón de cargas creciente, correspondiente con el patrón de cargas de la estructura en el modo fundamental de vibración, el cual se aumenta hasta llevar la estructura al límite de su capacidad. Luego que realizaron el diseño de una estructura regular tipo I mediante el método estático equivalente (con los criterios de regularidad mínimos requeridos por la norma), determinando su curva capacidad, hallar el punto de desempeño para cada dirección de análisis y compararlos con los definidos en cada uno de los niveles de desempeño propuesto por ATC y FEMA concluyeron que el factor de reducción de respuesta utilizado por el método estático equivalente se encuentra del

lado de la seguridad, debido a que la estructura alcanza el desplazamiento máximo permitido en el nodo de control, con la aplicación de una cortante mayor a la utilizada para diseñar según el método estático equivalente. La diferencia en las capacidades obtenidas en ambos casos reside en la definición de los mecanismos de liberación de energía considerados en cada método, mientras el método estático equivalente considera que la estructura libera energía a través de desplazamientos y daños en la estructura, la extensión de daños y la cantidad de energía que se disipa mediante los mismos se estima mediante el factor de reducción de respuesta “R” el cual se determina según el nivel de diseño, el tipo de estructura y criterios personales.

Por otro lado, el método estático no lineal toma en cuenta la capacidad de la estructura para liberar energía a través de mecanismos de deformación inelásticos bien definidos también llamados rotulas plásticas, dichos mecanismos permiten determinar de manera exacta la capacidad de deformación de los distintos elementos y la variación de la rigidez y el amortiguamiento de la estructura mediante el sismo.

Por su parte, Rodríguez Andrés, Díaz Susan (2018), en su trabajo titulado **“Análisis Comparativo del Método de Auto Valores y Vectores De Ritz, en Estructuras Regulares de Marcos Idealizados”**, obtuvieron como resultado en cuanto al procedimiento empleado en cada uno que el método de Auto Vectores es un poco más extenso y complejo ya que al aplicar este a estructuras de más de 3 GDL, la resolución de los modos y formas de vibración pasan a ser polinomios de grados altos, donde se requiere sistemas de cálculo avanzado; mientras con los vectores de Ritz reduce el sistema a una matriz de masa y de rigidez. En cuanto a la metodología para realizar el método de Auto Valores y el Método de Ritz, ambos métodos presentan semejanza respecto a su metodología, el método Auto Valores es un método más directo, pero a la vez más complejo en la parte del cálculo, mientras que el método de Ritz reduce las matrices un sistema más sencillo para luego resolver un sistema de menor grado por Auto Valores.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Método estático equivalente

El análisis estático es comúnmente usado y permite analizar edificios altos con características regulares en los cuales el primer modo de vibración es fundamental. En estos casos la distribución de las fuerzas producto del sismo adoptan una forma triangular con el vértice en la base del edificio (ver figura 1)

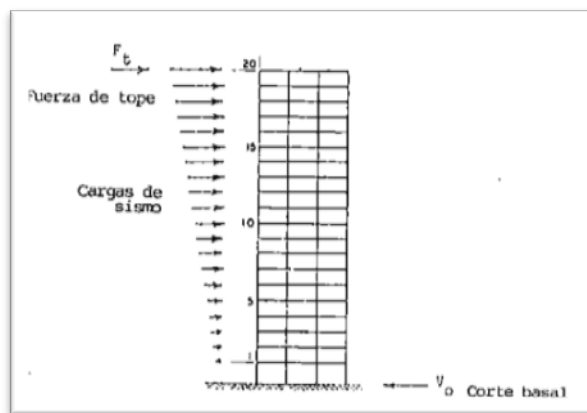


Figura 1 Distribución de Fuerzas

Fuente: Edificios altos M. Fratelli (1998)

El método Estático Equivalente determina las fuerzas sísmicas laterales, determinadas por el corte en la base de la edificación y distribuidas en los nodos de los pórticos de forma incremental en función del aumento de la altura, que permite simplificar los cálculos de derivas, para así resolver el sistema aplicando los métodos convencionales de estructuras hiperestáticas y determinar ciertos comportamientos dinámicos, los cuales controlan la rigidez y la ductilidad de la edificación. Fundamentado en el primer modo de vibración que ejerce la estructura luego de aplicada la fuerza sísmica, el cual representa el periodo fundamental del comportamiento dinámico de la estructura acotando que los modos de vibración posteriores se incorporan fuerzas aplicadas en la parte superior de la edificación.

El método Estático Equivalente estima el periodo fundamental, con esto es posible predecir el cortante en la base de la edificación. Tanto en la estimación del cortante en la base como en la determinación de su distribución vertical, se ha incorporado el de los modos superiores que no solo dependen de la flexibilidad de la edificación, sino también de las características de los espectros sísmicos.

Para las formas espectrales establecidas, la influencia de los modos superiores depende significativamente de la ubicación del periodo fundamental (T) del edificio en el espectro considerado. Esta influencia se cuantifica aproximadamente por el cociente T/T^* , siendo T^* el periodo que define el inicio de la zona descendente del espectro para periodos largos.

Sin embargo, cuando los elementos resistentes de las cargas laterales del piso son muy irregulares, o la distribución de las masas es aleatoria en la altura del edificio, por ejemplo, en construcciones con distribuciones internas variables entre pisos por diseños arquitectónicos con huecos, entrantes asimétricos, se deben analizar estas estructuras con métodos dinámicos. Es por ello que la norma venezolana sismorresistente COVENIN 1756-2001, nos indica que para el análisis estático está limitado a estructuras regulares de no más de 30 metros de altura o que superen los 10 pisos.

2.2.1.1 Cortante basal

El cortante basal en una edificación es la acumulación progresiva de las fuerzas cortantes de cada piso, el cual se refleja en la base del mismo. Estos cortantes en cada piso no son más que la aplicación de la fuerza sísmica en un nivel determinado y que se va acumulando a medida que nos vamos acercando a la base. Este procedimiento es útil cuando las edificaciones son regulares en todo aspecto (elevación, cargas, y plantas). Deben tomarse en cuenta todas las cargas participativas (permanentes y variables), además incluir efectos sísmicos (aceleraciones según período fundamental obtenido). (Ver figura 2)

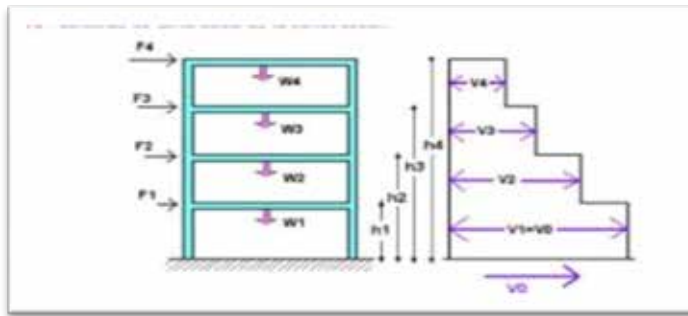


Figura 2 Esfuerzo de cortante basal

Fuente: Análisis sísmicos de edificios. Aguiar Falconí Roberto (2008)

La finalidad de determinar esta fuerza cortante es para poder distribuir la fuerza sísmica que se acumula en la base en los pórticos, en cada uno de los niveles y así ir viendo los esfuerzos logrados con estas cargas con la finalidad de diseñar los pórticos para que sean resistentes a sismos.

También deben estimarse las derivas (desplazamientos) de los pórticos, con la finalidad de prever que los desplazamientos elásticos e inelásticos no sobrepasen los límites requeridos por la norma. (ver figura 3)

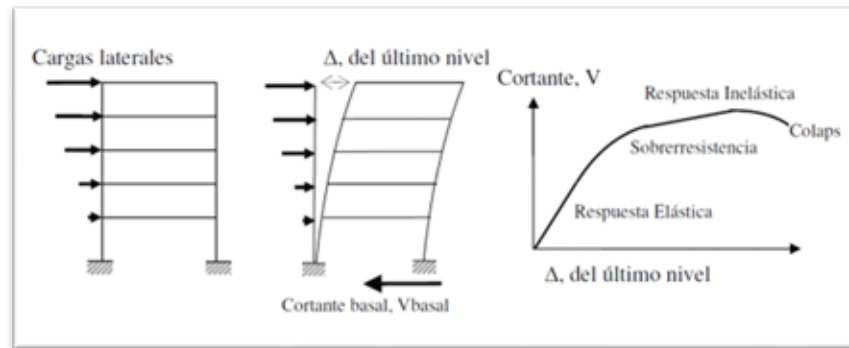


Figura 3 Secuencia de proceso de análisis

Fuente: Análisis sísmicos de edificios. Aguiar Falconí Roberto (2008)

La estimación de este valor en cualquier edificación, sea cual sea el tipo, es de suma importancia, ya que el mismo debe ser incorporado con los análisis

dinámicos usando espectros de diseño sísmico. Estos valores dinámicos obtenidos con los métodos estáticos equivalentes, en el caso de cortante basal debe ser el valor mínimo el que se obtiene en análisis estático equivalente. Por ello el cortante dinámico debe ser igual o mayor que el estático equivalente.

2.2.1.2 Espectro de respuesta

Los espectros de respuesta fueron inicialmente propuestos por Biot en el año 1932 y luego desarrollados por Housner, Newmark y muchos otros investigadores. Actualmente, el concepto de espectro de respuesta es una importante herramienta de la dinámica estructural, de gran utilidad en el área del diseño sismorresistente.

En forma general, podemos definir espectro como un gráfico de la respuesta máxima (expresada en términos de desplazamiento, velocidad, aceleración, o cualquier otro parámetro de interés) que produce una acción dinámica determinada en una estructura u oscilador de un grado de libertad (ver figura 4).

La importancia de los espectros en el diseño de estructuras radica en el hecho de que estos gráficos condensan la compleja respuesta dinámica en un parámetro clave: los valores de respuesta máxima, que son usualmente los requeridos por el diseñador para el cálculo de estructuras. Debemos aclarar, sin embargo, que los espectros de respuesta omiten información importante dado que los efectos del terremoto sobre la estructura dependen no solo de la respuesta máxima sino también de la duración del movimiento y del número de ciclos con demanda significativa de desplazamientos.

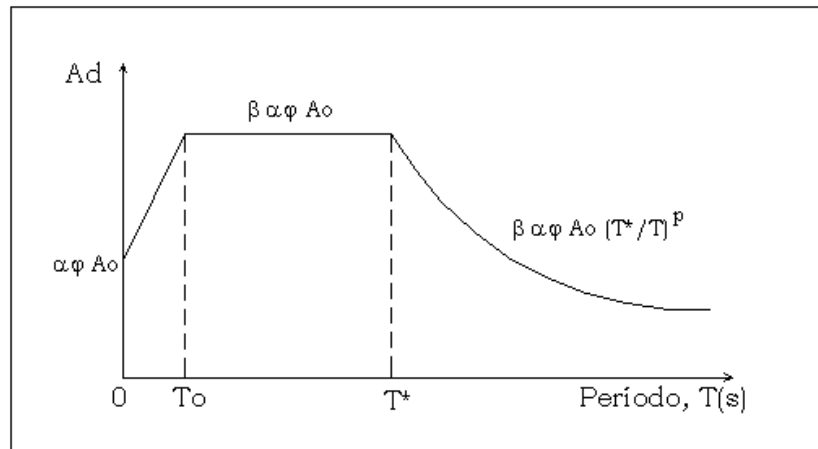


Figura 4 Espectro de respuesta

Fuente: (COVENIN 1756-2001)

2.2.1.3 Tipos de espectros de respuesta

- a) **Espectros de respuesta elástica:** representan parámetros de respuesta máxima para un terremoto determinado y usualmente incluyen varias curvas que consideran distintos factores de amortiguamiento. Se utilizan fundamentalmente para estudiar las características del terremoto y su efecto sobre las estructuras. Las curvas de los espectros de respuesta presentan variaciones bruscas, con numerosos picos y valles, que resultan de la complejidad del registro de aceleraciones del terremoto.
- b) **Espectros de respuesta inelástica:** son similares a los anteriores, pero en este caso se supone que el oscilador de un grado de libertad exhibe comportamiento no-lineal, es decir que la estructura puede experimentar deformaciones en rango plástico por acción del terremoto. Este tipo de espectros son muy importantes en el diseño sismorresistente, dado que por razones prácticas y económicas la mayoría de las construcciones se diseñan bajo la hipótesis que incursionarán en campo plástico. Como ejemplo, podemos mencionar los espectros de ductilidad (recordemos que ductilidad de desplazamientos es la relación entre el desplazamiento máximo que

experimenta la estructura y el desplazamiento de fluencia). Estos espectros representan la ductilidad requerida por un terremoto dado en función del periodo de vibración de la estructura y se grafican usualmente para distintos niveles de resistencia. También, se construyen espectros de aceleración, desplazamiento de fluencia o desplazamiento último de sistemas inelásticos, en donde se consideran distintos niveles de ductilidad o distintos tipos de comportamiento histérico de la estructura

c) Espectros de diseño:

Las construcciones no pueden diseñarse para resistir un terremoto en particular en una zona dada, puesto que el próximo terremoto probablemente presentará características diferentes. Por lo tanto, los espectros de respuesta elástica o inelástica, descritos previamente, no pueden utilizarse para el diseño sismorresistente. Por esta razón, el diseño o verificación de las construcciones sismorresistentes se realiza a partir de espectros que son suavizados (no tienen variaciones bruscas) y que consideran el efecto de varios terremotos, es decir que representan una envolvente de los espectros de respuesta de los terremotos típicos de una zona. Los espectros de diseño se obtienen generalmente mediante procedimientos estadísticos.

2.2.1.4 Período fundamental

El cálculo del período fundamental de vibración de una estructura de edificio es de gran importancia para el diseño sísmico de las estructuras ya que de no hacerlo se corre el riesgo de que el sistema suelo-estructura se encuentre dentro del rango en el cual ocurre el fenómeno de resonancia, propiciando efectos destructivos en la estructura, como resultado de la amplificación de acciones que genera la resonancia. Este parámetro es determinante en el comportamiento dinámico de las estructuras, por estas razones es importante calcular su magnitud, con la menor precisión posible. El período fundamental de vibración de las estructuras depende de sus propiedades geométricas dinámicas.

Los cálculos del periodo fundamental de vibración de la estructura se realizan para saber si las fuerzas sísmicas que se emplean para el diseño pueden ser reducidas, con ello se reduce el refuerzo que debe tener la estructura, resultando todo esto en un diseño más económico.

Ciertas propiedades dinámicas de los edificios, como el período de vibración fundamental, incidirán definitivamente en la magnitud y distribución de las fuerzas sísmicas dentro del edificio. El análisis dinámico de los edificios implica conocer ciertas propiedades que pueden calcularse a partir de un modelo matemático que represente su comportamiento estructural. En un proceso iterativo que parte de las fuerzas que proporciona el método de la fuerza horizontal equivalente se puede establecer cuál es el período del modo fundamental de vibración y cuál es su forma modal.

En cada dirección del análisis, el período calculado T aumenta al incrementarse la flexibilidad de la estructura. Por ta

y el período también.

Debe tenerse presente que los elementos no estructurales participan en la respuesta general de la estructura, aun cuando esta contribución se desprecie en los modelos de cálculo tanto en resistencia como en rigidez. Ignorar este hecho puede conducir a resultados de T del lado de la inseguridad.

A continuación, se presentará y detallará de forma ordenada del cortante basal mediante el método estático equivalente aplicando la norma COVENIN 1756-2001 “Edificaciones sismorresistentes”.

2.2.1.5 Norma COVENIN 1756-2001 “Edificaciones Sismorresistentes”

La presente Norma Venezolana establece los criterios de análisis y diseño para Edificaciones situadas en zonas donde pueden ocurrir movimientos sísmicos. Las disposiciones de esta Norma, tienen el objetivo de proteger vidas y aminorar los daños esperados en las edificaciones. Asimismo, mantener operativas las edificaciones esenciales. Para estas últimas, se realizarán estudios adicionales que aseguren su

funcionabilidad en caso de sismos extremos. Las disposiciones de esta Norma están orientadas al diseño de nuevas de concreto armado, de acero o mixtas de acero-concreto, de tipificarle, en las cuales se pueden utilizar simplificaciones fundamentadas en experiencias previas.

Zonificación Sísmica

El mapa de zonificación sísmica y sus valores presentado por la normativa venezolana se consideran representativos de probabilidades de excedencia de 10% para una vida útil de 50 años, es decir periodos de retorno de 475 años. Se fundamenta en la revisión de los mapas de zonificación sísmica conocidos (1898-1998), así como aquellos incorporados en diversos documentos técnicos y en estudios de amenaza sísmica hechos en el país en los últimos 15 años. De este modo, el nuevo mapa de zonificación tiene 8 zonas (Ver figura 5). Desde la Zona 0 donde no se considera acción sísmica, hasta la Zona 7 donde el coeficiente de la aceleración horizontal A_0 es igual a 0.40. El mapa de zonificación no debe alterarse como consecuencia de eventuales cambios en el ordenamiento territorial. En forma general se consideran de elevado peligro sísmico aquellas áreas donde se prescriben aceleraciones de diseño de por lo menos 0.30 g (Zonas 5, 6 y 7). Áreas donde se prescriben movimientos del terreno inferiores a 0.20 g son de bajo peligro sísmico (Zonas 1 y 2) y las zonas 3 y 4 son de peligro sísmico intermedio. (Ver tabla)

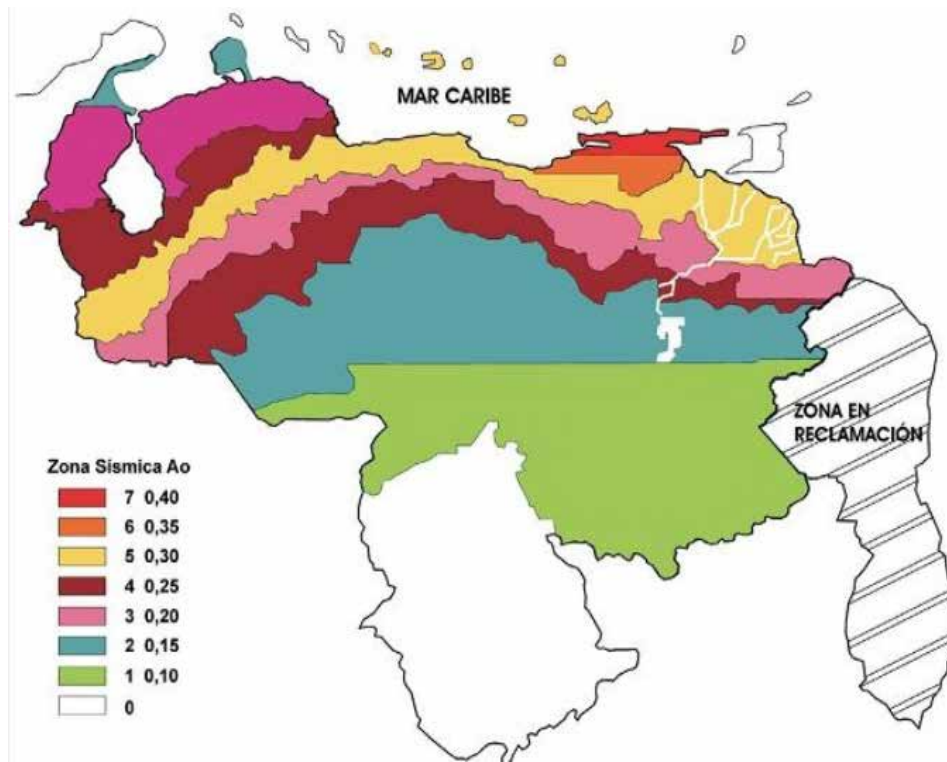


Figura 5 Zonificación sísmica

Fuente: (COVENIN 1756-2001)

2.2.1.6 Coeficiente de Aceleración Horizontal

Los parámetros que caracterizan los movimientos de diseño dependen de las condiciones geotécnicas locales establecidas en el mapa de zonificación sísmica. El coeficiente de aceleración horizontal para cada zona sísmica se da en la Tabla 4.1 de la norma COVENIN 1756-2001. El coeficiente de aceleración vertical, se tomará como 0.7 veces los valores de Ao dados en la Tabla 1.

ZONAS SÍSMICAS	PELIGRO SÍSMICO	A _o
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		-----

Tabla 1 Valores de Aceleración horizontal

Fuente: (COVENIN 1756-2001)

2.2.1.7 Clasificación según el uso de la edificación

Las edificaciones deberán ser clasificadas en los siguientes grupos:

Grupo A

Edificaciones que albergan instalaciones esenciales, de funcionamiento vital en condiciones de emergencia o cuya falla pueda dar lugar a cuantiosas pérdidas humanas o económicas, tales como:

Hospitales: Tipo IV, Tipo III y Tipo II

Edificios gubernamentales o municipales de importancia, monumentos y templos de valor excepcional.

Edificios que contengan objetos de valor excepcional, como ciertos museos y bibliotecas.

Estaciones de bomberos, de policía o cuarteles.

Centrales eléctricas, subestaciones de alto voltaje y de telecomunicaciones. Plantas de bombeo.

Depósitos de materias tóxicas o explosivas y centros que utilicen materiales radioactivos.

Torres de control, hangares, centro de tráfico aéreo.

Edificaciones educacionales.

Edificaciones que puedan poner en peligro algunas de este grupo.

GRUPO B1

Edificaciones de uso público o privado, densamente ocupadas, permanente o temporalmente como:

Edificios con capacidad de ocupación de más de 3000 personas o área techada de más de 20000 m².

Centros de salud no incluidos en el Grupo A.

Edificaciones clasificadas en los Grupos B2 o C que puedan poner en peligro las de este grupo.

GRUPO B2

Edificaciones de uso público o privado, de baja ocupación, que no excedan los límites indicados en el grupo B1, tales como:

Viviendas.

Edificios de apartamentos, de oficinas u hoteles

Bancos, restaurantes, cines y teatros.

Almacenes y depósito.

Toda edificación clasificada en el grupo C, cuyo derrumbe pueda poner en peligro las de este grupo.

GRUPO C

Construcciones no clasificables en los grupos anteriores, ni destinadas a la habitación o al uso público y cuyo derrumbe no pueda causar daños a edificaciones de los tres primeros Grupos.

Las edificaciones de usos mixtos serán clasificadas en el grupo más exigente.

2.2.1.8 Factor de importancia

-2001 hace referencia a que las edificaciones establecidas en los Grupos ya mencionados deberán diseñarse para movimientos sísmicos asociados a probabilidades de excedencia de 10% para una vida útil de 50 años lo que equivale a un periodo de retorno de 475 años en el caso de los incluidos en el GRUPO B2, ahora para las edificaciones de mayor importancia (GRUPO A y B1) deben diseñarse para menores probabilidades de excedencia durante la misma vida útil, o para probabilidades de excedencia similares durante una vida útil mayor, del orden de 75 años y para el Grupo A de 100 años de

vida útil. La aplicación de un factor de importancia a mayor que la unidad, es garantizar valores de la aceleración del terreno asociados a una menor probabilidad de excedencia para la misma vida útil. Ver Tabla 2

-2001 hace referencia a que las edificaciones establecidas en los Grupos ya mencionados deberán diseñarse para movimientos sísmicos asociados a probabilidades de excedencia de 10% para una vida útil de 50 años lo que equivale a un periodo de retorno de 475 años en el caso de los incluidos en el GRUPO B2, ahora para las edificaciones de mayor importancia (GRUPO A y B1) deben diseñarse para menores probabilidades de excedencia durante la misma vida útil, o para probabilidades de excedencia similares durante una vida útil mayor, del orden de 75 años y para el Grupo A de 100 años de vida útil. La aplicación de un factor de importancia a mayor que la unidad, es garantizar valores de la aceleración del terreno asociados a una menor probabilidad de excedencia para la misma vida útil. Ver Tabla 2

GRUPO	
A	1.30
B1	1.15
B2	1.00

Tabla 2 FACTOR DE IMPORTANCIA

Fuente: (COVENIN 1756-2001)

2.2.1.9 Clasificación según el Nivel de Diseño (ND)

Nivel de Diseño 1

Corresponde a sistemas estructurales diseñados sin que se exija el cumplimiento de las especificaciones COVENIN para el dimensionamiento y detallado de miembros y conexiones en zonas sísmicas. Pero deben diseñarse para resistir mayores solicitaciones sísmicas que con otros niveles de diseño, debido a los menores valores admitidos del factor de reducción de respuesta R. Se considera que el cumplimiento de las especificaciones de detallado para cargas gravitacionales y de viento confiere a las

estructuras de una pequeña ductilidad, que es asumida mediante valores R algo mayores de 1. Por lo que el diseño en zonas sísmicas no requiere la aplicación de requisitos adicionales a los establecidos para acciones gravitacionales.

Nivel de Diseño 2

Solo requiere la aplicación de algunas especificaciones COVENIN para el diseño y construcción en zonas sísmicas, estas confieren una cierta ductilidad al sistema resístete a sismos y a evitar fallas prematuras en las regiones críticas de los elementos portantes del sistema.

Nivel de Diseño 3

Requiere la aplicación de forma estricta de todas las disposiciones COVENIN para el diseño y detallado de los miembros estructurales y construcción en zonas sísmicas.

El conferir suficiente ductilidad local a determinadas zonas donde pueden aceptarse deformaciones inelásticas, junto con el adecuado mantenimiento de ciertos miembros y conexiones en rango elástico, permite disipar gran cantidad de energía sin pérdida de estabilidad de la edificación.

Existen áreas y/o componentes en los cuales debe extenderse el cumplimiento de los requerimientos de Diseño ND3. Ver Tabla 3

TIPO DE IRREGULARIDAD		ÁREAS O COMPONENTES
VERTICAL	Entrepiso blando	Todos los componentes del entrepiso Y de los dos entrepisos adyacentes.
	Entrepiso débil	
	Discontinuidad en el plano del Sistema resistente a cargas laterales	Los componentes donde ocurre la discontinuidad y todos los componentes adyacentes.
	Columnas cortas	
EN PLANTA	Riesgo torsional elevado	Toda la estructura
	Diafragma flexible	Todos los componentes que se vinculan al diafragma en referencia.

Tabla 3 Áreas donde se requiere cumplimiento ND3

Fuente: (COVENIN 1756-2001)

2..2.1.10 Clasificación según el Tipo de Estructura

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

TIPO II

Estructuras constituidas por combinaciones de los Tipos I y III, teniendo ambos el mismo nivel de diseño. Su acción conjunta debe ser capaz de resistir la totalidad de las fuerzas sísmicas. Los pórticos por si solos deberán estar en la capacidad de resistir por lo menos el 25% de estas fuerzas.

TIPO III

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

TIPO IV

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

2.2.1.11 Formas espectrales

La respuesta dinámica del suelo depende de las características del perfil geotécnico y de la zona sísmica donde el mismo este ubicado. En general, para fines de ingeniería resultan de interés las aceleraciones espectrales y aceleración máxima en la superficie del terreno. En la práctica común, los códigos de diseño sismorresistente tipifican las formas de los espectros de respuesta en “formas espectrales normalizadas” considerando las condiciones del terreno de fundación y definen las aceleraciones esperadas en sitios rocosos a partir de estudios de amenaza sísmica. Más reciente, algunos códigos han comenzado a considerar la variación de la aceleración máxima en la superficie del terreno debida a las características del perfil geotécnico. Los espectros

de respuesta se deben generalizar e idealizar de acuerdo con los parámetros inherentes al suelo y su forma de depósito los cuales controlan la respuesta dinámica. Se debe destacar que los conceptos de perfil geotécnico y forma espectral se consideran de forma diferente, debido a que muchos perfiles geotécnicos pueden tener respuestas similares o el mismo depósito puede tener respuestas diferentes ante sismos lejanos y cercanos. Por tal motivo, es necesario considerar conjuntamente los parámetros del suelo, los del depósito y los de las fuentes sísmicas cuando se trate de predecir la respuesta dinámica.

Las velocidades de las ondas de corte resultan un parámetro de singular importancia para definir las características de la respuesta de un perfil, la norma da algunos valores característicos para la velocidad de propagación de ondas de corte; V_s , y su relación con otros parámetros generalmente incluidos en los estudios de suelos convencionales. Además la velocidad de las ondas de corte, la profundidad de los perfiles y las condiciones del material también juegan un papel fundamental en la selección de la forma espectral tipificada. Las formas espectrales tipificadas S1 a S4 (ver figura 6) también toman en cuenta, además de los parámetros característicos (ver Tabla 4), otros tales como la distancia epicentral, las propiedades sísmo elásticas locales, el tipo de suelo, la dirección de aproximación de las ondas sísmicas, la profundidad de los depósitos y la estratigrafía.

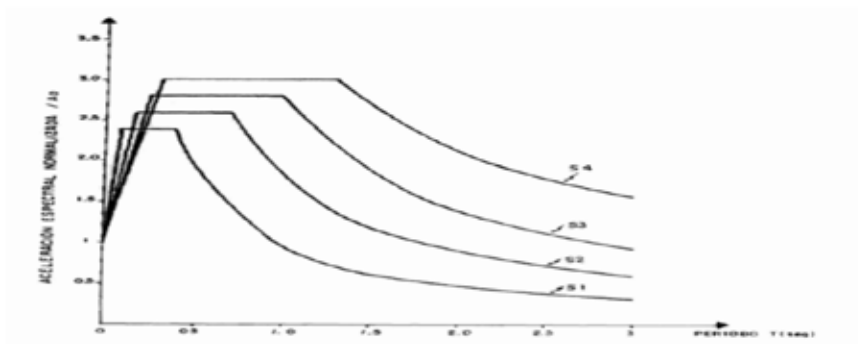


Figura 6 Formas espectrales tipificadas

Fuente: COVENIN (1756-2001)

Material	Vps (m/s)	H (m)	Zonas sísmicas 1 a 4		Zonas sísmicas de 5 a 7	
			Forma espectral		Forma espectral	
Roca sana/fracturada	>500	-	S1	0.85	S1	1.00
Roca blanda o meteorizada y suelos Muy duros o muy blandos	>400	<30	S1	0.85	S1	1.00
		30- 50	S2	0.80	S2	0.90
		>50	S3	0.70	S2	0.90
Suelos duros o densos	250- 400	<15	S1	0.80	S1	1.00
		15- 50	S2	0.80	S2	0.90
		>50	S3	0.75	S2	0.90
Suelos firmes/medio densos	170- 250		S3	0.70	S2	0.95
		>50	S3 (a)	0.70	S3	0.75
Suelos blandos/sueltos	<170		S3	0.70	S2	0.90
Suelos blandos o sueltos (b) intercalados con Suelos más rígidos		>15	S3 (a)	0.70	S3	0.80
	-	H1	S3 (c)	0.65	S2	0.70

- a) Si $A_o = 0.15$ úsese S4
b) El espesor de los estratos blandos o sueltos ($V_s < 170$ m/s) debe ser mayor que $0.1 H$.
c) Si H1 $0.25 H$ y $A_o = 0.20$ úsese S4

Tabla 4 Forma espectral y Factor de corrección

Fuente: COVENIN (1756-2001)

2.2.1.12 Factor de Reducción de Respuesta R

Incorpora la capacidad de absorción y disipación de energía de la estructura cuando incursiona en el rango inelástico ante la acción sísmica.

En su forma más simple el factor de reducción de respuesta R, toma en consideración la ductilidad D, y el factor de sobrerresistencia. La ductilidad global y la sobrerresistencia de la estructura infiere de estudios analíticos o experimentales, o de adecuadas comparaciones con estructuras tipificadas o previamente estudiadas, e incorpora los grados de ductilidad local existentes, estos dependen del tipo de detallado y los mecanismos previstos de absorción y disipación de energía, estos factores reducen las fuerzas elásticas para sistemas (o modos) de periodos largos. Sin embargo, para periodos cortos es menor. (Ver Tabla 5).

Nivel de diseño	Estructuras de concreto armado				
	Tipo de estructura				
	I	II	III	IIIa	IV
ND3	6.0	5.0	4.5	5.0	2.0
ND2	4.0	3.5	3.0	3.5	1.5
ND1	2.0	1.75	1.5	2.0	1.25

Tabla 5 Factores de Reducción de Respuesta R

Fuente: COVENIN (1756-2001)

2.2.1.13 Cálculo del Período Fundamental

La norma incorpora el cálculo de los periodos fundamentales de vibración en cada dirección de análisis, por medio del método de Rayleigh. Para simplificar su aplicación se ha supuesto una distribución lineal de aceleraciones del primer modo de vibración, con un corte basal seleccionado igual al peso total de la edificación.

En cada dirección de análisis el período fundamental T se calculará según se establece en la fórmula siguiente:

$$\frac{\sum_{i=1}^N Q_i^2}{\sum_{i=1}^N W_i h_i^2}$$

Donde:

Q_i = Fuerza lateral aplicada en el centro de masas del nivel i del edificio y dad por:

$$Q_i = \frac{W_i h_i}{\sum_{i=1}^N W_i h_i}$$

W= Peso total de la edificación.

W_i = Peso del nivel i.

(h_i) = altura del nivel medida desde la base.

Q_i .

N= Numero de niveles de la edificación.

(g)= Aceleración de la gravedad.

Este valor T del período fundamental calculado no excederá el valor 1.4 Ta

a) Ta= **Para edificaciones Tipo I**

Ct= 0.07 para edificios de concreto armado o mixtos de acero-concreto.

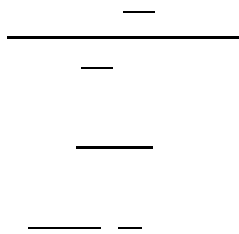
Ct= 0.08 para edificios de acero.

(hn)= Altura de la edificación medida desde el último nivel cuyos desplazamientos estén restringidos total o parcialmente.

b) Ta= **Para edificaciones Tipo II**

2.2.1.14 Cálculo del espectro de Diseño

Las ordenadas Ad de los espectros de diseño, quedan definidas en función de su periodo T en la forma siguiente:



Donde:

Ad= ordenada del espectro de diseño, expresada como una fracción de la aceleración de gravedad.

Ao= Coeficiente de aceleración horizontal.

To= 0.25 período a partir del cual los espectros normalizados tienen un valor constante (seg).

T*= Máximo período en el intervalo donde los espectros normalizados tienen un valor constante (seg). Ver Tabla 6

T+ = Período característico de variación de respuesta dúctil (seg). (ver Tabla 7)

R= Factor de reducción de respuesta.

P= Exponente que define la rama descendente del espectro. (Ver tabla 6)

FORMA ESPECTRAL	T* (seg)		P
S1	0.4	2.4	1.0
S2	0.7	2.6	1.0
S3	1.0	2.8	1.0
S4	1.3	3.0	0.8

Tabla 6

Fuente: COVENIN (1756-2001)

CASO	
R<5	0.1(R-1)
R	0.4

Tabla 7 Valores de T+

Fuente: COVENIN (1756-2001)

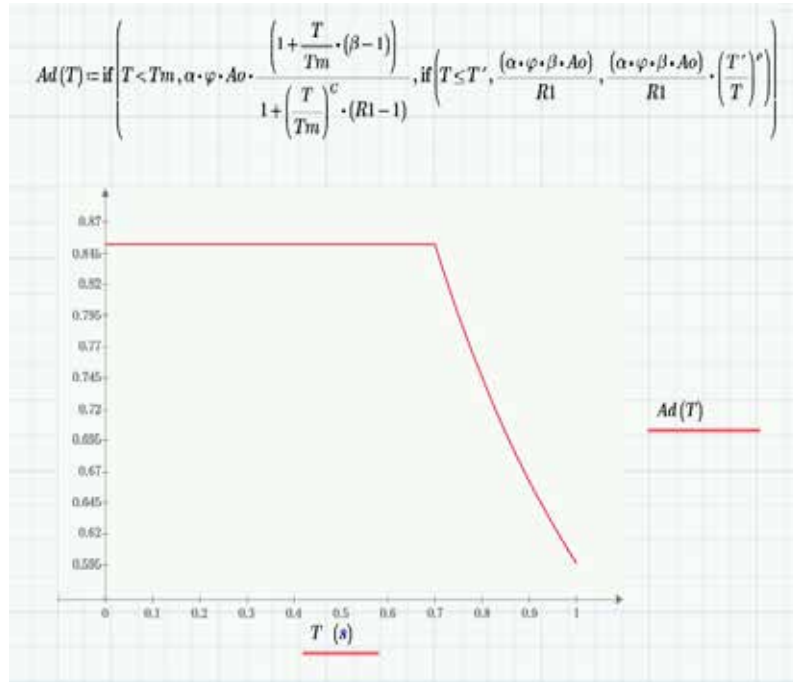


Figura 7

=0.95, P=1

Fuente: Ladino. E y Núñez. W, (2018)

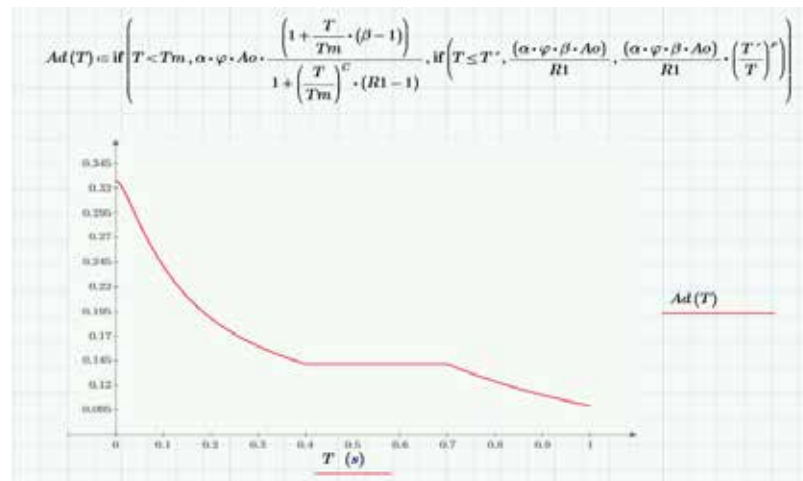


Figura 8 Espectro de diseño para R=6,

=0.95, P=1

Fuente: Ladino. E y Núñez. W, (2018)

2.2.1.15 Cálculo de la fuerza cortante basal

Donde:

Se escoge el mayor de los valores:

— —

W= peso sísmico de la estructura.

Ad= espectro de diseño

El valor V_0/W debe ser mayor o igual que el coeficiente sísmico mínimo.

2.2.1.16 Cálculo y verificación del Coeficiente Sísmico y distribución vertical de las fuerzas de Diseño debido a los efectos traslacionales.

Coeficiente sísmico viene dado por:

—

Distribución vertical de las fuerzas viene dado por:

Donde:

Ft= fuerza lateral concentrada en el nivel N calculada de acuerdo con la siguiente expresión:

—

y acotada entre los límites siguientes:

F_i = Fuerza lateral correspondiente al nivel i , calculada según la siguiente fórmula:

Donde:

W_j = Peso del nivel j de la edificación.

(h_j) = Altura medida desde la base hasta el nivel j de la edificación.

Las fuerzas F_i y F_t se aplicarán en los centros de masas del respectivo nivel.

Cuando en el último nivel N haya estructuras tales como salas de máquina, avisos luminosos y otras similares, se aplicarán los criterios del Artículo 7.3 de la Norma. Excepcionalmente este también podría ser el caso cuando exista un estanque de agua.

2.2.2 Análisis Dinámico

2.2.2.1 Estructuras simples

El estudio de la dinámica estructural se inicia con la consideración de estructuras simples, para comprender como actúa la vibración de estas estructuras una vez aplicada una fuerza lateral en la parte superior o un movimiento horizontal originado por un sismo. Estas estructuras se llaman simples porque se pueden idealizar como una masa m concentrada soportada por una estructura sin masa con rigidez k en la dirección lateral.

En la siguiente figura se mostrarán algunas de estructuras simples y la idealización respectiva de cada una de ellas. (ver figura 9)

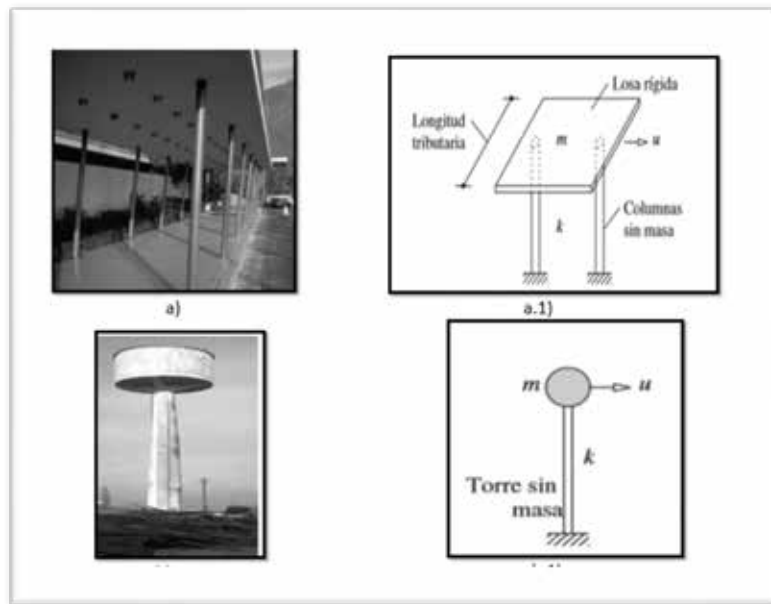


Figura 9 Estructuras simples y su idealización estructural.

Fuente: Anil K. Chopra (2008)

2.2.2.2 Sistema de un grado de libertad

En el sistema considerado en la figura, se compone básicamente de una masa m concentrada en un nivel del techo, un marco sin masa que proporciona rigidez al sistema, y un amortiguador viscoso que disipa la energía de vibración del sistema. (ver figura 10)

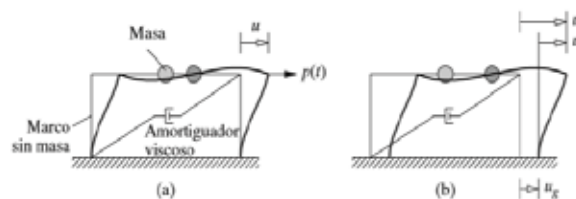


Figura 10 Sistema de un grado de libertad (a) fuerza aplicada P ; (b) movimiento del terreno inducido por sismo.

Fuente: Análisis dinámico de estructuras; 4ta Edición – Anil K. Chopra (2008)

Se supone que la viga y las columnas son axialmente indeformables. Este sistema puede considerarse como una idealización de una estructura de un nivel. Cada elemento estructural (viga, columna, muro, etc.) de la estructura real contribuye a las propiedades inerciales (masa), elásticas (rigidez o flexibilidad) y de disipación de energía (amortiguamiento) de la estructura. Sin embargo, en el sistema idealizado, cada una de estas propiedades se concentra en tres componentes puros distintos como lo es, el componente de masa, el componente de rigidez y el componente de amortiguamiento. El número de desplazamientos independientes requerido para definir las posiciones desplazadas de todas las masas en relación con su posición original se denomina número de grados de libertad (GDL) para el análisis dinámico. De manera típica, se requieren más grados de libertad más (GDL) para definir las propiedades de rigidez de una estructura que los GDL necesarios para representar las propiedades inerciales. Considere el marco de un nivel de la figura mostrada anteriormente, restringido a moverse sólo en la dirección de la excitación. El problema de análisis estático debe formularse con tres grados de libertad (el desplazamiento lateral y la rotación de los nudos) para determinar la rigidez lateral del marco. En contraste, la estructura tiene un (GDL) que es el desplazamiento lateral para el análisis dinámico si se idealiza con la masa concentrada en una ubicación, por lo general al nivel del techo. Por lo tanto, se llama sistema de un grado de libertad. En la figura se consideran dos tipos de excitación dinámica; la fuerza externa \mathbf{p} en la dirección lateral, y el movimiento del terreno \mathbf{u}_g inducido por un sismo. En ambos casos \mathbf{u} indica el desplazamiento relativo entre la masa y la base de la estructura.

2.2.2.3 Vibración libre

Se dice que una estructura experimenta vibración libre cuando es perturbada de su posición de equilibrio estático y después se deja vibrar sin ninguna excitación dinámica externa. La razón de decaimiento del movimiento en vibración libre esta contralada por la fracción de amortiguamiento. Así, los resultados analíticos que describen la vibración libre proporcionan una base para determinar la frecuencia

natural y la fracción de amortiguamiento de una estructura a partir de datos experimentales.

2.2.3 Análisis dinámico plano

Este análisis se realiza bajo el método de superposición modal con grado de libertad por nivel; el análisis modal es aplicable para calcular la respuesta elástica lineal de estructuras de varios grados de libertad. La respuesta de la estructura es determinada mediante la superposición de las respuestas individuales en cada uno de sus modos naturales de vibración. Cada modo está caracterizado por su propio patrón de deformaciones, es decir, su forma modal, así como su propio amortiguamiento. El uso de los espectros de respuestas especificados anteriormente, suponen simplificada que la edificación tiene el mismo coeficiente de amortiguamiento en cada uno de sus modos de vibración igual al 5%. La respuesta de la estructura puede modelarse, por tanto, en términos de la respuesta de un cierto número de osciladores de un grado de libertad, cuyas propiedades representan los distintos modos y el grado en el cual cada modo es excitado por el movimiento sísmico.

Ensayos a escala natural y análisis de la respuesta sísmica de las estructuras de edificios, han comprobado que el método de análisis elástico modal con la acción sísmica descrita por su espectro de respuesta, constituye una buena aproximación para el análisis de la respuesta inelástica.

A continuación, se presentan los lineamientos técnicos según FONDONORMA COVENIN 1756-2001 para el Método de Superposición Modal de Un Grado de Libertad por Nivel dispuesto en el capítulo 9.

2.2.3.1 Modelo Matemático

El procedimiento de análisis modal establecido en la norma, es una simplificación del caso más general, considerando un grado de libertad por nivel, es decir, traslación en una dirección del plano. El método dinámico plano determina las fuerzas inerciales de la edificación en estudio, tomando en cuenta sus propiedades dinámicas. Una vez calculados los cortes a nivel de piso y otras variables de la respuesta

para cada uno de los modos que se consideren para luego establecer la combinación modal para el diseño. Cuando el número de niveles es muy grande, ocasionalmente las masas de dos niveles o más pueden agruparse en una sola, para así reducir el volumen de cálculo que conduce a la distribución de fuerzas cortantes.

2.2.3.2 Modos de vibración

Las formas modales y sus correspondientes períodos de vibración se obtienen a partir de la aplicación de cualquiera de los procedimientos conocidos para resolver el problema de autovalores y autovectores de la ecuación dinámica de una estructura. La matriz de rigidez lateral de la estructura que debe usarse en la ecuación dinámica se obtenga mediante la aplicación completa de los métodos matriciales, es decir construyendo la matriz general de la estructura (incluyendo todos los grados de libertad significativos) y luego condensándola a los grados de libertad de los diafragmas en la dirección del análisis.

2.2.3.3 Numero de modos de vibración

El número de modos está directamente relacionado con el porcentaje de masa participativa de la estructura, algunas normas como (ICBO,1997; FEMA, 1997; ICC, 2000) estipulan que se incorpore un número mínimo de modos que englobe el 90%.

El efecto de los modos superiores en la máxima respuesta dinámica depende principalmente del tipo de sistema estructural, del número de pisos y de la ubicación de los periodos naturales del edificio en el espectro sísmico considerado. La recomendación incluida en la norma incorpora únicamente estos dos últimos factores en la determinación del número mínimo de modos requeridos en el análisis.

En cada dirección, el análisis debe por lo menos incorporar el número de modos N_1 que se indica a continuación:

- a) Para edificios con menos de 20 pisos:

— —

b) Para edificios con 20 pisos o más:

— —

Donde T_1 es el Período fundamental.

Los valores N_1 deben redondearse al entero superior. Para estructuras menos de 3 pisos, el número de modos a incorporar es igual al número de pisos. Cuando el modelo de la edificación incluya apéndices o pisos superiores con una reducción significativa en sus áreas y masas, el valor de N_1 deberá incrementarse en un número igual a dos veces el número de niveles del apéndice.

Un aspecto fundamental del análisis modal es el hecho de que la respuesta sísmica puede calcularse como la combinación de respuesta independientes del edificio vibrando en cada uno de los modos considerados. Cuando el edificio vibra en un modo, con su propio período, alcanza valores máximos modales de corte en la base, fuerzas por nivel, desplazamientos de piso, momentos, etc. El máximo corte basal correspondiente al modo j se calcula con el producto de la aceleración modal A_{dj} por el peso efectivo correspondiente a ese modo. El coeficiente A_{dj} se determina para cada modo según los valores dados en el artículo 7.2 de la norma, usando el correspondiente período T . El cortante V_{oj} no es más que la suma de las fuerzas laterales en cada nivel F_{kj} . Con el mismo concepto se calcula la fuerza cortante en un nivel cualquiera p , correspondiente al modo k :

Los valores modales que deben combinarse son aquellos que sean de interés o influyentes en el diseño o en el control de desplazamientos. Por ejemplo, pueden combinarse las solicitaciones de los miembros correspondientes a cada modo. Casi siempre resulta conservador diseñar los miembros a partir de las fuerzas cortantes de piso combinadas, motivo por el cual puede obviarse la combinación detallada de las solicitaciones de los miembros. Puede comprobarse que estimas la fuerza cortante de piso combinada mediante la suma de las fuerzas laterales combinadas puede ser muy conservador. Las fuerzas cortantes de piso calculadas como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los máximos en cada vibración, generalmente conducen a momentos de volcamiento mayores que los reales, por lo que en algunos casos puede ser aconsejable evaluar estos últimos.

2.2.3.4 Análisis para el cálculo del cortante basal por el Método Dinámico Plano

El cortante basal V_{0j} en la base del edificio en el modo j , está dado por:

Siendo:

respuestas en el modo j .

M_k = masa del piso K .

nada modal del piso k en el modo j .

M = Masa total del edificio, o masas participativas, asociada con la respuesta en el modo j .

El desplazamiento máximo U_{kj} y la fuerza lateral F_{kj} en el piso k del modo j están dados por:

Donde:

T_j = período de vibración del modo j .

A_{dj} = Ordenada del espectro de diseño para el modo de período T_j .

G = Aceleración de la gravedad.

2.2.4 Control del cortante basal

La norma establece en su Artículo 7.1 una cota inferior al coeficiente sísmico V_o/W . Adicionalmente, el valor V_o obtenido por este procedimiento de superposición modal, no debe ser inferior a V_o^* , calculado por el Método Estático Equivalente con un periodo fundamental igual a $1.6 T_a$.

Esta segunda limitación persigue acotar reducciones excesivas que pudiesen ocurrir si los períodos naturales calculados resulten sensiblemente mayores que los reales, teniendo en cuenta que los períodos de vibración reales son generalmente menores, debido al efecto rigidizante de los elementos no estructurales, aún para movimientos de amplitud moderada.

Si se efectúan modificaciones en el cortante basal debe aplicarse en la misma proporción a las fuerzas cortantes de cada nivel y a cualquier otra sollicitación de interés.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se incluirá las acciones o pasos a seguir con el objeto de describir y analizar el fondo del problema planteado, así mismo se incluye el tipo, nivel y diseño de la investigación, las correspondientes fases de investigación que serán usadas en el presente trabajo, la población y muestra seleccionada y las técnicas e instrumentos de recolección de datos a utilizar. Así mismo Arias (2006) explica el marco metodológico como el “Conjunto de pasos, técnicas y procedimientos que se emplean para formular y resolver problemas” (p.16).

3.1 Tipo de investigación:

Para Méndez (2007, p. 228), al desarrollar el tipo de investigación se debe considerar “el nivel de conocimiento científico (observación, descripción, explicación) al que espera llegar el investigador, se debe formular el tipo de estudio”.

Entre tanto, Tamayo (2007), refiere cuando se va a resolver un problema en forma científica, es conveniente conocer los tipos de investigaciones existentes para evitar equivocaciones en la elección del método adecuado para un procedimiento específico.

Adicionalmente, Chávez (2007, p. 133), expresa que el tipo de investigación “se determina de acuerdo con el tipo de problema que el lector desea solucionar, objetivos que pretenda lograr y disponibilidad de recursos”. El investigador debe indagar sobre que otros criterios clasificarán su estudio, con el objeto de completar tal explicación, señalando de esta manera las razones consideradas para incluirlas en los diversos tipos, basándose en la realidad de su trabajo científico.

3.2 Diseño Investigativo:

Según Bavaresco (2006), lo más recomendados son los diseños bibliográficos y de campo, siendo este último experimental, postfacto, encuesta, panel y el estudio de casos.

Al mismo tiempo, Tamayo (2007, p.110), argumenta “cuando los datos se recogen directamente de la realidad, por lo cual se denomina primarios, su valor radica en que permiten cerciorarse de las verdaderas condiciones en que se han obtenido los datos”.

En tal sentido, la presente investigación de acuerdo con los objetivos planteados, entramos en una investigación de analítico-descriptivo al realizar un análisis comparativo del método estático equivalente y el método dinámico plano, específicamente en pórticos de concreto armado. En otro orden de ideas, Arias (2004), considera a la investigación documental como el proceso basado en la búsqueda y análisis de datos secundarios, es decir, datos registrados por otros investigadores en fuentes documentales, impresas audiovisuales o electrónicas.

La presente investigación de campo cumple con las características descritas, ya que en el desarrollaremos cada método de cálculo, se describirán los aspectos que lo conforman, se procederá también a un análisis comparativo, para ampliar el conocimiento de sus ventajas y desventajas frente a un mismo problema de cálculo estructural. Por otra parte, es un diseño de investigación experimental, ya que se establecerá un análisis comparativo entre cada método de cálculo estructural, sin pretender establecer una relación causa-efecto.

3.3 Nivel de investigación

Igualmente, Hurtado (2006), la investigación alcanza un nivel comprensivo de carácter descriptivo; es decir, que se estudia el evento en su relación con otros eventos y se caracteriza dentro de un contexto particular, captando la presencia del evento, enumerando sus características y describiendo el desarrollo o los procesos de cambio a lo largo del tiempo”. Es decir, a partir de la descripción de los lineamientos y la definición de las metodologías de diseño se realizar un análisis comparativo de las

metodologías y lineamientos técnicos normativos para el análisis sismorresistente mediante el método estático equivalente y el análisis dinámico plano en pórticos regulares e irregulares de concreto reforzado según norma COVENIN 1756-2001, aportando una valiosa información a la comunidad ingenieril venezolana con respecto a las edificaciones que se requieran construir.

3.4 Técnica e instrumentación de recolección de datos:

Al hablar de técnica, Falcón y Herrera (2005), estipulan lo siguiente: “se entiende como técnica el procedimiento o forma particular de obtener datos o información”. La aplicación de una técnica conduce a la obtención de información, la cual debe ser resguardada mediante un instrumento de recolección de datos, lo cual según los autores antes mencionados “son dispositivos o formatos (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información”. La selección de técnicas e instrumentos de recolección de datos implica determinar por cuales medios los investigadores obtendrán la información necesaria para alcanzar los objetivos de la investigación.

Para el desarrollo de los objetivos trazados en esta investigación será necesario de utilizar la técnica de observación documental, resumen analítico y análisis crítico. A partir de la observación documental como punto de inicio en el análisis de las fuentes documentales, mediante una lectura general de textos se dará inicio a la búsqueda y observación de hechos de interés para la investigación, haciendo referencia a la bibliografía existente de análisis sismorresistente y análisis dinámico de edificaciones. Se incorporará la técnica de resumen analítico para descubrir la estructura de los textos consultados y delimitar sus contenidos básicos en función de los datos que se precisan conocer. Mientras que la técnica de análisis crítico aportara su evaluación interna centra en el desarrollo lógico y la solidez de las ideas de los autores de la investigación.

En cuanto al análisis cuantitativo, Sabino (2001), plantea que en este caso se efectúa naturalmente, con toda la información numérica resultante de la investigación. Mostrando la información recolectada en cuadros y medidas, calculando sus porcentajes. En la presente investigación tal análisis se realizó mediante la interpretación de respuestas emitidas al realizar los siguientes pasos:

Describir el procedimiento de los métodos.

Establecer la metodología para realizar el método estático equivalente y el método dinámico plano.

Realizar los cálculos matemáticos para obtener la respuesta sísmica usando ambos métodos.

Comparar el método estático equivalente y método dinámico plano, en estructuras regulares e irregulares en pórticos de concreto armado.

3.5 Fases metodológicas

En la presente investigación, se divide en cuatro fases, la primera fase se describe como la metodología para realizar el método estático equivalente y el método dinámico plano, se realizan los cálculos matemáticos para obtener la respuesta sísmica en ambos métodos.

Fase I: Ordenar procedimiento para realizar el método estático equivalente y el método dinámico plano.

Se realiza un ordenamiento para realizar el Método Estático Equivalente y el Método Dinámico Plano, nos enfocamos en los pasos a seguir para que se pueda desarrollar dicho método, pautando cada lineamiento, con el objetivo de un estudio sistemático del procedimiento mediante diagramas de flujos.

Fase II: Realizar hoja de cálculo aplicada los métodos en estudio

Se programa hojas de cálculo que permita resolver los diferentes modelos matemáticos a estudiar por el método estático equivalente y el método de análisis dinámico plano según el ordenamiento previamente establecido.

Fase III: Aplicación metodológica del Método Estático Equivalente y Método Dinámico Plano.

Se aplicará las metodologías variando los parámetros sísmicos que modifican el espectro de diseño para pórticos planos de concreto reforzado regulares e irregulares.

Fase IV Comparar el método estático equivalente y el método dinámico plano.

Al comparar un método con otro tomamos en cuenta todas las fases anteriores, y se realizará un análisis cualitativo de cómo se desenvuelven cada uno, guiándonos hacia su descripción, su metodología de cálculo, y sus cálculos matemáticos, donde se enfocarán las ventajas y desventajas cada método frente al otro.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Luego de haber planteado el objetivo general y los objetivos específicos del presente trabajo, haber realizado la investigación teórica y metodológica respectiva, es necesario presentar el registro de los resultados obtenidos producto del desarrollo de cada fase definida durante el análisis metodológico del trabajo especial de grado.

4.1. Ordenamiento del procedimiento para la aplicación del Método Estático Equivalente y El Método Dinámico Plano establecido por la norma venezolana sismorresistente 1756-2001.

A continuación, se presenta un flujograma que describe el procedimiento detallado y ordenado de la aplicación del Método Estático Equivalente y el Método Dinámico Plano dispuesto en la Norma COVENIN 1756-2001.

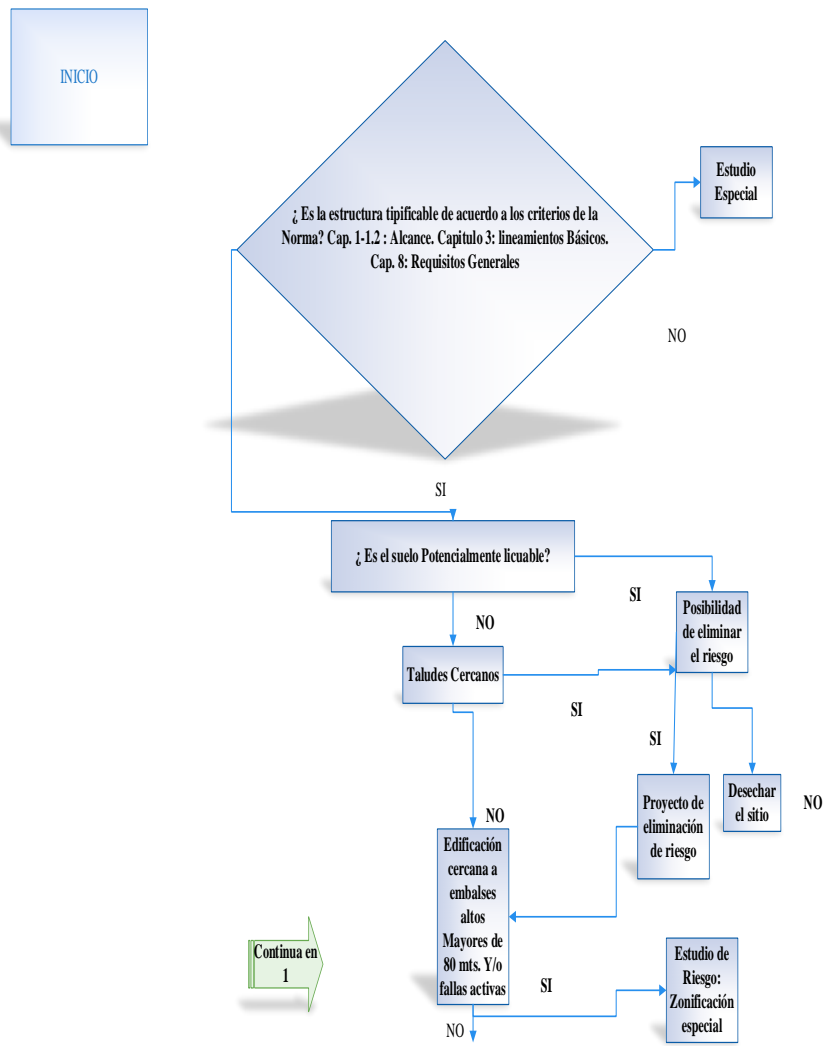
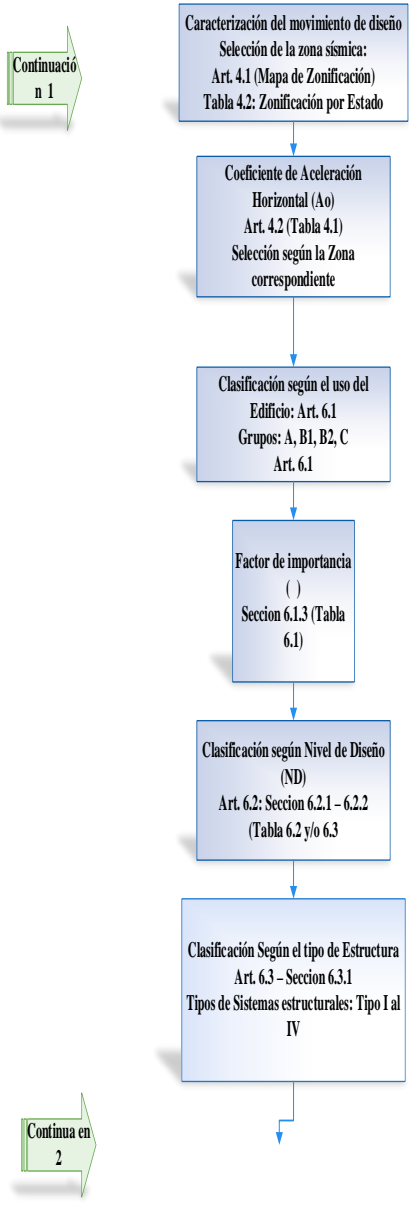


Figura 11 Flujograma para aplicación del Método Estático Equivalente y Análisis Dinámico Plano

Fuente: Ladino. E y Núñez. W, (2018)



Resumen clasif. Sección 6.1.1
 Grupo A: Edif. Que albergan Instalaciones esenciales
 Grupo B1: Edif. De uso público o privado densamente ocupados
 Grupo B2: Edif. De uso público o privado de baja ocupación.
 Grupo C: no clasificables en los anteriores y cuyo derrumbe no cause daños a Edif. Grupos A, B1, B2

Nivel de diseño:
 ND: No requiere la aplicación de requisitos adicionales a los establecidos para cargas gravitacionales.
 ND2: Requiere aplicación de algunos requisitos adicionales para el diseño en zonas sísmicas

Figura 12 Flujograma para aplicación del Método Estático Equivalente y Análisis Dinámico Plano

Fuente: Ladino. E y Núñez. W, (2018)

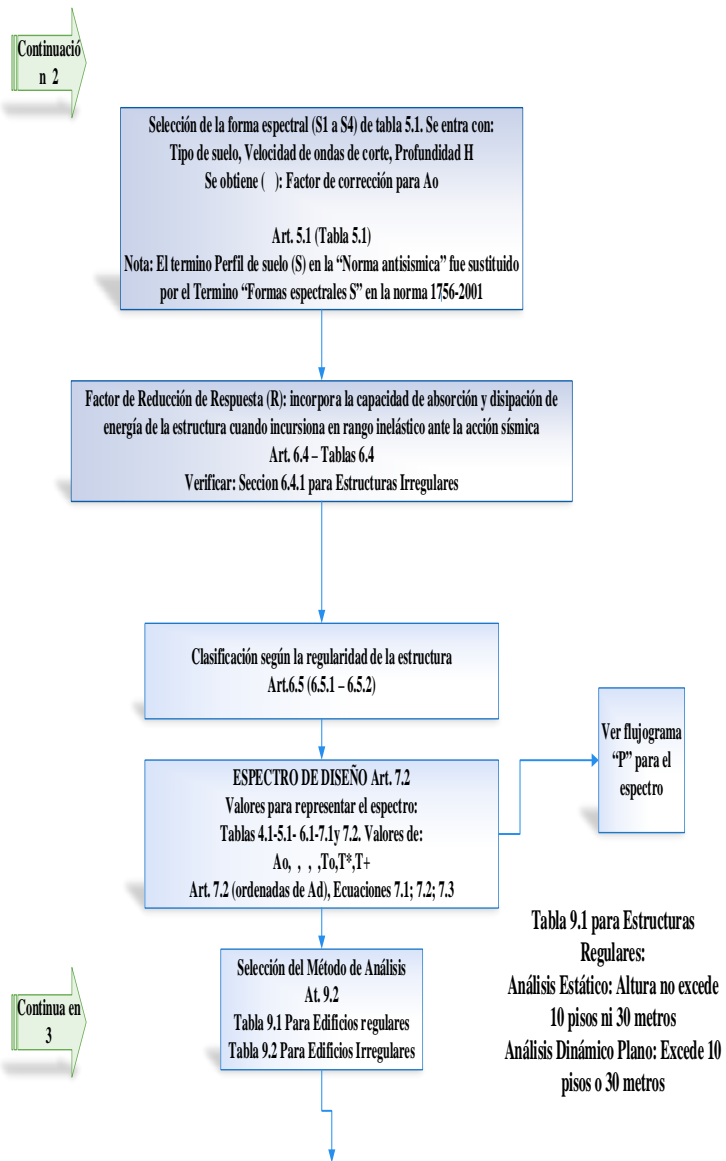


Figura 13 Flujoograma para aplicación del Método Estático Equivalente y Análisis Dinámico Plano

Fuente: Ladino. E y Núñez. W, (2018)

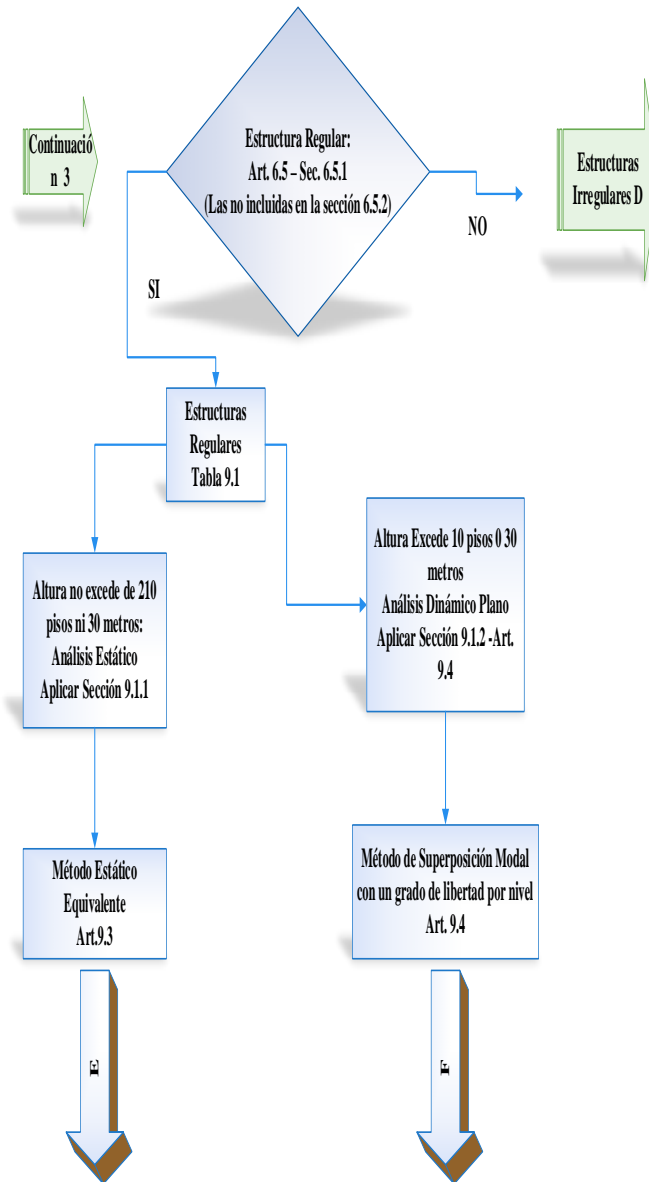


Figura 14 Flujoograma para aplicación del Método Estático Equivalente y Análisis Dinámico Plano

Fuente: Ladino. E y Núñez. W, (2018)

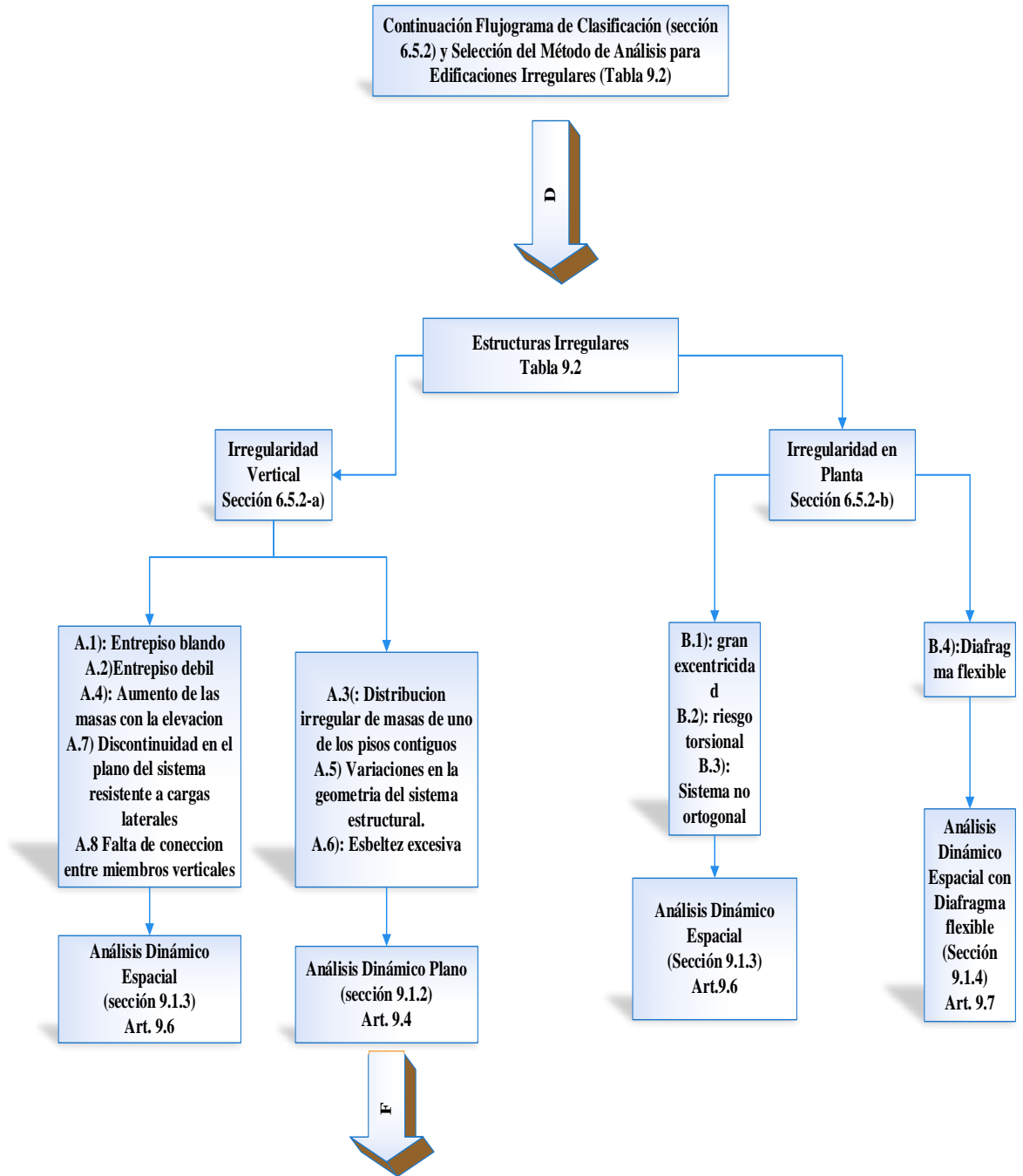


Figura 15 Flujograma para aplicación del Método Estático Equivalente y Análisis Dinámico Plano

Fuente: Ladino. E y Núñez. W, (2018)

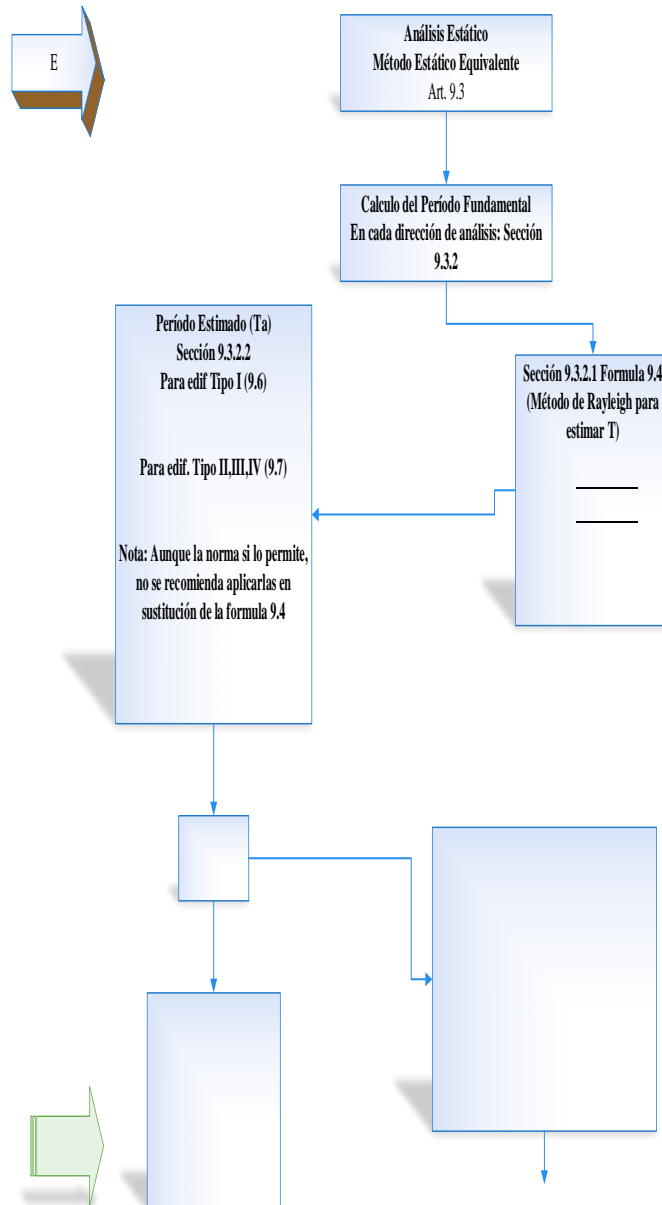


Figura 16 Flujograma para aplicación del Método Estático Equivalente y Análisis Dinámico Plano

Fuente: Ladino. E y Núñez. W, (2018)

Continuación
4

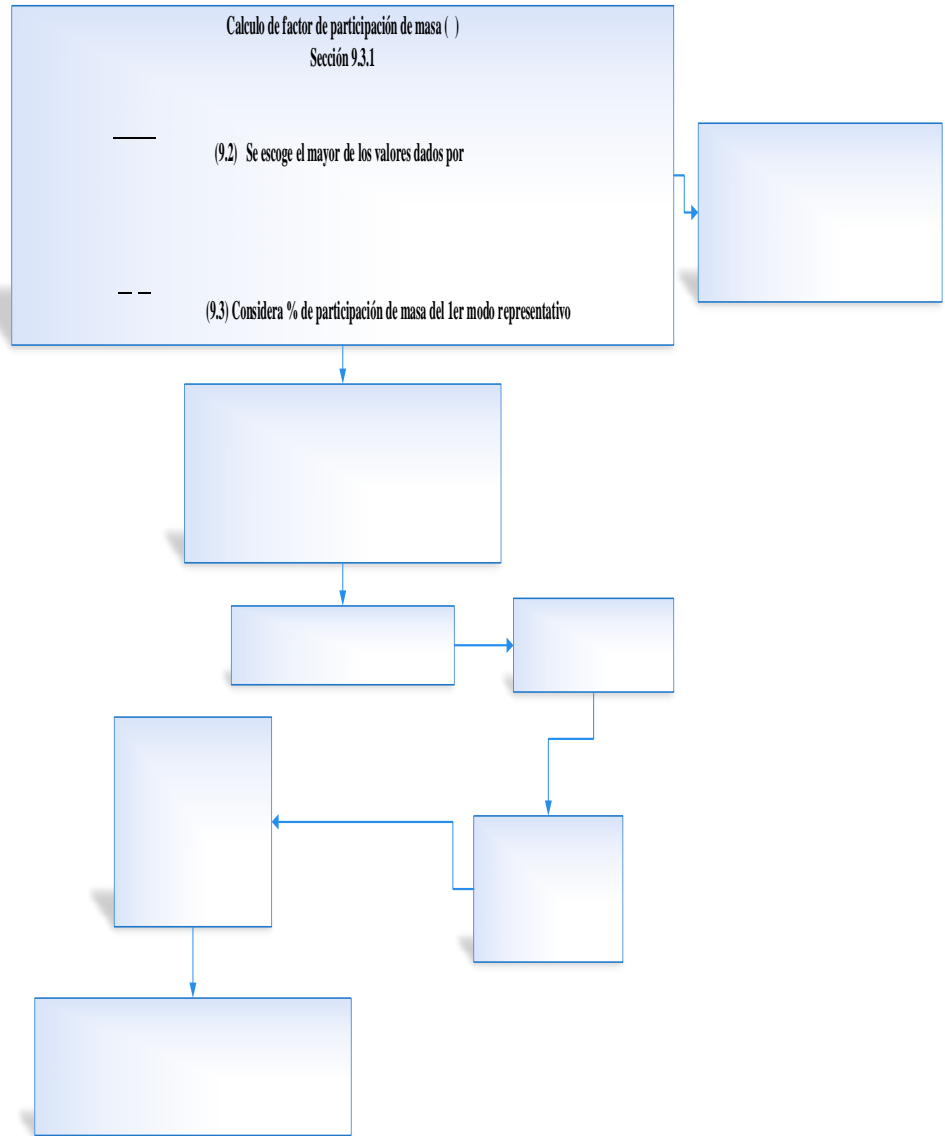


Figura 17 Flujograma para aplicación del Método Estático Equivalente y Análisis Dinámico Plano

Fuente: Ladino. E y Núñez. W, (2018)

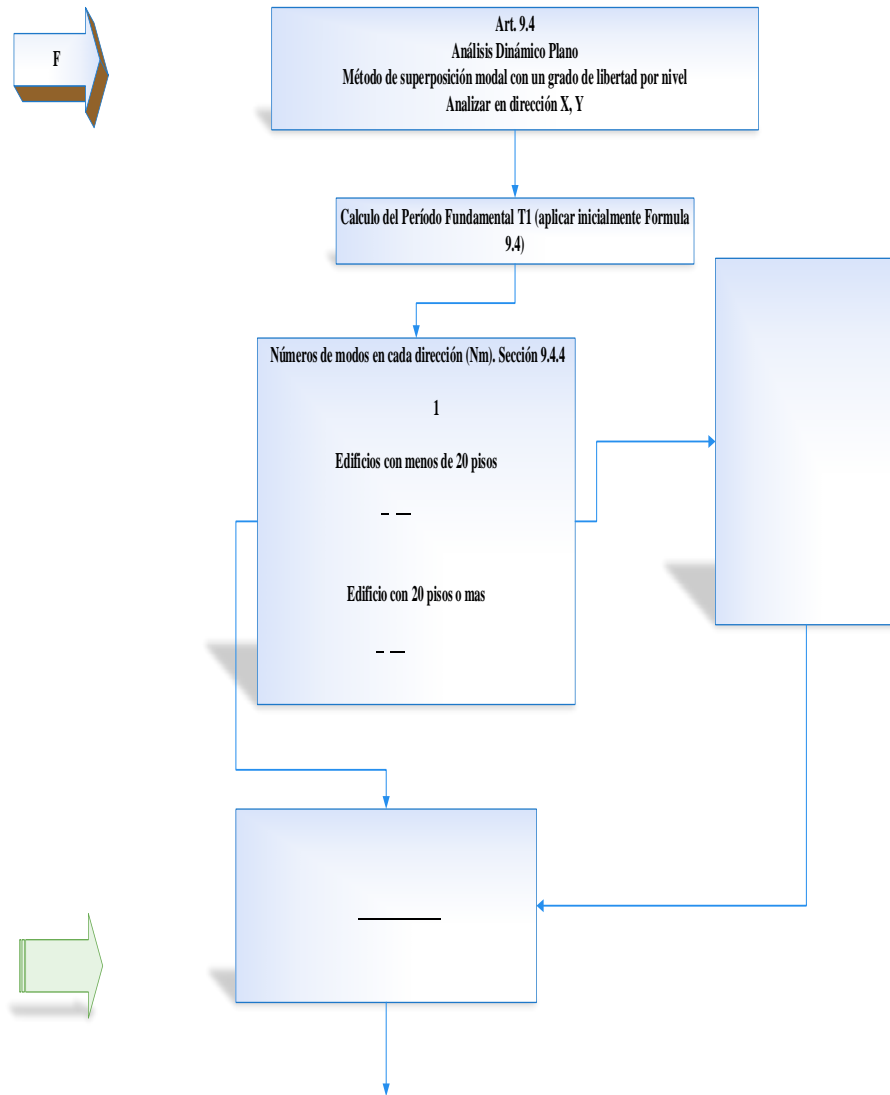


Figura 18 Flujograma para aplicación del Método Estático Equivalente y Análisis Dinámico Plano

Fuente: Ladino. E y Núñez. W, (2018)

Continuación
5

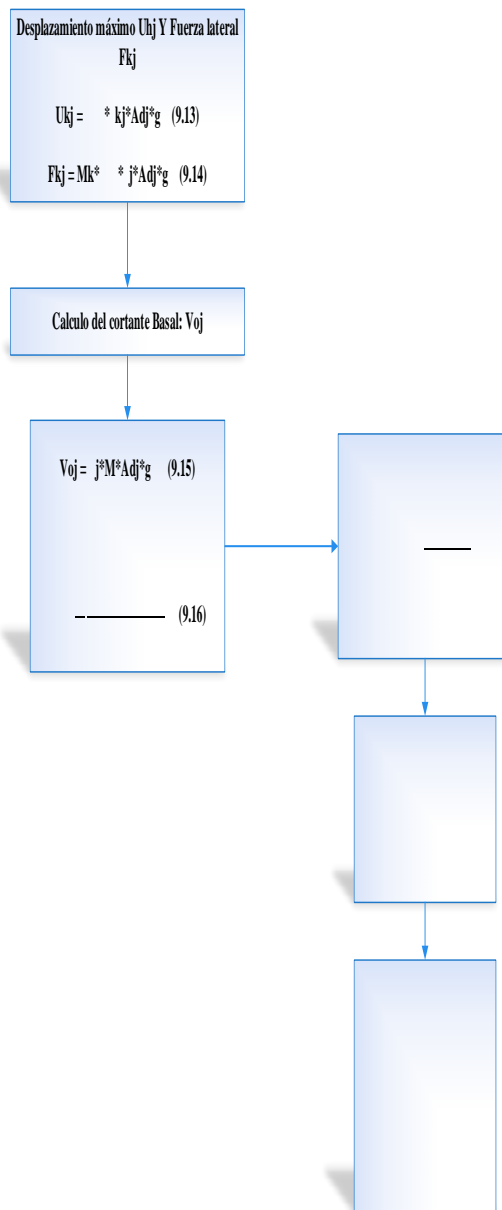


Figura 19 Flujograma para aplicación del Método Estático Equivalente y Análisis Dinámico Plano

Fuente: Ladino. E y Núñez. W, (2018)

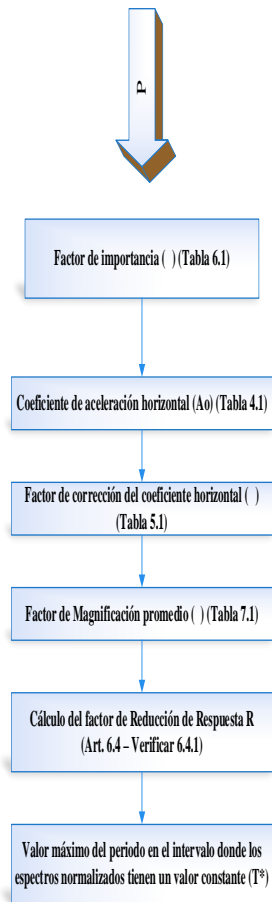


Figura 20 Flujograma para aplicación del Método Estático Equivalente y Análisis Dinámico Plano

Fuente: Ladino. E y Núñez. W, (2018)

Continuación
6

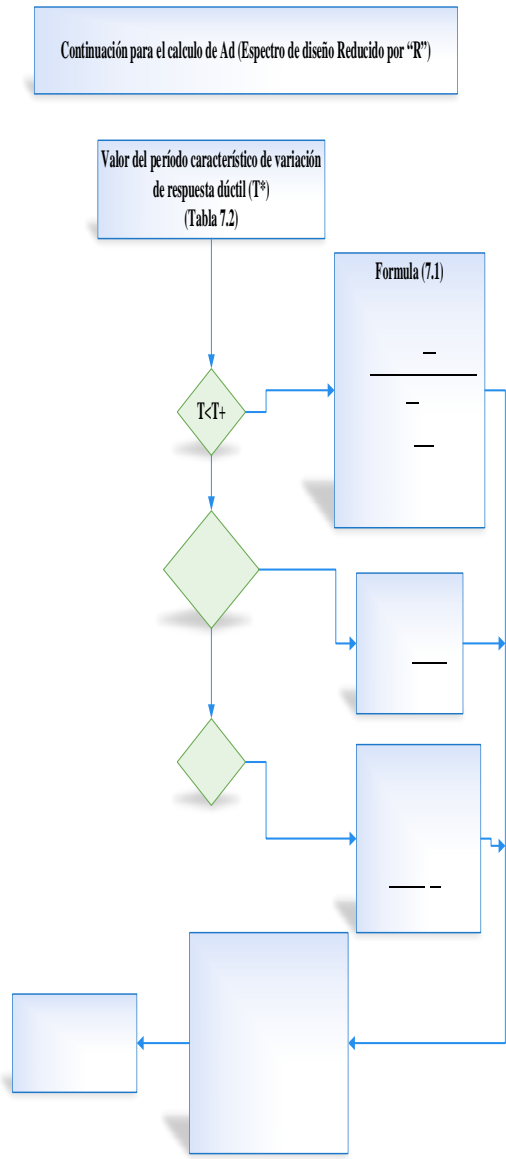


Figura 21 Flujoograma para aplicación del Método Estático Equivalente y Análisis Dinámico Plano

Fuente: Ladino. E y Núñez. W, (2018)

4.2. Programación de hojas de cálculo con las metodológicas del Método Estático Equivalente según norma COVENIN 1756-2001

Para el siguiente objetivo se programó una hoja de cálculo en el programa Excel la cual está diseñada para calcular el corte basal en diferentes tipos de estructura regulares e irregulares. A continuación, se muestra un ejemplo que muestra el cálculo detalladamente con los siguientes parámetros sísmicos:

Ubicación: San Diego Edo- Carabobo

Roca sana fracturada

Clasificación: Uso A, tipo I

Nivel de diseño 3 (ND3)

5 niveles

Uso de oficina

2 vanos

4.2.1 Hoja principal de entrada de datos

La hoja programada solicita el ingreso de datos de entrada como se presenta a continuación. (Ver figura 22)

ANÁLISIS SÍSMICO NORMA 1756-2001

CARACTERÍSTICAS DE LA EDIFICACIÓN

Parametros normativos	Análisis de carga	Espectro de diseño	Geometría
-----------------------	-------------------	--------------------	-----------

Método estático equivalente

CERRAR

Figura 22 Ingreso de Datos a la hoja de cálculo (Hoja Excel)

Fuente: Ladino. E y Núñez. W, (2018)

4.2.2 Ingreso de parámetros Normativos

En él se muestra los distintos parámetros normativos establecidos en la norma COVENIN 156-2001 “Edificaciones sismorresistentes”, esta contiene las diferentes zonas sísmicas del país, forma espectral y el respectivo factor de corrección, clasificación de la edificación (tipo y usos), muestra la aceleración horizontal, niveles de diseño, factor de importancia, factor de reducción de respuesta como se detalla a continuación. Al tener establecido los parámetros hacer click al botón aceptar. (Ver figura 23)

The image shows a software interface for entering seismic parameters. The background is a night cityscape. The interface is divided into several sections:

- ZONIFICACIÓN SÍSMICA:** A dropdown menu is set to '5', and there is a 'REF' button.
- FORMA ESPECTRA Y FACTOR DE CORRECCIÓN:** 'MATERIAL DEL SUELO' is set to 'Roca sana/fracturada'. 'Vsp' is set to '500' and 'H' is set to '0'. There is a 'FE/FC' button.
- CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN:** 'Uso' is set to 'A', 'Tipo' is set to 'I', and 'FE/FC' is set to 'REF'.
- MATERIAL:** Radio buttons are present for 'CONCRETO REFORZADO', 'ACERO-CONCRETO', and 'ACERO'.
- FORMA ESPECTRAL:** Set to 'S2'.
- FACTOR DE CORRECCIÓN:** Set to '0,9'.
- Aceleración horizontal:** Set to '0,3'.
- Nivel de diseño:** Set to 'ND3'.
- Factor de importancia:** Set to '1,3'.
- FACTOR DE REDUCCIÓN DE RESPUESTA:** 'R' is set to '6'.
- ACEPTAR:** A button at the bottom right.

Figura 23 Entrada de parámetros normativos (Hoja Excel)

Fuente: Ladino. E y Núñez. W, (2018)

4.2.3 Entrada de datos Para análisis de carga

Muestra los datos que requiere para realizar el análisis de carga, esta viene dada por la norma COVENIN 2002-1988 “Criterios y Acciones Mínimas para el proyecto de edificaciones”, estos datos son los que se muestran en la figura 24.

The image shows a software interface for structural analysis. A central dialog box titled "ANÁLISIS DE CARGA Y PESO SÍSMICO" is overlaid on a background window titled "ANÁLISIS 1756-2001". The dialog box contains input fields for: "ESPESOR DE LOSA" (Entrepiso: 30, Techo: 25), "CARGA PERMANENTE" (Espesor de friso: 3, Peso vigas: 150, Peso columnas: 100, Peso tabiquería: 220), and "CARGA VIVA" (Entrepiso: 300, Techo: 100). Buttons for "ANÁLISIS" and "ACEPTAR" are at the bottom of the dialog. The background window shows a flowchart with boxes for "Parametros normativos", "Método estático equivalente", "Geometría", and "Análisis dinámico espacial".

Figura 24 Entrada de datos para análisis de carga

Fuente: Ladino. E y Núñez. W, (2018)

Ingresados los datos hacer click al botón análisis y luego aceptar, hecho este paso abrirá una ventana emergente para ingresar el número de niveles, luego hacer click al botón aceptar. (Ver figura 25)

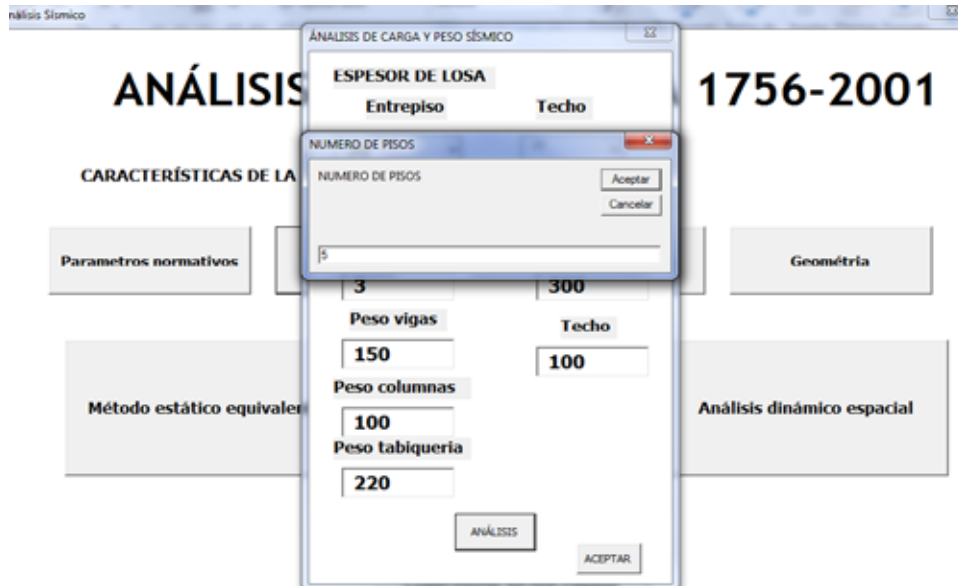


Figura 25 Ingreso del número de niveles

Fuente: Ladino. E y Núñez. W, (2018)

Luego se ingresa la distancia entre vanos el cual es 5. (Ver figura 26)



Figura 26 Ingreso de distancia entre vanos

Fuente: Ladino. E y Núñez. W, (2018)

4.2.4 Entrada para definir la ordenada del Espectro de Diseño

En la hoja principal hacer click al botón “Espectro de Diseño” al ingresar el programa abrirá una ventana emergente en el cual pide el ingreso de datos para calcular el período fundamental T_a descrita en la norma para edificaciones de tipo I, hacer click en el botón T. (Ver figura 27)

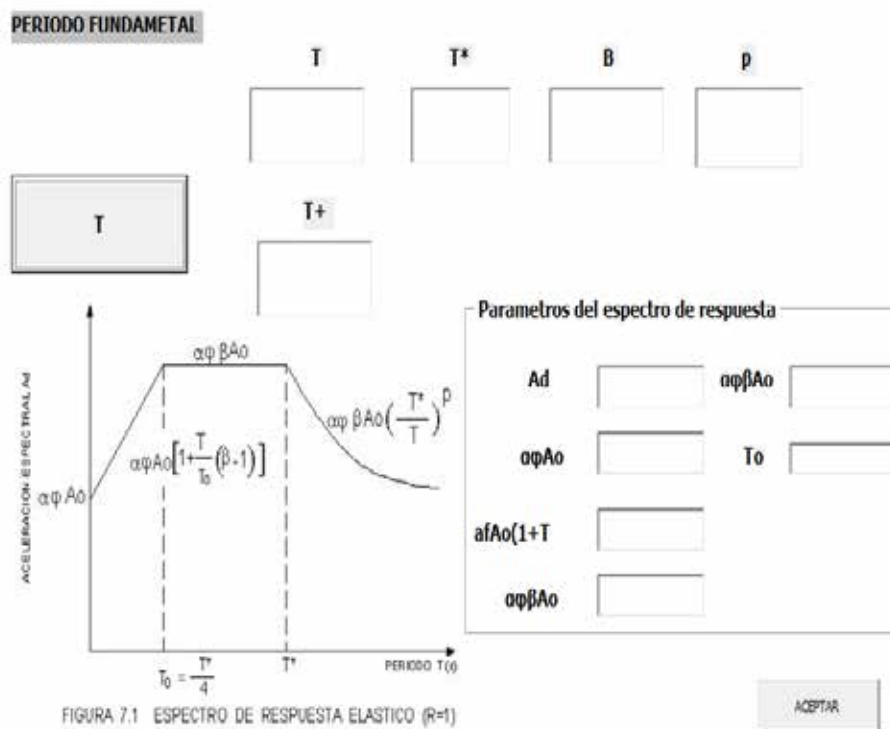


Figura 27 Calculo de período fundamental de la estructura T_a

Fuente: Ladino. E y Núñez. W, (2018)

Luego de realizado este paso, el programa solicita con página emergente el número de niveles y la altura medida desde el ultima nivel hasta el primer nivel cuyos desplazamientos estén restringidos total o parcialmente. (Ver figura 28)

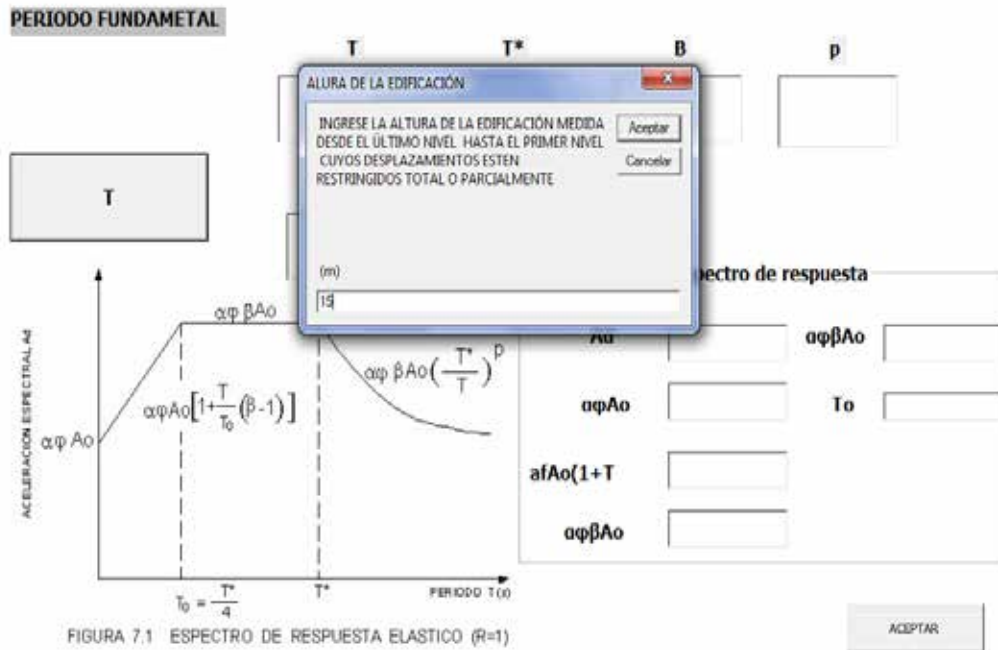


Figura 28 Ingreso de datos para cálculo del período fundamental

Fuente: Ladino. E y Núñez. W, (2018)

p, T_0
 $= 0.4$ este mostrara los parámetros del espectro de diseño. Hacer click al botón aceptar.
 (Ver figura 29)

PERIODO FUNDAMENTAL

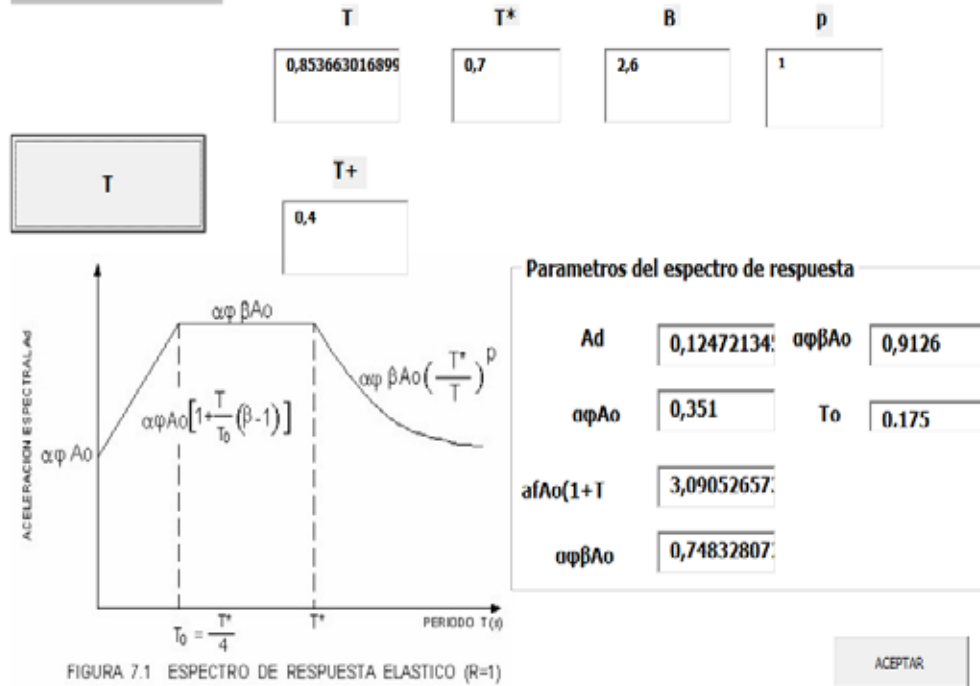


Figura 29 Calculo del Periodo Fundamental T

Fuente: Ladino. E y Núñez. W, (2018)

4.2.5 Calculo del cortante Basal

Por último, finalizado el paso anterior el programa lo llevará a la hoja principal en donde al hacer click en “Método Estático Equivalente ingresará a la hoja donde se encuentra el cálculo del Peso sísmico, el período fundamental, la ordenada del espectro de diseño y el factor modificador de cortante. Con estos datos ya cargados hacer click en el botón “Inicio” y obtendrá el cortante en la base. Al hacer click en el botón aceptar abrirá una ventana emergente con la opción de imprimir valores en una celda. (Ver figura 30).

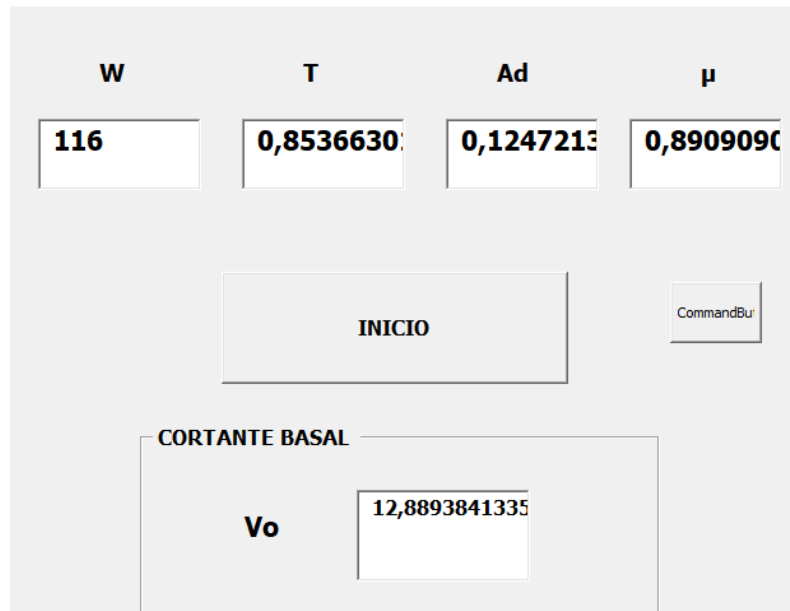


Figura 30 Resultado del cortante Basal $V_o = 12,889$ ton

Fuente: Ladino. E y Núñez. W, (2018)

4.3 Aplicación del Método Estático Equivalente y Método Dinámico Plano a pórticos regulares e irregulares

4.3.1 Metodología supuesta para el análisis

A continuación, se muestra la metodología para cálculo del cortante basal para la aplicación de ambos métodos con 5,10,15,20,25,30 niveles. Cabe destacar que este estudio se realizó para zonificación sísmica 4 y 5, forma espectral S1, S2, S3, para 5,10,15,20,25 y 30 niveles, además para 1,2 y 3 vanos

Análisis de carga:

Las estimaciones de carga se realizaron bajo la norma de “criterios y acciones mínimas para el proyecto edificaciones 2002-1988”. Se asume uso de oficina para la estructura con carga variable de entre piso de 500 kg/m² y carga

variable de techo de 100 kg/m². Se asume una losa nervada para techo de 30 cm de espesor

Las cargas de servicio se calculan:

100% Carga permanente + 25% carga variable

Obteniendo como resultado:

Carga para techo = 701 kg/m²

Carga permanente = 1021 kg/m²

Predimensionado

Con las dimensiones preestablecidas de las columnas y vigas, se procedió a calcular los cortantes en la base de los pórticos de concreto reforzado de tipo regular e irregular por medio del Método Estático Equivalente con el la hoja programada.

Así mismo, se utilizó el software estructural Etabs (ver figura), para modelar y obtener de igual forma el cortante en la base por medio del análisis dinámico. Estas comparaciones serán para establecer que tan marcada es la diferencia de la fuerza cortante basal cuando la estructura se encuentre bajo parámetros sísmicos establecidos.

La clasificación según el uso se mantendrá constante en todos los análisis, el cual será magnifica la ordenada del espectro de diseño, llevando consigo diseños estructurales más conservadores. Se asumió un Nivel de Diseño 3 (ND3) en todos los casos de estudio, aunado a que son estructura de Tipo I se tiene un factor de reducción de respuesta sísmica R igual a 6.

Los modelos de pórticos regulares de 1 vano que se utilizaron para la aplicación del método estático equivalente y el método dinámico plano fueron los que se muestran. (Ver figuras 31-33)

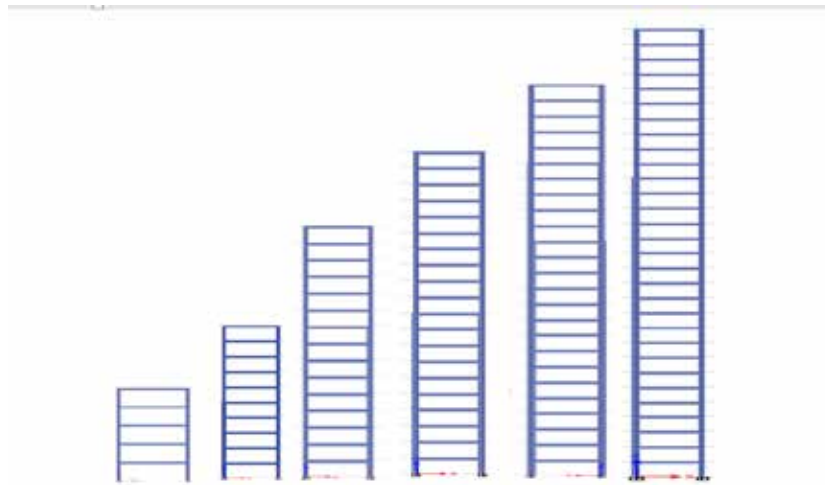


Figura 31 Modelos de pórticos regulares e irregulares 1 vano

Fuente: Ladino. E y Núñez. W, (2018)



Figura 31 Modelos de pórticos regulares e irregulares 2 vanos

Fuente: Ladino. E y Núñez. W, (2018)



Figura 33 Modelos de pórticos regulares e irregulares 3 vanos

Fuente: Ladino. E y Núñez. W, (2018)

4.4 Comparación de los resultados obtenidos por la aplicación del método estático equivalente y el análisis dinámico plano a pórticos de concreto reforzado.

4.4.1 Análisis de Pórticos irregulares de concreto reforzado

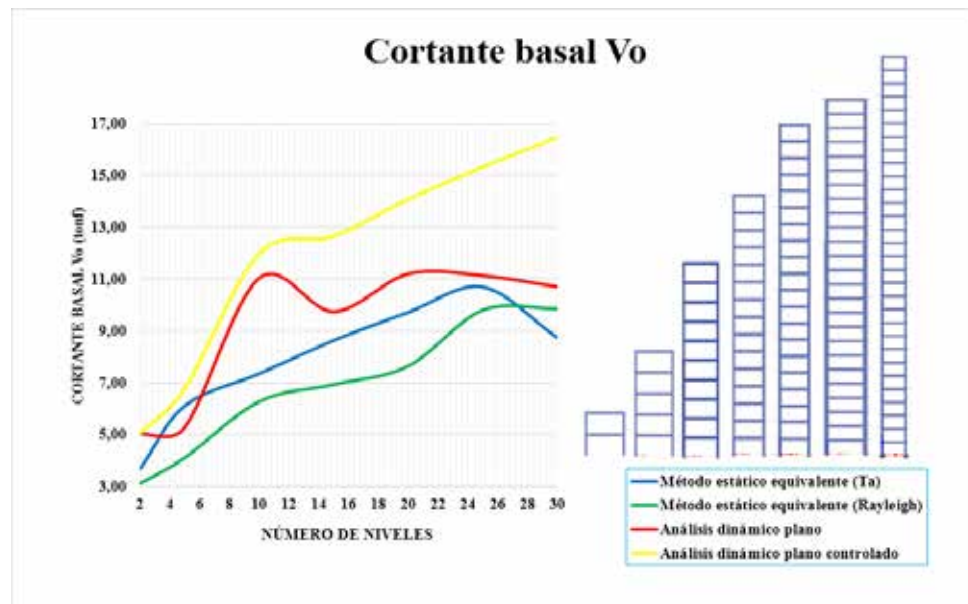


Grafico 1. Cortante basal forma espectral S1, factor de corrección 1, zona sísmica 5, pórticos regulares de concreto reforzado de un vano

Fuente: Ladino E. Núñez W.

El gráfico 1 presenta el comportamiento del cortante basal en pórticos de un vano a medida que se aumenta el número de niveles, en este se presenta una variación marcada del cortante basal según el método que se haya aplicado (Método Estático equivalente y método de análisis dinámico plano), en primera instancia tenemos que para este caso el método estático equivalente a medida que se aumenta el número de niveles presenta un comportamiento un poco más lineal que el método de análisis dinámico, llevando a que en pórticos de 5 niveles el método de análisis dinámico arroja un cortante basal por debajo del método estático equivalente esto debido a la diferencia entre el periodo de vibración obtenido por cada método siendo el primero de estos estimado y no considera los desplazamientos, peso de la edificación, adicional este solo considera una forma de vibrar y el análisis dinámico considera todas las formas de vibrar obteniendo resultados más refinados, en este punto se tiene una diferencia de

un 7,06% (Ver tabla 1) esto sin corregir el análisis dinámico como lo establece la norma, al realizar esta corrección el cortante basal obtenido aumenta un 4,06% con respecto al método estático equivalente, a medida que se aumenta el número de niveles se observa que el método de análisis dinámico plano arroja resultados mayores que el método estático equivalente y es que en efecto el hecho de no considerar los desplazamientos de las masas pierde validez a medida que aumenta la altura de la edificación, para ellos en pórtico de 10 niveles en el punto el cual la norma venezolana COVENIN 1753-2001 “Edificaciones sismorresistentes” limita el método estático equivalente se observa una dispersión del 20,21% por lo que se puede deducir que el método estático equivalente pierde validez antes de alcanzar los 10 niveles, pues inclusive cuando se realiza el periodo por el método de Rayleigh se observa que el método estático equivalente obtenido con el periodo de Rayleigh es menor que el obtenido por un periodo aproximado.

Zonificación sísmica		5				
Forma espectral		S 1		ϕ	1	
Niveles	W (tonf)	Cortante basal V_0 (tonf)				
		Método estático equivalente			Análisis dinámico	
		T_a	T(Rayleigh)	1.6 T_a	Modal	Corregido
2	20	3,67	3,13	2,54	5,04	5,04
5	59	6,10	4,13	6,78	5,30	6,78
10	122	7,34	6,28	11,97	11,05	11,97
15	186	8,62	6,94	12,65	9,76	12,65
20	250	9,70	7,64	14,06	11,22	14,06
25	314	10,68	9,79	15,31	11,15	15,31
30	378	8,74	9,85	16,45	10,72	16,45

Tabla 8 Cortante basal según método de cálculo, periodo fundamental, numero de niveles y el peso de la edificación

Fuente: Ladino E. Núñez W.

Niveles	Periodo fundamental (seg)			Porcentajes %		
	T_a	T(Rayleigh)	1.6 T_a	MEE-MEER	MME-MADP	MEER-MADP
2	0,27	0,38	0,43	7,81	15,82	23,34
5	0,53	0,75	0,85	19,32	7,06	12,43
10	0,90	1,01	1,44	7,73	20,21	27,50
15	1,22	1,34	1,95	10,81	6,22	16,91
20	1,51	1,59	2,41	11,90	7,23	18,97
25	1,78	2,00	2,85	4,34	2,14	6,48
30	2,05	2,56	3,27	5,99	10,20	4,24

Tabla 9 Periodo fundamental y porcentaje de dispersión entre los métodos en estudio

Fuente: Ladino E. Núñez W.

Cortante basal Vo

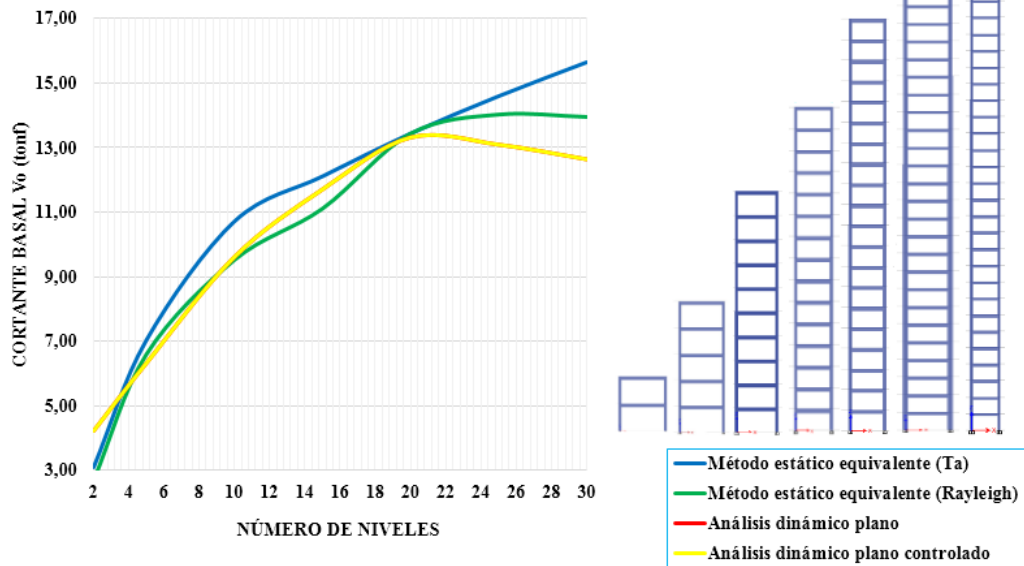


Grafico 2. Cortante basal forma espectral S2, factor de corrección 09, zona sísmica 5, pórticos regulares de concreto reforzado de un vano

Fuente: Ladino E. Núñez W.

En este caso se varía el tipo de suelo y esta variación ofrece resultados más ajustados entre ambos métodos, pues en primera instancia el tipo de suelo modifica el cortante basal arrojando dispersiones muy pequeñas (ver tabla 12), de el grafico 2 se observa como el cortante basal calculando por el método estático equivalente se superpone en casi todos los tipos de pórticos estudiados con estas condiciones, esto es debido a la diferencia de periodo de vibración existente, en el pórtico de 10 niveles se observa una dispersión del 5,49% (ver tabla 12) esto es debido a las diferencias existente del periodo fundamental, puesto que si el periodo fundamental es muy pequeño el cortante basal resultante será muy grande, se debe recalcar que el periodo aproximado no considera todas las características del pórtico en su contra parte el método de análisis dinámico plano si lo considera y ofrece un resultado más realista, en este caso se observa que en pórticos de 10 niveles el método estático equivalente resulta con cortantes basales más elevado en pórticos desde los 5 niveles hasta los pórticos de 30 niveles.

Zonificación sísmica		5				
Forma espectral		S 2	Φ	0,8		
Niveles	W (tonf)	Cortante basal V_0 (tonf)				
		Método estático equivalente			Análisis dinámico	
		Ta	T(Rayleigh)	1.6Ta	Modal	Corregido
2	20	3,11	2,71	2,64	4,23	4,23
5	59	7,05	6,61	5,78	6,33	6,33
10	122	10,73	9,53	6,88	9,61	9,61
15	186	12,12	11,12	8,05	11,70	11,70
20	250	13,45	13,44	9,04	13,31	13,31
25	314	14,61	14,03	9,92	13,09	13,09
30	378	15,66	13,96	10,74	12,63	12,63

Tabla 10 Cortante basal según método de cálculo, periodo fundamental, numero de niveles y el peso de la edificación.

Fuente: Ladino E. Núñez W

Niveles	Periodo fundamental (seg)			Porcentajes %		
	Ta	T(Rayleigh)	1.6Ta	MEE-MEER	MME-MADP	MEER-MADP
2	0,27	0,38	0,43	6,94	15,20	21,91
5	0,53	0,75	0,85	3,25	5,44	2,20
10	0,90	1,01	1,44	5,91	5,49	0,42
15	1,22	1,34	1,95	4,32	1,77	2,55
20	1,51	1,51	2,41	0,03	0,52	0,49
25	1,78	1,87	2,85	2,01	5,49	3,49
30	2,05	2,35	3,27	5,74	10,69	4,98

Tabla 11 Periodo fundamental y porcentaje de dispersión entre los métodos en estudio.

Fuente: Ladino E. Núñez W.

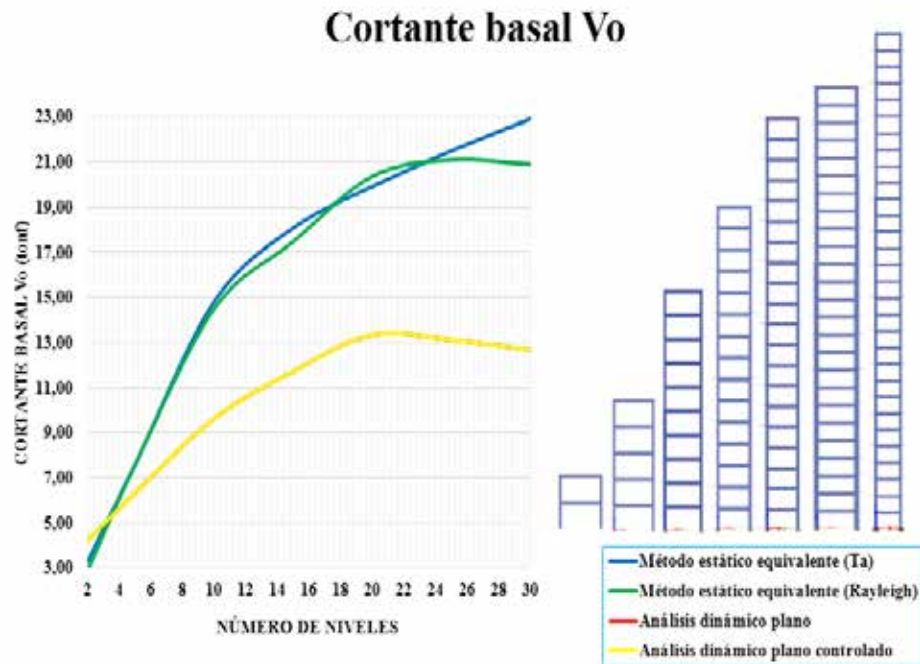


Grafico 3. Cortante basal forma espectral S3, factor de corrección 0,8, zona sísmica 5, pórticos regulares de concreto reforzado de un vano

Fuente: Ladino E. Núñez W.

El tipo de suelo varia y en este caso se observa como el cortante basal calculado con el método estático equivalente es en todo los casos a partir del pórtico de 5 niveles hasta el de 30 niveles es mayor comparado con el método de análisis dinámico esto debido a que el periodo fundamental tiende a ser mayor a pesar de emplear el método de Rayleigh se sigue considerando la primera forma de vibrar esto lleva cortantes basales mucho más grandes que los obtenidos por el método de análisis dinámico.

Zonificación sísmica		5				
Forma espectral		S 3		Φ	0,8	
Niveles	W (tonf)	Cortante basal V_0 (tonf)				
		Método estático equivalente			Análisis dinámico	
		Ta	T(Rayleigh)	1.6Ta	Modal	Corregido
2	20	3,29	2,91	2,64	4,23	4,23
5	59	7,60	7,60	5,78	6,33	6,33
10	122	14,81	14,52	6,88	9,61	9,61
15	186	18,07	17,49	8,05	11,70	11,70
20	250	19,91	20,39	9,04	13,31	13,31
25	314	21,49	21,11	9,92	13,09	13,09
30	378	22,91	20,91	10,74	12,63	12,63

Tabla 12 Cortante basal según método de cálculo, periodo fundamental, numero de niveles y el peso de la edificación.

Fuente: Ladino E. Núñez W

Niveles	Periodo fundamental (seg)			Porcentajes %		
	Ta	T(Rayleigh)	1.6Ta	MEE-MEER	MME-MADP	MEER-MADP
2	0,27	0,38	0,43	6,18	12,46	18,50
5	0,53	0,75	0,85	0,00	9,13	9,13
10	0,90	1,02	1,44	0,99	21,28	20,34
15	1,22	1,26	1,95	1,63	21,40	19,83
20	1,51	1,47	2,41	1,19	19,87	21,01
25	1,78	1,82	2,85	0,89	24,31	23,47
30	2,05	2,27	3,27	4,55	28,91	24,68

Tabla 13 Periodo fundamental y porcentaje de dispersión entre los métodos en estudio.

Fuente: Ladino E. Núñez W.

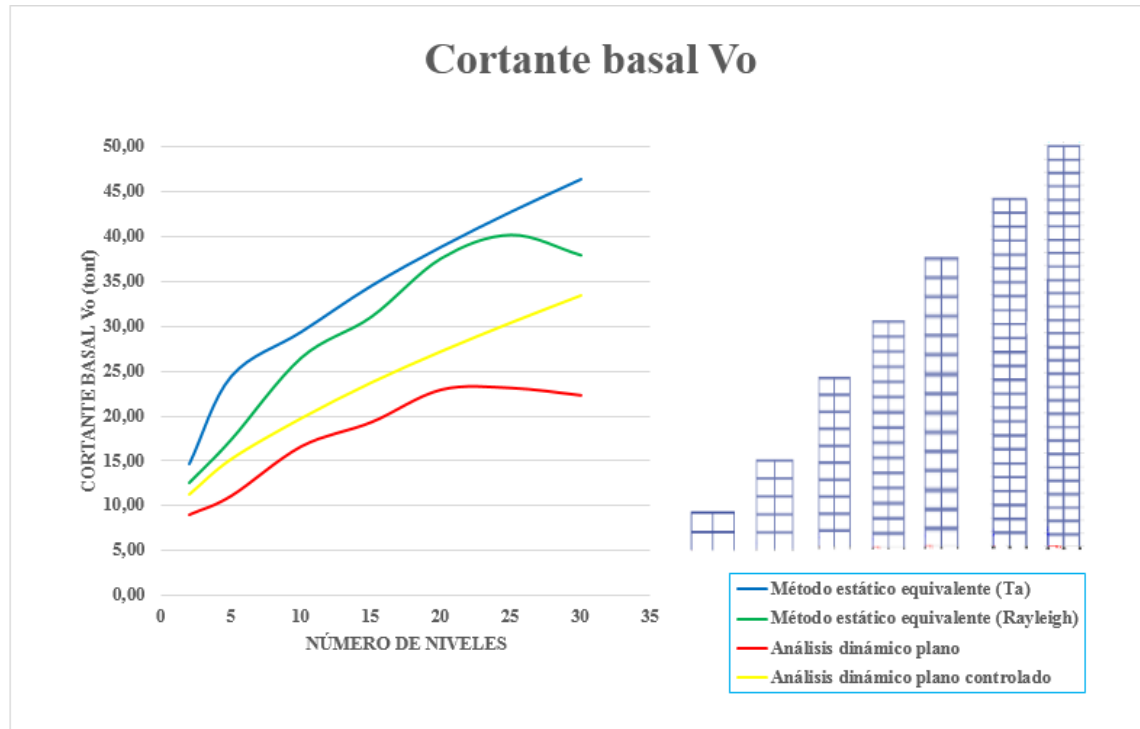


Grafico 4. Cortante basal forma espectral S1, factor de corrección 1, zona sísmica 5, pórticos regulares de concreto reforzado de dos vanos.

Fuente: Ladino E. Núñez W.

El tipo de suelo sigue siendo factor que más modifica el córtate basal e este caso se observa como el método estático equivalente arroja resultados mayores en todos los casos en ningún caso el cortante basal calculado por el método de análisis dinámico plano es mayor, se debe anexar que el cortante calculado por el método estático equivalente considera tres parámetros y dos de estos parámetros dependen del periodo fundamental, en el factor modificador de cortantes el periodo fundamental tiende a ser predominante a partir de los 10 niveles (ver tabla 16), adicional se observa como el método de análisis dinámico arrojo resultados menores aquí empieza a predominar el efecto del peso en cálculo de cortante basal por parte del método estático equivalente.

Zonificación sísmica		5				
Forma espectral		S 1	ϕ	1		
Niveles	W (tonf)	Cortante basal V_0 (tonf)				
		Método estático equivalente			Análisis dinámico	
		Ta	T(Rayleigh)	1.6Ta	Modal	Corregido
2	81	14,66	12,54	11,34	9,04	11,34
5	234	24,41	17,36	15,25	11,13	15,25
10	490	29,35	26,50	19,77	16,59	19,77
15	745	34,47	31,07	23,72	19,26	23,72
20	1000	38,81	37,61	27,18	22,86	27,18
25	1255	42,72	40,23	30,37	23,06	30,37
30	1511	46,34	37,96	33,38	22,25	33,38

Tabla 14 Cortante basal según método de cálculo, periodo fundamental, numero de niveles y el peso de la edificación.

Fuente: Ladino E. Núñez W

Niveles	Periodo fundamental (seg)			Porcentajes %		
	Ta	T(Rayleigh)	1.6Ta	MEE-MEER	MME-MADP	MEER-MADP
2	0,27	0,38	0,43	7,81	23,71	16,20
5	0,53	0,75	0,85	16,86	37,38	21,90
10	0,90	1,01	1,44	5,10	27,77	23,00
15	1,22	1,38	1,95	5,19	28,30	23,45
20	1,51	1,57	2,41	1,57	25,86	24,38
25	1,78	1,93	2,85	3,00	29,90	27,14
30	2,05	2,70	3,27	9,94	35,13	26,10

Tabla 15 Periodo fundamental y porcentaje de dispersión entre los métodos en estudio.

Fuente: Ladino E. Núñez W.

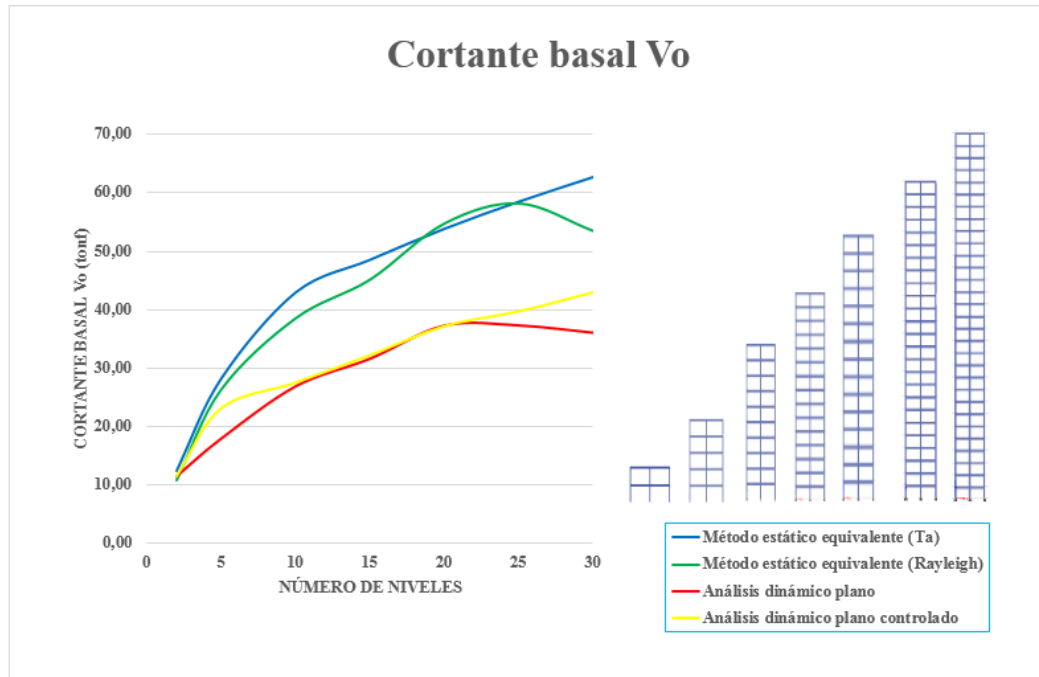


Grafico 5. Cortante basal forma espectral S2, factor de corrección 0,9, zona sísmica 5, pórticos regulares de concreto reforzado de dos vanos

Fuente: Ladino E. Núñez W.

En este caso el método estático equivalente resulta en la totalidad de los casos que el método estático equivalente es mayor que el cortante basal calculado con el método de análisis dinámico con un diferencia en pórticos de 2 niveles del 4,09 % hasta un 27,07% en pórtico de 30 niveles (ver tabla 18), esto indica la influencia que tiene el peso de la edificación en la aplicación del método, en pórticos de 5 niveles la dispersión es menor pero aún sigue siendo menor el método de análisis dinámico corregido.

Zonificación sísmica		5				
Forma espectral		S 2		ϕ	0,8	
Niveles	W (tonf)	Cortante basal V_0 (tonf)				
		Método estático equivalente			Análisis dinámico	
		Ta	T(Rayleigh)	1.6Ta	Modal	Corregido
2	81	12,45	10,83	10,55	11,47	11,47
5	234	28,22	26,33	23,14	17,88	23,14
10	490	42,92	38,51	27,51	26,80	27,51
15	745	48,50	45,12	32,20	31,51	32,20
20	1000	53,80	54,72	36,16	37,17	37,17
25	1255	58,43	58,15	39,70	37,19	39,70
30	1511	62,63	53,44	42,97	35,94	42,97

Tabla 16 Cortante basal según método de cálculo, periodo fundamental, numero de niveles y el peso de la edificación.

Fuente: Ladino E. Núñez W

Niveles	Periodo fundamental (seg)			Porcentajes %		
	Ta	T(Rayleigh)	1.6Ta	MEE-MEER	MME-MADP	MEER-MADP
2	0,27	0,38	0,43	6,94	4,09	2,87
5	0,53	0,75	0,85	3,45	22,42	19,12
10	0,90	1,00	1,44	5,41	23,12	17,93
15	1,22	1,32	1,95	3,61	21,23	17,76
20	1,51	1,48	2,41	0,85	18,28	19,10
25	1,78	1,79	2,85	0,24	22,21	21,98
30	2,05	2,48	3,27	7,91	27,07	19,58

Tabla 17 Periodo fundamental y porcentaje de dispersión entre los métodos en estudio.

Fuente: Ladino E. Núñez W.

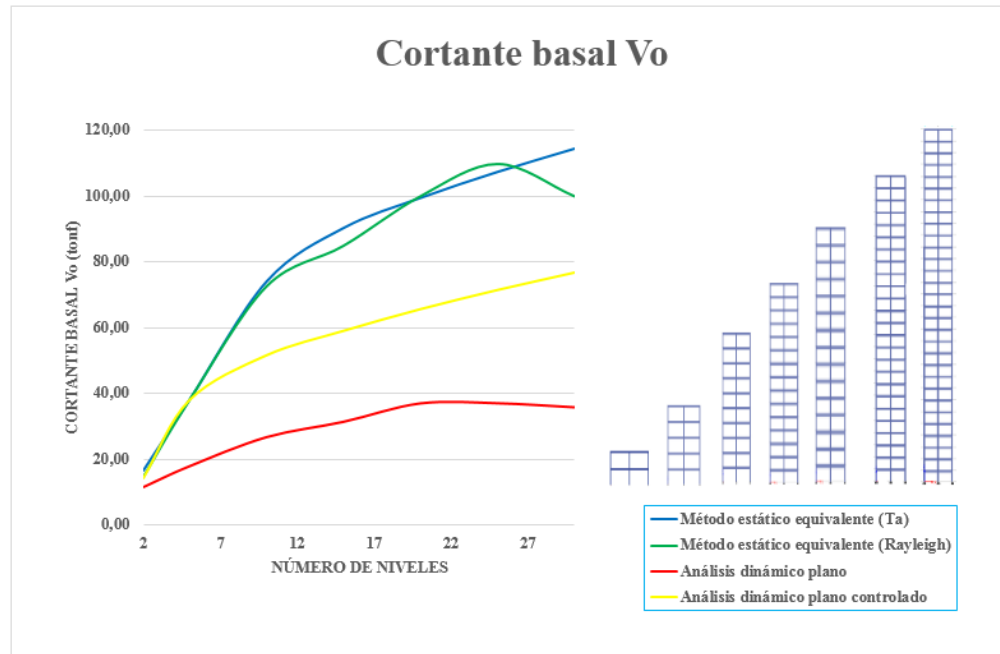


Grafico 6. Cortante basal forma espectral S3, factor de corrección 0,8, zona sísmica 5, pórticos regulares de concreto reforzado de dos vanos

Fuente: Ladino E. Núñez W.

En este caso el comportamiento es similar a los casos expuestos anteriormente, aquí se puede observar con el aumento del peso sigue siendo el factor que mayor efecto causa que el cortante basal calculado por el método estático equivalente de en todos los casos de estudios sean mayores que los calculados por el otro método.

Zonificación sísmica		5				
Forma espectral		S 3	Φ	0,8		
Niveles	W (tonf)	Cortante basal V_0 (tonf)				
		Método estático equivalente			Análisis dinámico	
		Ta	T(Rayleigh)	1.6Ta	Modal	Corregido
2	20	3,29	2,91	2,64	4,23	4,23
5	59	7,60	7,60	5,78	6,33	6,33
10	122	14,81	14,52	6,88	9,61	9,61
15	186	18,07	17,49	8,05	11,70	11,70
20	250	19,91	20,39	9,04	13,31	13,31
25	314	21,49	21,11	9,92	13,09	13,09
30	378	22,91	20,91	10,74	12,63	12,63

Tabla 18 Cortante basal según método de cálculo, periodo fundamental, numero de niveles y el peso de la edificación.

Fuente: Ladino E. Núñez W

Niveles	Periodo fundamental (seg)			Porcentajes %		
	Ta	T(Rayleigh)	1.6Ta	MEE-MEER	MME-MADP	MEER-MADP
2	0,27	0,38	0,43	6,18	17,85	11,80
5	0,53	0,74	0,85	0,00	35,99	35,99
10	0,90	1,02	1,44	0,99	46,86	46,08
15	1,22	1,30	1,95	3,07	48,29	45,90
20	1,51	1,50	2,41	0,27	45,63	45,85
25	1,78	1,74	2,85	1,12	48,58	49,43
30	2,05	2,39	3,27	6,77	52,23	47,13

Tabla 19 Periodo fundamental y porcentaje de dispersión entre los métodos en estudio.

Fuente: Ladino E. Núñez W.

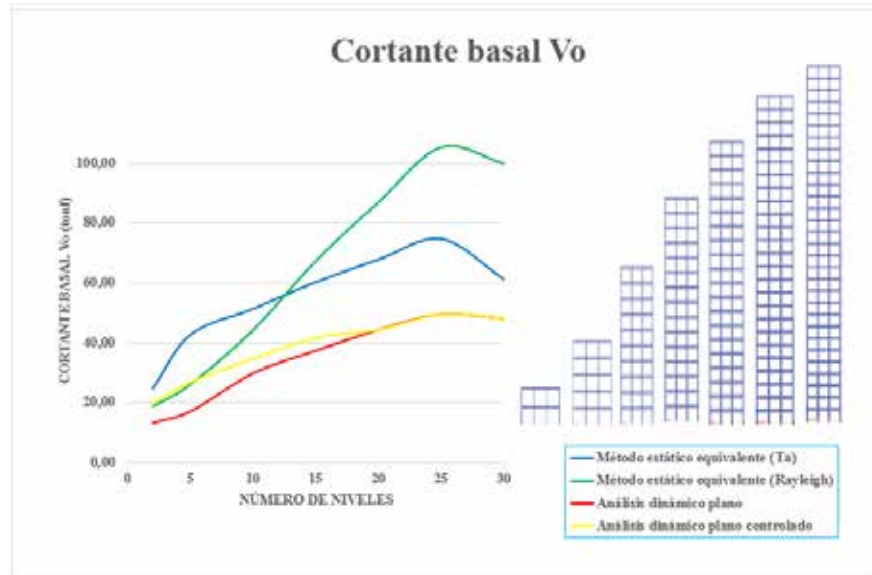


Gráfico 7. Cortante basal forma espectral S1, factor de corrección 1, zona sísmica 5, pórticos regulares de concreto reforzado de tres vanos

Fuente: Ladino E. Núñez W.

El cortante basal calculado por el método estático equivalente ya sea con un periodo aproximado o con un periodo de Rayleigh se observa como el comportamiento tiende a ser mayor que el cortante calculado por el método de análisis dinámico plano, en este caso se puede observar como el aumento de rigidez empieza a tomar efecto, esto debido al aumento de vanos aumenta la rigidez y es que en efecto el método estático equivalente no considera el número de vanos que puede poseer el pórtico aun cuando este sea lo más regular posible el exceso de rigidez solo conduce a cortantes basales mayores porque se ve el aumento del peso de la edificación, se puede observar que pórticos de 2 niveles el método estático equivalente calculado por el periodo de Rayleigh es menor que el cortante basal calculado con el método de análisis dinámico plano pues el peso menor en este caso y el periodo de Rayleigh presenta un periodo fundamental mayor, pero esto solo ocurre en este punto, ya que en pórticos de 5 niveles se empieza a notar la marcada diferencia entre ambos métodos.

Zonificación sísmica		5				
Forma espectral		S 1	Φ	1		
Niveles	W (tonf)	Cortante basal V_0 (tonf)				
		Método estático equivalente			Análisis dinámico	
		Ta	T(Rayleigh)	1.6Ta	Modal	Corregido
2	122	24,68	18,71	19,85	13,10	19,85
5	351	42,71	26,05	26,70	17,02	26,70
10	734	51,36	44,34	34,61	29,69	34,61
15	1117	60,32	67,46	41,51	37,28	41,51
20	1500	67,92	87,18	35,31	44,23	44,23
25	1883	74,76	105,53	36,87	49,36	49,36
30	2266	61,15	99,87	38,22	47,86	47,86

Tabla 20 Cortante basal según método de cálculo, periodo fundamental, numero de niveles y el peso de la edificación.

Fuente: Ladino E. Núñez W

Niveles	Periodo fundamental (seg)			Porcentajes %		
	Ta	T(Rayleigh)	1.6Ta	MEE-MEER	MME-MADP	MEER-MADP
2	0,27	0,38	0,43	13,76	30,65	17,63
5	0,53	0,75	0,85	24,24	43,01	20,96
10	0,90	0,89	1,44	7,34	26,74	19,79
15	1,22	0,89	1,95	5,59	23,60	28,81
20	1,51	0,93	2,41	12,42	21,12	32,69
25	1,78	0,97	2,85	17,07	20,46	36,26
30	2,05	1,29	3,27	24,04	12,19	35,21

Tabla 21 Periodo fundamental y porcentaje de dispersión entre los métodos en estudio.

Fuente: Ladino E. Núñez W.

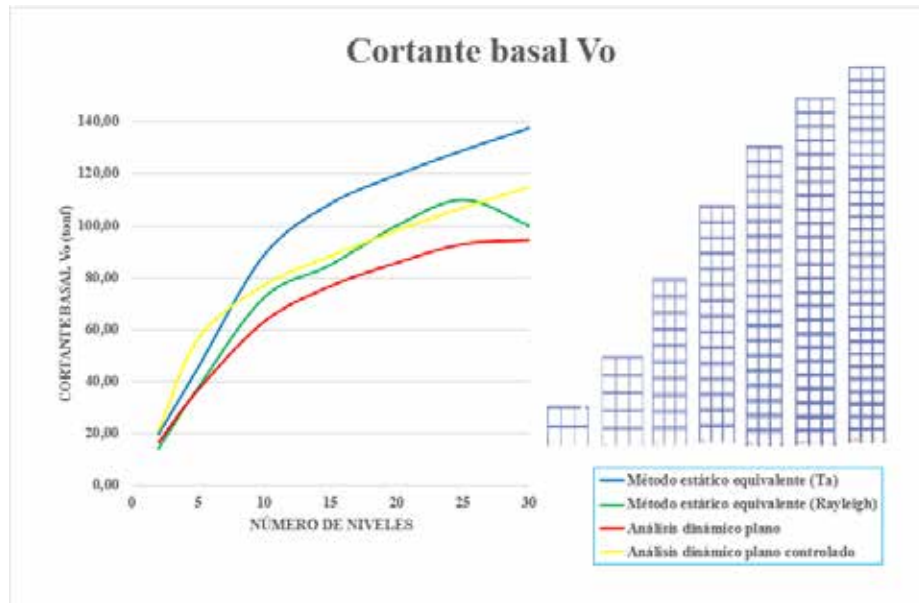


Grafico 8. Cortante basal forma espectral S3, factor de corrección 0.8, zona sísmica 5, pórticos regulares de concreto reforzado de tres vanos

Fuente: Ladino E. Núñez W.

La forma espectral cambia, el cortante basal calculado por el método estático equivalente en casi todos los casos de estudios es mayor que el cortante basal calculado por el método de análisis dinámico, esto debido al aumento de rigidez que al ser mayor los desplazamientos son menores y en el caso del periodo de Rayleigh se puede observar como los periodos son bajos (ver tabla 24), en el caso del pórtico de 5 niveles existe una diferencia entre cortantes del 10,56% y este porcentaje va aumentando de manera exponencial, en el punto donde el pórtico tiene 10 niveles en el cual la norma venezolana COVENIN 1756-2001 “Edificaciones sismorresistentes” limita el método estático equivalente la diferencia es de 16,92% esto debido a la falta de considerar efectos importantes que ocurren en la estructura aun cuando esta sea regular el método estático equivalente no las considera.

Zonificación sísmica		5				
Forma espectral		S 3	ϕ	0,8		
Niveles	W (tonf)	Cortante basal V_0 (tonf)				
		Método estático equivalente			Análisis dinámico	
		Ta	T(Rayleigh)	1.6Ta	Modal	Corregido
2	122	19,74	17,37	21,31	16,52	21,31
5	351	45,58	45,58	56,97	36,87	56,97
10	734	88,87	88,87	77,37	63,14	77,37
15	1117	108,44	130,12	88,53	76,74	88,53
20	1500	119,46	173,96	98,45	85,64	98,45
25	1883	128,96	218,91	107,18	92,88	107,18
30	2266	137,46	217,54	115,12	94,44	115,12

Tabla 22 Cortante basal según método de cálculo, periodo fundamental, numero de niveles y el peso de la edificación.

Fuente: Ladino E. Núñez W

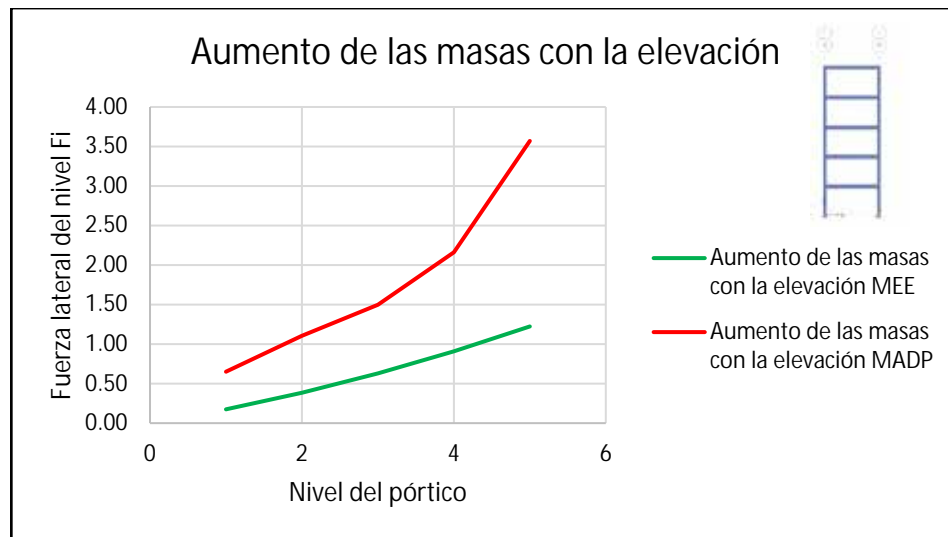
Niveles	Periodo fundamental (seg)			Porcentajes %		
	Ta	T(Rayleigh)	1.6Ta	MEE-MEER	MME-MADP	MEER-MADP
2	0,27	0,38	0,43	6,39	8,89	2,51
5	0,53	0,75	0,85	0,00	10,56	10,56
10	0,90	0,89	1,44	0,00	16,92	16,92
15	1,22	0,89	1,95	9,09	17,12	25,81
20	1,51	0,93	2,41	18,57	16,49	34,02
25	1,78	0,97	2,85	25,86	16,26	40,42
30	2,05	1,15	3,27	22,56	18,55	39,46

Tabla 23 Periodo fundamental y porcentaje de dispersión entre los métodos en estudio.

Fuente: Ladino E. Núñez W.

4.4.2 Análisis de Pórticos irregulares de concreto reforzado de 1 vano

Se estudió un pórtico de un solo vano de cinco niveles con una forma espectral S2 y un factor de corrección 0,90 siendo estos en conjunto con el periodo de vibración los parámetros que modifican las fuerzas laterales directamente. En el estudio se observó como la distribución de cortantes obtenidas por el método estático equivalente difieren de las obtenidas por el método de análisis dinámico plano desde un 10% hasta un 54% de variación entre ambos métodos esto debido a que en el nivel superior esta la cantidad mayor de masa por lo que el periodo toma un valor más pequeño elevando la fuerza obtenida., también se aprecia que el método estático equivalente tiende a ser más lineal esto es porque este considera una sola forma de vibrar.



Grafica 9 irregularidad aumento de la masa con la elevación, roca blanda o meteorizada, suelos muy duros o muy densos, S2.

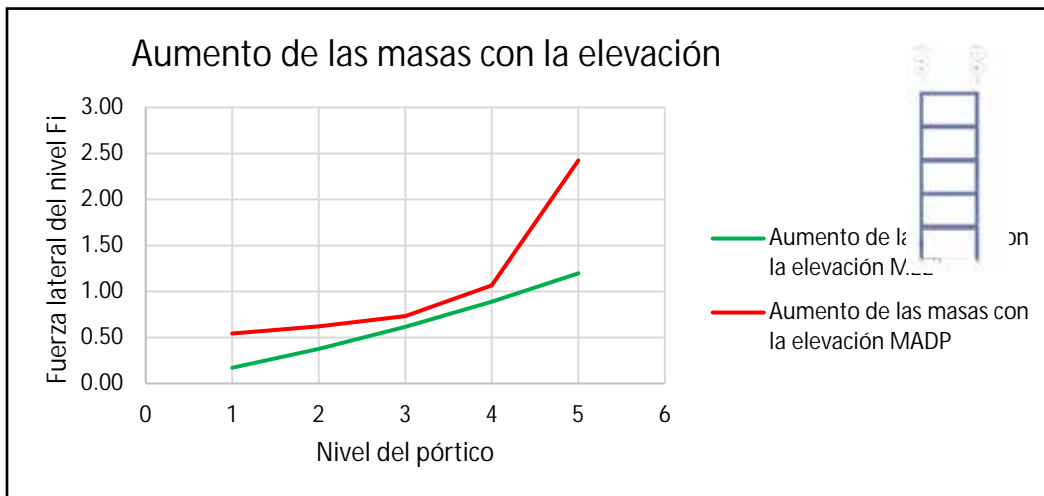
Fuente: Ladino. E. y Núñez. W. (2018)

Portico Tipo I - Aumento de las masas con la elevación						
Nivel	W (tnf)	h	Metodo estático equivalente		Análisis dinámico plano	
			Fi	Vi	Fi	Vi
5	7,15	15,00	1,22	1,36	3,5703	3,7087
4	6,64	12,00	0,91	2,27	2,1618	5,8705
3	6,13	9,00	0,63	2,90	1,4986	7,3691
2	5,62	6,00	0,38	3,28	1,1046	8,4737
1	5,11	3,00	0,17	3,46	0,6509	9,1246
	30,63					

Tabla 24 cortante para zona 5, roca blanda o meteorizada, suelos muy duros o muy densos, S2

Fuente: Ladino. E. y Núñez. W. (2018)

Al analizar con el método estático equivalente se obtiene una distribución de fuerzas que actúa de forma lineal (ver grafica 9), este comportamiento es a causa de solo considerar una forma de vibrar, este comportamiento se observa en todos los pórticos analizados con estas características, bajo ninguna condición las curvas se cruzan.



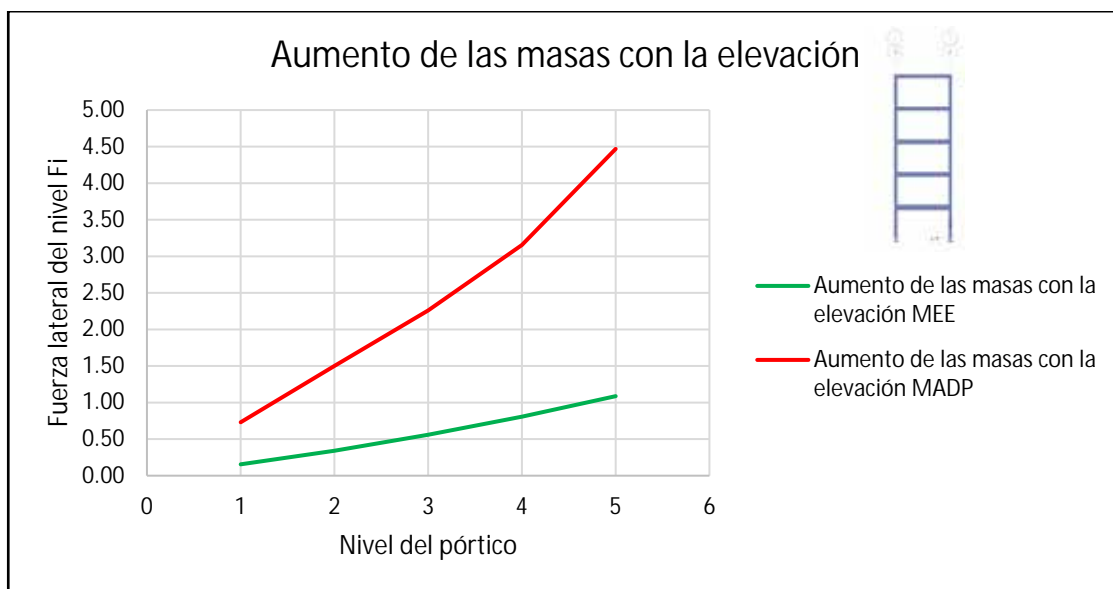
Grafica 10 irregularidad aumento de la masa con la elevación, roca sana o fracturada S1.

Fuente: Ladino. E. y Núñez. W. (2018)

Portico Tipo I - Aumento de las masas con la elevación						
Nivel	W (tnf)	h	Metodo estático equivalente		Análisis dinámico plano	
			Fi	Vi	Fi	Vi
5	7,15	15,00	1,20	1,40	2,4242	2,6318
4	6,64	12,00	0,89	2,29	1,0671	3,6989
3	6,13	9,00	0,62	2,91	0,7324	4,4313
2	5,62	6,00	0,38	3,29	0,6220	5,0533
1	5,11	3,00	0,17	3,46	0,5432	5,5965
	30,63					

Tabla 25 cortante para zona 5, roca sana o fracturada, S1

Fuente: Ladino. E. y Núñez. W. (2018)



Grafica 11 irregularidad aumento de la masa con la elevación, suelos blandos o sueltos, S3.

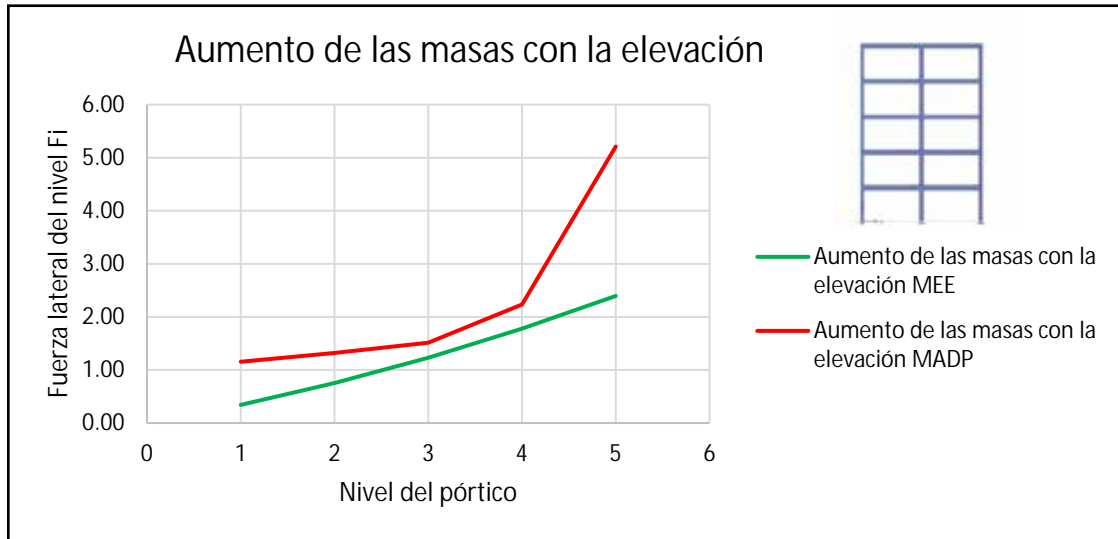
Fuente: Ladino. E. y Núñez. W. (2018)

Portico Tipo I - Aumento de las masas con la elevación						
Nivel	W (tnf)	h	Metodo estático equivalente		Análisis dinámico plano	
			Fi	Vi	Fi	Vi
5	7,15	15,00	1,09	1,21	4,4687	4,5917
4	6,64	12,00	0,81	2,02	3,1542	7,7459
3	6,13	9,00	0,56	2,58	2,2593	10,0052
2	5,62	6,00	0,34	2,92	1,5015	11,5067
1	5,11	3,00	0,16	3,07	0,7306	12,2373
	30,63					

Tabla 26 cortante para zona 5, Suelos blandos o sueltos, S3

Fuente: Ladino. E. y Núñez. W. (2018)

4.4.3 Análisis de Pórticos irregulares de concreto reforzado de 2 vanos



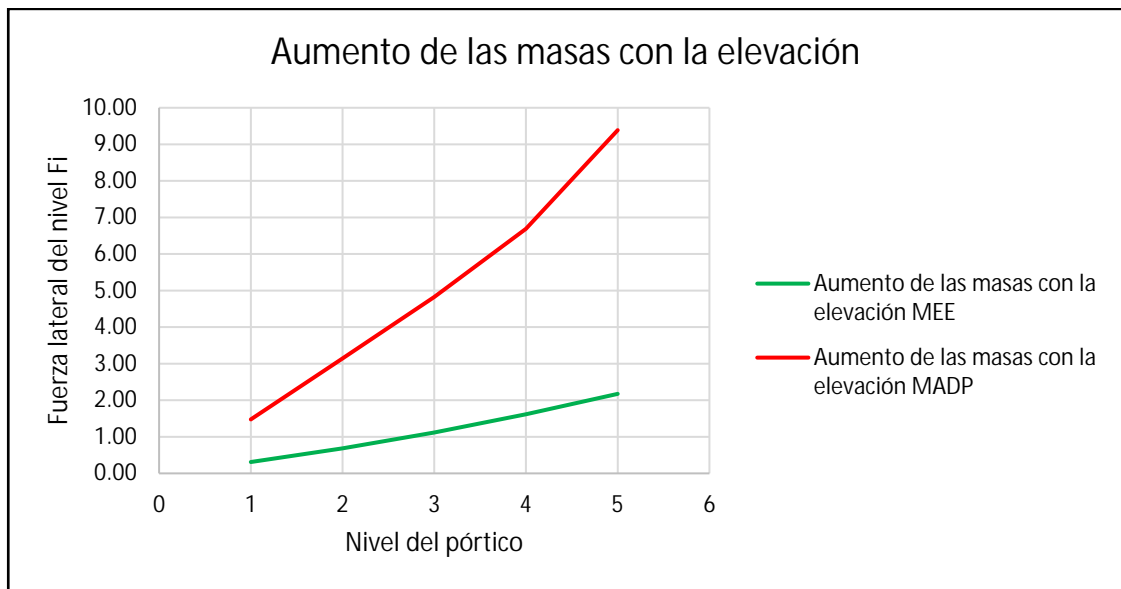
Grafica 12 irregularidad aumento de la masa con la elevación, roca blanda o meteorizada, suelos muy duros o muy densos, S1.

Fuente: Ladino. E. y Núñez. W. (2018)

Pórtico Tipo I - Aumento de las masas con la elevación						
Nivel	W (tnf)	h	Metodo estático equivalente		Análisis dinámico plano	
			Fi	Vi	Fi	Vi
5	14,29	15,00	2,39	2,81	5,2096	5,62468
4	13,27	12,00	1,78	4,59	2,2329	7,85756
3	12,25	9,00	1,23	5,82	1,5129	9,37049
2	11,23	6,00	0,75	6,57	1,3215	10,69197
1	10,21	3,00	0,34	6,91	1,1550	11,84694
	61,26					

Tabla 27 cortante para zona 5, roca blanda o meteorizada, suelos muy duros o muy densos, S1

Fuente: Ladino. E. y Núñez. W. (2018)



Grafica 13 irregularidad aumento de la masa con la elevación, roca blanda o meteorizada, suelos muy duros o muy densos, S3.

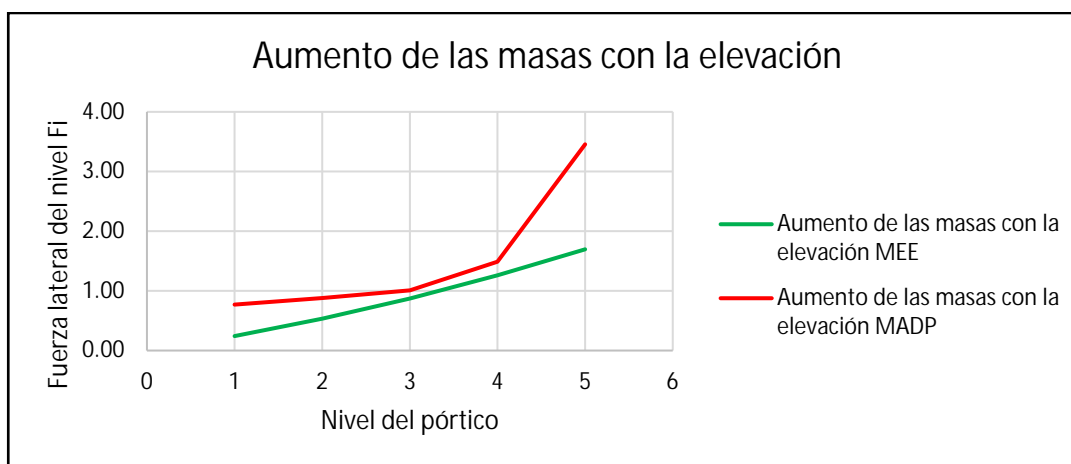
Fuente: Ladino. E. y Núñez. W. (2018)

Portico Tipo I - Aumento de las masas con la elevación						
Nivel	W (tnf)	h	Metodo estático equivalente		Análisis dinámico plano	
			Fi	Vi	Fi	Vi
5	14,29	15,00	2,17	2,42	9,3872	9,63312
4	13,27	12,00	1,62	4,04	6,6902	16,32332
3	12,25	9,00	1,12	5,15	4,8249	21,14818
2	11,23	6,00	0,68	5,84	3,1455	24,29371
1	10,21	3,00	0,31	6,15	1,4761	25,76979
	61,26					

Tabla 28 cortante para zona 5, roca blanda o meteorizada, suelos muy duros o muy densos, S3

Fuente: Ladino. E. y Núñez. W. (2018)

En este caso, aunque existe una diferencia de hasta un 51% en el último nivel, en los niveles inferiores no existe brecha destacada entre ambos métodos siendo el método estático equivalente insuficiente si llega a comparar esta diferencia en el último nivel es ocasionada debido a un periodo muy pequeño.



Grafica 14 Roca sana fracturada, S1.

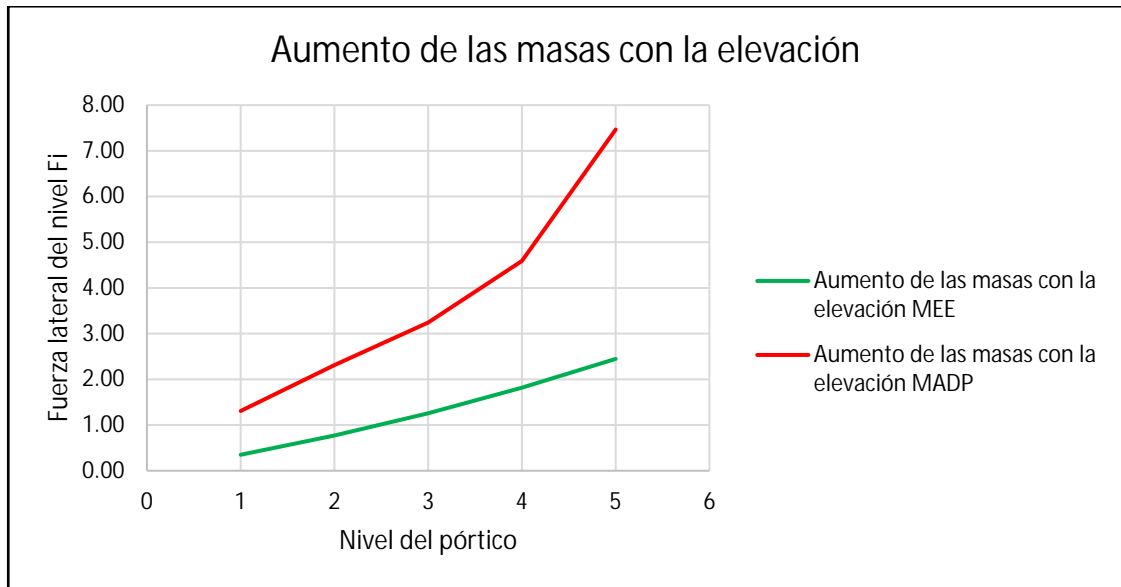
Fuente: Ladino. E. y Núñez. W. (2018)

Pórtico Tipo I - Aumento de las masas con la elevación						
Nivel	W (tnf)	h	Metodo estático equivalente		Análisis dinámico plano	
			Fi	Vi	Fi	Vi
5	14,29	15,00	1,73	1,93	3,5539	3,74979
4	13,27	12,00	1,29	3,22	1,4886	5,23838
3	12,25	9,00	0,89	4,11	1,0086	6,24699
2	11,23	6,00	0,54	4,65	0,8810	7,12798
1	10,21	3,00	0,25	4,90	0,7700	7,89796
	61,26					

Tabla 29 Roca sana fracturada, S1

Fuente: Ladino. E. y Núñez. W. (2018)

Aumento significativo la forma espectral arroja mayores valores con una diferencia entre el método estático equivalente y el método de análisis dinámico de hasta un 57,8% en el último nivel.



Grafica 15 Roca sana fracturada, S2.

Fuente: Ladino. E. y Núñez. W. (2018)

Portico Tipo I - Aumento de las masas con la elevación						
Nivel	W (tnf)	h	Metodo estático equivalente		Análisis dinámico plano	
			Fi	Vi	Fi	Vi
5	14,29	15,00	2,45	2,72	7,4651	7,74181
4	13,27	12,00	1,82	4,54	4,5896	12,33137
3	12,25	9,00	1,26	5,80	3,2408	15,57215
2	11,23	6,00	0,77	6,57	2,3117	17,88384
1	10,21	3,00	0,35	6,92	1,3074	19,19122
	61,26					

Tabla 30 Roca sana fracturada, S1

Fuente: Ladino. E. y Núñez. W. (2018)

CONCLUSIONES

De acuerdo a lo establecido en la Fase I y II se realizó una descripción y ordenamiento de los lineamientos que propone la Norma venezolana COVENIN 1756-2001 “Edificaciones sismorresistentes” de manera detallada con la creación de diagramas de flujo que conduce al cálculo del cortante basal para estructuras tanto regulares como irregulares, el presente trabajo de grado dispondrá de dicho material de apoyo para otros estudios en donde se estudie el cortante en la base de una edificación, esto con el fin de simplificar cada vez más la aplicación de ambos métodos

Así mismo, el programar una hoja de cálculo resulto de gran ayuda ya que realiza los cálculos de manera sencilla para así determinar la cortante en la base y parámetros dispuestos en la norma para la aplicación del Método Estático Equivalente.

De acuerdo con lo establecido con la fase III y IV se realizó un análisis comparativo entre los dos métodos, obteniendo como resultado una diferencia marcada en la cual método estático equivalente presenta resultados mayores debido a que considera un solo modo de vibrar, efecto el cual es aún mayor cuando los pórticos son irregulares y existe una variación de masas por nivel dado que este no toma en cuenta esta variación, el cortante basal calculado mediante el método estático equivalente con el periodo de Rayleigh muestra resultados aún más conservadores ya que el periodo fundamental tiende a ser menor a medida que aumenta los vanos, esta disminución causa cortantes basales muy elevados al punto de que pierde validez inclusive antes de llegar a los 10 niveles al cual es que la norma permite la aplicación del método, por ende el método estático equivalente resulta acertado en pórticos de hasta 5 niveles pero insuficiente a medida que aumenta el número de niveles, se presentan irregularidades verticales en el pórtico y cuando existe rigideces elevadas aun cuando este sea regular si el número de vanos es grande y las rigideces también lo son los resultados tienden a ser más elevados , en contraste el método de análisis dinámico plano presenta una variación uniforme a pesar de que cambien las características del

material del suelo, esto conforme a que el método de análisis dinámico plano obtiene la fuerza del nivel en base de la rigidez y la masa de este ajustando aún más el valor del cortante basal obtenido, adicional a esto a medida que aumenta el nivel la forma de vibrar se vuelve más trascendente, por ello el método de análisis dinámico plano resulta eficiente al momento del diseño sismorresistente, en pórticos de más de 10 niveles el método de análisis dinámico plano se mantiene por debajo del método estático equivalente lo que resulta un beneficio para el diseño.

RECOMENDACIONES

Se recomienda la aplicación del método estático equivalente hasta pórticos de 5 niveles.

No aplicar el método estático equivalente en pórticos cuya rigidez sea muy elevada ya que este no considera los efectos producidos por esta y en casos donde se presente alguna irregularidad vertical.

Así mismo se recomienda aplicar el método de análisis dinámico en todos los casos puesto que este tiene como resultado un cortante basal más refinado y ajustados a lo que realmente ocurre al momento de un sismo.

Así mismo se recomienda realizar un estudio más detallado que considere los efectos torsionales debido a irregularidades en planta para observar la diferencia de cortante basal al incluir este efecto.

Así mismo se recomienda realizar un estudio con las mismas características enfocado a pórticos irregulares.

Se recomienda incluir el estudio de control de deriva y el efecto P posteriores para observar el comportamiento que este tendría en una comparación de cortantes en la base y en los diferentes niveles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar Falconí Roberto (2008). **Análisis sísmicos de edificios. (Primera edición)**
- Arias, F. (2006). **El Proyecto de Investigación. Introducción a la Metodología Científica.** Quinta edición. Editorial Episteme, Caracas.
- Bazán E. y Meli R (1990). **Diseño sísmico de edificios.** Limusa, Noriega Editores.
- Barvaresco, Aura (2006). **Proceso metodológico de la investigación.** Editorial Editorial de la Universidad del Zulia.
- Chopra, Anil K (2014). **Dinámica de estructuras** Editorial Pearson (**Cuarta edición**).
- Hurtado, J (2006). “Metodología de la Investigación Científica”. Cuarta Edición. Caracas: Sypal.
- Mendez, Carlos (2007). **Metodología de la investigación.** Cuarta edición.

Sabino, C. (2001). **El Proceso de investigación** Editorial. Panapo, Caracas.

Saavedra, Carlos, (2012). **Método Estático Equivalente:**

<https://saavedraonline.wordpress.com/2017/01/23/aplicacion-del-metodo-estatico-equivalente-norma-covenin-1756-2001/>

San Bartolomé, Angel (1998). **Análisis de edificios.** Fondo Editorial (**Primera edición**)

Tamayo, M. y Tamayo, M. (1997). **El Proceso de la Investigación Científica** Editorial. Limusa, México.