UCAB Universidad Católica ANDRÉS BELLO

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

# EVALUACIÓN DEL IMPACTO EN LA SELECCIÓN DE NORMAS SÍSMICAS PARA EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS EN INSTALACIONES INDUSTRIALES

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

Presentado ante la

**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRES BELLO**

Como parte de los requisitos para optar al título de

**INGENIERO CIVIL**


| | |
|---|---|
| **REALIZADO POR** | **LÓPEZ GUEVARA, Keyberling M.** |
| | **MATHEUS DAMIANI, Astrid Sofía** |
| **PROFESOR GUÍA** | **Ing. José Gerardo Castillo** |
| **FECHA** | **Caracas, Noviembre de 2013** |

UCAB Universidad Católica ANDRÉS BELLO

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**Este Jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su comentario con el resultado:** DIECIOCHO (18) PUNTOS

JURADO EXAMINADOR

**Firma:** **Nombre:** JOSÉ G. CASTILLO

**Firma:** **Nombre:** ANALDO GUERRA

**Firma:** **Nombre:** ALFONSO BELLOSO

| | |
|---|---|
| **REALIZADO POR** | **LÓPEZ GUEVARA, Keyberling M.** |
| | **MATHEUS DAMIANI, Astrid Sofía** |
| **PROFESOR GUÍA** | **Ing. José Gerardo Castillo** |
| **FECHA** | **Caracas, Noviembre de 2013** |

# DEDICATORIA

A mi madre Neyda Guevara Zamora, por ser mi guía, mi amiga, mi modelo a seguir, por hacerme la persona que soy hoy en día, enseñándome a ser optimista y perseverante para el cumplimiento de todas las metas que me proponga a lo largo de la vida, por apoyarme en cada una de mis decisiones y ser más que mi madre ser mi amiga.

**Keyberling López**

A mis padres Astrid Damiani y José Matheus, por ser mi apoyo incondicional a lo largo de toda mi carrera y mi vida, a mi hermana Liliam Carolina y a mis abuelos Emma, María Mercedes, Roseliano y Luis Rafael a quienes tengo presente en todo momento.

**Astrid S. Matheus Damiani**

# AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecemos a Dios, por guiarnos a lo largo de todo este camino, darnos la fortaleza, la paciencia y la salud necesaria para el avance, progreso y culminación de este trabajo especial de grado.

A nuestros padres y familiares, que con todo su apoyo a lo largo de la carrera y de este trabajo final de grado, hicieron que el camino emprendido fuera un poco más fácil, gracias por el amor incondicional y por todas las veces que fueron más que padres, donde fueron amigos consejeros y guías.

A nuestro tutor el Ing. José Gerardo Castillo, por brindarnos todo su apoyo y sabiduría, siempre dispuesto a ayudarnos, dedicando parte de su tiempo, su entera paciencia y disposición, como un miembro más de este equipo de trabajo, para así lograr exitosamente la culminación del mismo.

A nuestros amigos y compañeros de clases, que a lo largo de estos 5 años se convirtieron en una familia más. Por compartir y ser parte de muchas experiencias vividas, sacrificios, horas de trasnochos, días enteros en biblioteca, risas, lágrimas, esfuerzos, siendo aquellos consejeros que necesitamos en muchos momentos, y sobre todo siendo compañeros de lucha, para así lograr el cumplimiento de esta meta trazada hace algunos años, que se llegó a convertir en una meta en común para todos. Donde la realización de la misma nos llena de satisfacción y nos llevara siempre a recordar las mejores anécdotas de cada uno de esos momentos vividos. Una vez más GRACIAS!

A la UCAB, por ser el pilar fundamental para el desarrollo de nuestra carrera profesional, a todos esos profesores que nos brindaron su sabiduría y todas aquellas herramientas que serán de utilidad para ejercer nuestra labor como profesionales.

*Gracias a todos, sin Ustedes nunca hubiésemos podido llegar hasta aquí...*

# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA** ..... i

**AGRADECIMIENTOS** ..... ii

**ÍNDICE GENERAL** ..... iii

**ÍNDICE DE TABLAS** ..... v

**ÍNDICE DE FIGURAS** ..... vii

**INTRODUCCIÓN** ..... 1

**CAPÍTULO I – EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN** ..... 3

I.1 - Planteamiento del Problema ..... 3

I.2 - Objetivos de la Investigación ..... 4

I.2.1 - Objetivo General ..... 4

I.2.2 - Objetivos Específicos ..... 4

I.3 - Alcances y Limitaciones ..... 5

I.3.1 - Alcances ..... 5

I.3.2 - Limitaciones ..... 5

I.4 - Antecedentes ..... 6

**CAPÍTULO II – MARCO METODOLÓGICO** ..... 8

II.1 - Diseño del Trabajo Especial de Grado ..... 8

II.2 - Operacionalización de los Objetivos del Trabajo ..... 9

II.3 - Fases del TEG ..... 11

**CAPÍTULO III – MARCO TEÓRICO** ..... 12

III.1 - Definiciones Básicas ..... 13

III.2 - Requisitos Establecidos en las Normativas ..... 15

III.2.1 - Norma PDVSA JA-221 ..... 15

III.2.2 - UBC 1997 (UNIFORM BUILDING CODE) ..... 30
III.2.3 - Norma ASCE 7-10 ..... 43

**CAPÍTULO IV - DESARROLLO ..... 59**
IV.1 - Metodología PDVSA JA-221 ..... 60
IV.1.2 - Descripción del Método ..... 60
IV.2- Metodología UBC 97 ..... 65
IV.2.1- Descripción del Método. ..... 65
IV.3 - Metodología ASCE 7-10 ..... 67
IV.3.1 – Descripción del Método. ..... 67

**CAPÍTULO V – ANÁLISIS DE RESULTADOS ..... 72**
V.1- Zona Sísmica de Riesgo Bajo ..... 72
V.2 - Zona Sísmica de Riesgo Medio ..... 79
V.3- Zona Sísmica de Riesgo Alto ..... 87

**CAPÍTULO VI – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 97**
VI. 1 - Conclusiones ..... 97
VI.2 - Recomendaciones ..... 98

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 99**

**ANEXOS ..... 100**

# ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla II - 1** Operacionalización de Objetivos ..... 10

**Tabla III - 1** Escala de Clasificación de Riesgos y Probabilidades Anuales de Excedencia de los Movimientos del Terreno (p1). ..... 21

**Tabla III - 2** Valores que Definen la Forma del Espectro. ..... 23

**Tabla III - 3** Forma Espectral Tipificada y Factor $\phi$ ..... 24

**Tabla III - 4** Valores de $T^+$ (segundos) ..... 26

**Tabla III - 5** Factor de Amortiguamiento. ..... 28

**Tabla III - 6** Factores de Ductilidad. ..... 29

**Tabla III - 7** Categoría de Ocupación. ..... 34

**Tabla III** - 8 Tipos Perfil de Suelo ..... 38

**Tabla III - 9** Zona Sísmica Factor Z ..... 39

**Tabla III -10** Coeficiente Sísmico C*a*. ..... 39

**Tabla III - 11** Coeficiente Sísmico C*v* ..... 40

**Tabla III - 12** Factor R para Sistemas Estructurales ..... 41

**Tabla III - 13** Factor R para Sistemas "Non-Buildings" ..... 42

**Tabla III - 14** Clasificación del Suelo ..... 45

**Tabla III - 15** Coeficiente de Sitio, *Fa* ..... 47

**Tabla III - 16** Coeficiente de Sitio, *Fv* ..... 47

**Tabla III - 17** Categoría de Riesgo ..... 51

**Tabla III - 18** Factor de Importancia ..... 53

**Tabla III - 19** Factor de Reducción ..... 53

**Tabla III - 20** Valores de Ao ..... 55

**Tabla III - 21** Forma Espectral y Factor de Corrección ..... 56

**Tabla III - 22** Valores de Ao ..... 57

**Tabla III - 23** Valores de $T^+$ ..... 57

**Tabla IV - 1** Variación de Zona de Riesgo ..... 59

**Tabla IV - 2** Tipo de Suelo Según Códigos de Diseño ..... 61

**Tabla IV - 3** Valores de a*, γ, a y Ao ..... 60

**Tabla IV - 4** Datos ..... 62

**Tabla IV - 5** Datos ..... 63

**Tabla IV - 6** Datos UBC 97 ..... 66

**Tabla IV - 7** Factores de Reducción UBC 97 ..... 66

**Tabla IV - 8** Datos ASCE ..... 68

**Tabla IV - 9** Factores de Reducción de Respuesta ..... 69

**Tabla V - 1** Variación para Zona de Riesgo Bajo ..... 72

**Tabla V - 2** Variación para Zona de Riesgo Medio ..... 79

**Tabla V - 3** Variación para Zona de Riesgo Alto ..... 87

# ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura II - 2** Fases del TEG ..... 12

**Figura III - 1** Mapa Amenaza Sísmica, Valores de a*. ..... 19

**Figura III - 2** Mapa Amenaza Sísmica, Valores de $\gamma$. ..... 20

**Figura III - 3** Espectro de Diseño. ..... 23

**Figura III - 4** Espectro de Diseño UBC 1997 PDVSA JA-221 (1999). ..... 32

**Figura III -5** Espectro de Respuesta ASCE 7-10. ..... 48

**Figura IV - 1** Zonas Seleccionadas ..... 61

**Figura V - 1** Espectro de Diseño para Recipientes Verticales- Zona sísmica de Riesgo Bajo ..... 73

**Figura V - 2** Espectro de Diseño para Recipientes Horizontales- Zona de Riesgo Bajo ..... 74

**Figura V - 3** Espectro de Diseño para Estructuras de Concreto- Zona sísmica de Riesgo Bajo ..... 75

**Figura V - 4** Espectro de Diseño para Estructuras de Acero (pórticos arriostrados) Zona de Riesgo Bajo. ..... 76

**Figura V - 5** Espectro de Diseño para Estructuras de Acero (pórticos a momentos) Zona de Riesgo Bajo ..... 77

**Figura V - 6** Espectro de Diseño para Recipientes Verticales- Zona de Riesgo Medio. ..... 80

**Figura V - 7** Espectro de Diseño para Recipientes Horizontales- Zona de

Riesgo Medio ..... 81

**Figura V - 8** Espectro de Diseño para Estructuras de Concreto- Zona de Riesgo Medio ..... 82

**Figura V - 9** Espectro de Diseño para Estructuras de Acero (pórticos arriostrados) Zona de Riesgo Medio. ..... 83

**Figura V - 10** Espectro de Diseño para Estructuras de Acero (pórticos a momentos) Zona de Riesgo Medio. ..... 84

**Figura V - 11** Espectro de Diseño para Recipientes Verticales- Zona de Riesgo Alto. ..... 88

**Figura V - 12** Espectro de Diseño para Recipientes Horizontales- Zona de Riesgo Alto ..... 89

**Figura V - 13** Espectro de Diseño para Estructuras de Concreto- Zona de Riesgo Alto ..... 90

**Figura V - 14** Espectro de Diseño para Estructuras de Acero (pórticos arriostrados) Zona de Riesgo Alto. ..... 91

**Figura V - 15** Espectro de Diseño para Estructuras de Acero (pórticos a momentos) Zona de Riesgo Alto ..... 92

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

***Evaluación del Impacto en la Selección de Normas Sísmicas para el Diseño de Estructuras en Instalaciones Industriales***

Autores: Br. Keyberling M. López G. / Br. Astrid S. Matheus D.
Tutor: Ing. José Gerardo Castillo
Fecha: Noviembre 2013

## RESUMEN

En el área de la Ingeniería el diseño sismorresistente ha sido y es de gran preocupación, debido a las consecuencias que se pueden generar al momento de que ocurra un evento de esta naturaleza. Por esta razón se han desarrollado Normas Sísmicas a nivel mundial, las cuales se encuentran en constante renovación debido a las lecciones que dejan los terremotos que ocurren a nivel mundial.

En Venezuela el diseño sismorresistente de estructuras en instalaciones industriales es de suma importancia debido a su ubicación sobre una zona de alta actividad sísmica y a la predominancia de la actividad petrolera como principal motor económico del país.

Por lo tanto, el objetivo principal de este Trabajo Especial de Grado fue la evaluación del impacto en la selección de Normas sísmicas para el diseño de estructuras en instalaciones industriales, basándose en la comparación de gráficas obtenidas de Normas Sísmicas venezolanas y de Estados Unidos (adaptadas a las condiciones de nuestro país). De esta comparación se determinaron las Normas de mayor exigencia en cuanto a diseño sismorresistente, para cada tipo de estructura analizada, fundamentándose en el coeficiente de corte generado por cada Norma.

**Palabras Clave**: Diseño de Estructuras, Instalaciones Industriales, Normas Sísmicas, Coeficiente de Corte, Terremotos.

# INTRODUCCIÓN

La actividad sísmica es de gran importancia en la vida de los venezolanos, debido a que la ubicación de nuestro país en una zona de alta sismicidad, afecta gran parte del territorio, especialmente las áreas más densamente pobladas.

La importancia de dicha actividad sísmica ha sido la causa principal del desarrollo de Normas de diseño sismorresistente en muchos países; convirtiéndose de obligatorio cumplimiento para el diseño de edificaciones, los parámetros que conforman las mismas, como medida de atenuación de los riesgos inherentes a este tipo de eventos de la naturaleza.

Venezuela por ser un país petrolero, el diseño sismorresistente de las estructuras industriales es de suma importancia; y es aquí donde se enfoca este Trabajo Especial de Grado (TEG), el cual evalúa el impacto que tiene la selección de Normas Sísmicas para el Diseño de Estructuras en Instalaciones Industriales.

Como bien es conocido, las distintas Normas que se utilizan en el mundo para el diseño sismorresistente parten todas de la misma base conceptual; es decir, se intentan traducir de la forma más precisa posible, a través de expresiones matemáticas, las fuerzas que generan los sismos sobre las estructuras.

En este sentido, todas las Normas calculan el llamado Corte basal, que no es más que el producto de una serie de factores por el peso total de la estructura. Dichos factores dependen de la zona sísmica, tipo de suelo, sistema estructural, entre otros, y varían dependiendo de la Norma que se utilice.

A fin de poder comparar los distintos códigos sobre una misma base, este TEG compara las Normas seleccionadas, desde el punto de vista del coeficiente de corte basal; es decir, el coeficiente entre el corte basal y el peso total que es conocida como fuerza o corte basal sobre la estructura.

De esta forma, se pueden establecer comparaciones directas entre cada Norma, a fin de establecer, para un conjunto de condiciones y parámetros bien definidos, cuál de ellas es más exigente para el diseño de estructuras en instalaciones industriales.

La realización de este TEG comprende varias etapas. La primera de ellas se basa particularmente, en recolectar la información proveniente de las Normas seleccionadas, para de esta manera, evaluar los requisitos específicos de cada una de dichas Normas para la obtención de los coeficientes de corte basal, para distintos tipos de estructuras.

Con la información recolectada se dibujaron los espectros de diseño correspondientes para cada Norma a utilizar, los cuales muestran el comportamiento del valor del coeficiente de corte basal, como una función del período de vibración, lo que corresponde a la segunda etapa del trabajo de grado.

La tercera etapa, consistió en realizar una comparación entre las Normas y Especificaciones siguientes: ASCE 7-10 (American Society of Civil Engineers) "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures", PDVSA JA-221 "Diseño Sismorresistente de Instalaciones Industriales" y UBC (Uniform Building Code) 97, mediante el uso de las gráficas construidas para cada tipo de estructura.

Es importante mencionar que este TEG, se enfocará en estructuras de acero y concreto, y en recipientes horizontales y verticales.

La cuarta etapa, consistió en evaluar el impacto que tiene la selección de la Norma sísmica en el marco de proyectos industriales; lo cual corresponde con el objetivo general de este trabajo de grado a fin de plantear recomendaciones para la selección las Normas o Especificaciones de diseño sismorresistente.

# CAPÍTULO I

# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se presenta tanto el planteamiento del problema, como los objetivos generales y específicos de esta investigación. También se indican alcances, limitaciones del mismo y, por último, los antecedentes que sirven de base para el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado.

## I.1 - Introducción

A través de los años, las Normas de diseño sismorresistente son actualizadas debido a los constantes cambios y nuevos avances que se originan producto de las investigaciones y lecciones aprendidas en los sismos que ocurren constantemente a nivel mundial. Esto ocurre en casi todos los aspectos de la ingeniería, y es de suma importancia para los ingenieros ser conscientes de dichos cambios y evaluar su impacto en su labor y desempeño como profesionales responsables.

La sismicidad es de gran importancia para Venezuela, ya que gran parte de su población está ubicada en zonas de alta y mediana amenaza sísmica, razón por la cual el diseño sismorresistente de estructuras ubicadas dentro del territorio nacional, amerita una evaluación detallada.

Además de esto, siendo Venezuela un país petrolero, también es de gran importancia el diseño bajo solicitaciones sísmicas de estructuras industriales ubicadas en complejos tales como refinerías, plantas de generación eléctrica y petroquímicas. Debido al riesgo que puede generar el colapso de estructuras ubicadas en estas instalaciones, dada la naturaleza propia de las operaciones que en ellas se realizan, es de suma importancia plantear un adecuado diseño sismorresistente; por lo que este TEG estará enfocada en las estructuras presentes en este tipo de instalaciones.

La inquietud de este trabajo de grado surgió debido a la incertidumbre que genera el saber si las condiciones evaluadas por las Normas sísmicas existentes siguen conservando su valor e importancia actualmente en comparación con otras Normas internacionales de amplio uso en este tipo de proyectos, o si se ha generado algún cambio significativo en las mismas, evaluando el impacto que tiene a nivel del proyecto, la selección de la Norma de diseño sismorresistente. Esta evaluación se realizó a través de la comparación de los resultados obtenidos para el coeficiente de corte (el coeficiente entre el corte basal y el peso total de la estructura) según los parámetros establecidos por las diferentes Normas sísmicas a utilizar en este trabajo de grado.

Por todo lo planteado anteriormente, este Trabajo Especial de Grado busca evaluar el impacto que tiene la selección de Normas Sísmicas en el diseño de estructuras en instalaciones industriales.

## I.2 - Objetivos del TEG

### I.2.1 - Objetivo General

El objetivo general de este Trabajo Especial de Grado es evaluar el impacto en la selección de Normas Sísmicas, para el diseño de estructuras en instalaciones industriales, basándose en el criterio de coeficiente de corte basal, de acuerdo con lo indicado en cada una de las Normas a ser evaluadas en este TEG.

### I.2.2 - Objetivos Específicos

- Evaluar los requisitos específicos de cada una de las Normas seleccionadas para la obtención de los coeficientes de corte basal.

- Realizar una comparación entre las Normas ASCE 7-10, PDVSA JA-221 y UBC 97, mediante el uso de gráficas construidas para cada tipo de estructura.
- Evaluar el impacto que tiene la selección de la Norma sísmica en el marco de proyectos industriales.
- Plantear recomendaciones para la selección del código de diseño, en base a los resultados obtenidos.

## I.3 - Alcances y Limitaciones

### I.3.1 - Alcances

El alcance de este trabajo contempla la evaluación de las Normas y especificaciones ASCE 7-10, PDVSA JA-221 y UBC 97, análisis de los resultados obtenidos, elaboración de gráficas representativas en función del coeficiente de corte basal y comparación de los resultados obtenidos a fin de evaluar el impacto en la selección del código de diseño en este tipo de proyecto.

Los resultados obtenidos para la selección de la Norma más exigente o conservadora, a nivel de diseño sismorresistente, se desarrollaron a nivel conceptual, por medio de la compilación de información existente en las diversas Normas seleccionadas para este TEG.

### I.3.2 - Limitaciones

Este trabajo de investigación se realizará sólo para estructuras industriales "On-Shore"; específicamente las siguientes:

- Estructuras de acero o concreto.
- Recipientes horizontales o verticales.

En el Anexo A de este TEG se incluyen fotos de este tipo de estructuras.

El análisis que se realizará en este trabajo a través del criterio del coeficiente de corte basal, se hará sólo para las siguientes Normas y especificaciones:

- ASCE 7-10 (American Society of Civil Engineers) "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures"
- PDVSA JA-221 "Diseño Sismorresistente de Instalaciones Industriales"
- UBC (Uniform Building Code) 97

Es importante destacar que la Norma COVENIN 3621 "Diseño Sismorresistente de Instalaciones Industriales" es igual a la Especificación PDVSA JA-221, por lo cual se decidió trabajar directamente con esta última.

## I.4 - Antecedentes

A continuación se hace referencia a algunos trabajos encontrados que sirvieron como antecedentes a la investigación desarrollada:

En primer lugar, se tiene el trabajo realizado por Lanza, Puentes y Villalobos (2003) del Departamento de Estructuras, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela, el cual presenta el análisis de los parámetros más relevantes de diseño sísmico de la Norma venezolana, en comparación con los códigos sísmicos de los Estados Unidos, México, Japón y Chile.

Por otro lado, se encontraron antecedentes de talleres dictados a nivel empresarial que tratan específicamente el tema, tal como la presentación de la charla dictada por el Ing. Rafael Hernández (2012), titulada "Interpretación y Equivalencia de Normas Sísmicas" la cual busca dar a conocer las distintas Normas sísmicas con que contamos para el diseño de estructuras en proyectos industriales, así como también revisar el fundamento de cada una de ellas, en cuanto a la caracterización de la amenaza sísmica. Finaliza comparando dichas Normas entre sí, mostrando sus diferencias y posibles equivalencias.

Por último se revisaron los cursos de extensión profesional dictados por el Ing. José Grases (2002) "Aplicación de Normas Antisísmicas"; y por el Ing. Julio Manzanares (2005) "Aplicación de Normas sismorresistente COVENIN al Diseño de Equipos e instalaciones Industriales".

# CAPÍTULO II

# MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se presenta la metodología utilizada para el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado, esbozada en el diseño de la investigación, así como la operacionalización de los objetivos y las técnicas e instrumentos para la recolección de datos.

También se presenta una esquematización de las fases que componen este trabajo de investigación.

## II.1 - Diseño del Trabajo Especial de Grado

De acuerdo con los objetivos planteados en el capítulo anterior, este Trabajo de grado tiene como finalidad evaluar el impacto en la selección de ciertas Normas sísmicas especificadas anteriormente, para el diseño de estructuras en instalaciones industriales. Para ello, el diseño del trabajo que se adoptó fue el definido como *Investigación Documental.*

Dicha *Investigación Documental*, se basó en la revisión de toda la bibliografía relevante, análisis de fuentes documentales, normativa vigente e internet, con el fin de obtener todos los parámetros y características necesarias para el diseño sísmico de estructuras en instalaciones industriales, bajo los criterios de coeficiente de corte basal para cada norma a utilizar en este Trabajo Especial de Grado

Para esto, se revisaron los requisitos que establecen las siguientes Normas y Especificaciones:

- PDVSA JA-221: "Diseño Sismorresistente de Instalaciones Industriales", 1999.
- UBC (Uniform Building Code) 97.

- ASCE 7-10 (American Society of Civil Engineers) "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures"; adaptada a los requisites normativos de nuestro país.

Todo esto se realizó con el fin de recopilar toda la información necesaria para elaborar los espectros de diseño bajo los parámetros establecidos por las Normas y especificaciones mencionadas anteriormente y de esta manera lograr una comparación directa entre las mismas. Con esto, se evaluó el impacto que tiene la selección de alguna de estas Normas y especificaciones, para el diseño de proyectos industriales y se plantearon recomendaciones para la selección del código de diseño a utilizar, según los resultados obtenidos.

## II.2 - Operacionalización de los Objetivos del Trabajo

Como se ha mencionado anteriormente, este Trabajo Especial de Grado consiste en la evaluación del impacto en la selección de Normas sísmicas de diseño de estructuras en instalaciones industriales, mediante la elaboración de espectros de diseño bajo el criterio de coeficiente de corte basal.

Para cumplir con esto, fue necesario definir las diferentes variables involucradas en cada objetivo de esta investigación y así de esta manera, establecer el procedimiento a realizar, para el desarrollo de los espectros de diseño, de acuerdo con un esquema de trabajo estructurado. La Tabla II-1 muestra la Operacionalización de los objetivos de la investigación.

Tabla II - 1. Operacionalización de Objetivos

| Objetivo General | Objetivos Específicos | Variables | Técnicas | Instrumentos | Fuentes de Información |
|---|---|---|---|---|---|
| Evaluar el impacto en la selección de Normas sísmicas, para el diseño de estructuras en instalaciones industriales, basándose en el criterio de coeficiente de corte basal. | Evaluar los requisitos específicos de cada una de las Normas seleccionadas para la obtención de los coeficientes de corte basal. | Requisitos normativos para la obtención de los coeficientes de corte basal. | Análisis documental de fuentes bibliográficas | Citas y notas de referencias bibliográficas, tablas, ecuaciones | Normativa vigente, bibliografía especializada, artículos técnicos, guías de diseño, Internet, cursos de extensión profesional, presentaciones. |
| | Realizar una comparación entre las Normas ASCE 7-10, PDVSA JA-221 y UBC 97, mediante el uso de gráficas construidas para cada tipo de estructura. | Requisitos normativos para la obtención de los coeficientes de corte basal. | Análisis documental de fuentes bibliográficas | Citas y notas de referencias bibliográficas, tablas, ecuaciones, computador, MS Excel® | Normativa vigente, bibliografía especializada, artículos técnicos, guías de diseño, Internet, cursos de extensión profesional, presentaciones. |
| | Evaluar el impacto que tiene la selección de la Norma sísmica en el marco de proyectos industriales. | Resultados obtenidos, para los coeficientes de corte basal, plasmados en los espectros de diseño correspondientes. | Análisis de resultados, de acuerdo con los espectros de diseño obtenidos | Espectros de diseño construidos para cada tipo de estructura. | Criterio propio, Opinión de expertos. |
| | Plantear recomendaciones para la selección del código de diseño, en base a los resultados obtenidos. | Resultados obtenidos, para los coeficientes de corte basal, plasmados en los espectros de diseño correspondientes. | Análisis de resultados, de acuerdo con los espectros de diseño obtenidos | Espectros de diseño construidos para cada tipo de estructura. | Criterio propio, Opinión de expertos. |

## II.3 - Fases del TEG

El proceso de elaboración de este Trabajo Especial de Grado, estuvo compuesto por diversas etapas, de tal manera que el desarrollo del mismo se lograra realizar de una manera estructurada y organizada.

Dichas etapas de desarrollo son las siguientes:

- Etapa de Planificación
- Etapa de Elaboración
- Etapa de Comparación
- Etapa de Redacción del Informe Final

*Etapa de Planificación:* En esta etapa se incluye todo lo referente al anteproyecto, se planteó el objetivo general y los objetivos específicos a desarrollar en este Trabajo de Investigación. Se realizó una investigación referente a todo el tema del Trabajo de Grado, analizando sus alcances y limitaciones, estudiando los antecedentes encontrados para dicho proyecto, los cuales sirvieron de base para el planteamiento del problema de investigación.

*Etapa de Elaboración:* Esta etapa representa la parte principal de la investigación, puesto que aquí se desarrolló el contenido final del marco teórico, basado en la información recolectada en la fase de planificación. En ese sentido, se obtuvieron los coeficientes de corte, bajo los parámetros de cada Norma utilizada en este Trabajo de Grado, sirviendo estos de base para la obtención de los diferentes espectros de diseño para cada tipo de estructura, según el cumplimiento de los requisitos de las Normas mencionada con anterioridad.

*Etapa de Comparación:* En esta tercera etapa se realizó la comparación de los resultados obtenidos en la fase anterior. Se compararon las diferentes gráficas obtenidas para cada una de las Normas utilizadas y para cada tipo de estructura limitados para este Trabajo de Investigación.

De esta manera se plantearon también en esta etapa las conclusiones y recomendaciones, derivadas de los resultados obtenidos en esta investigación.

*Etapa de Redacción del Informe Final*: Esta última etapa constituye la redacción del informe final correspondiente a este Trabajo Especial de Grado.

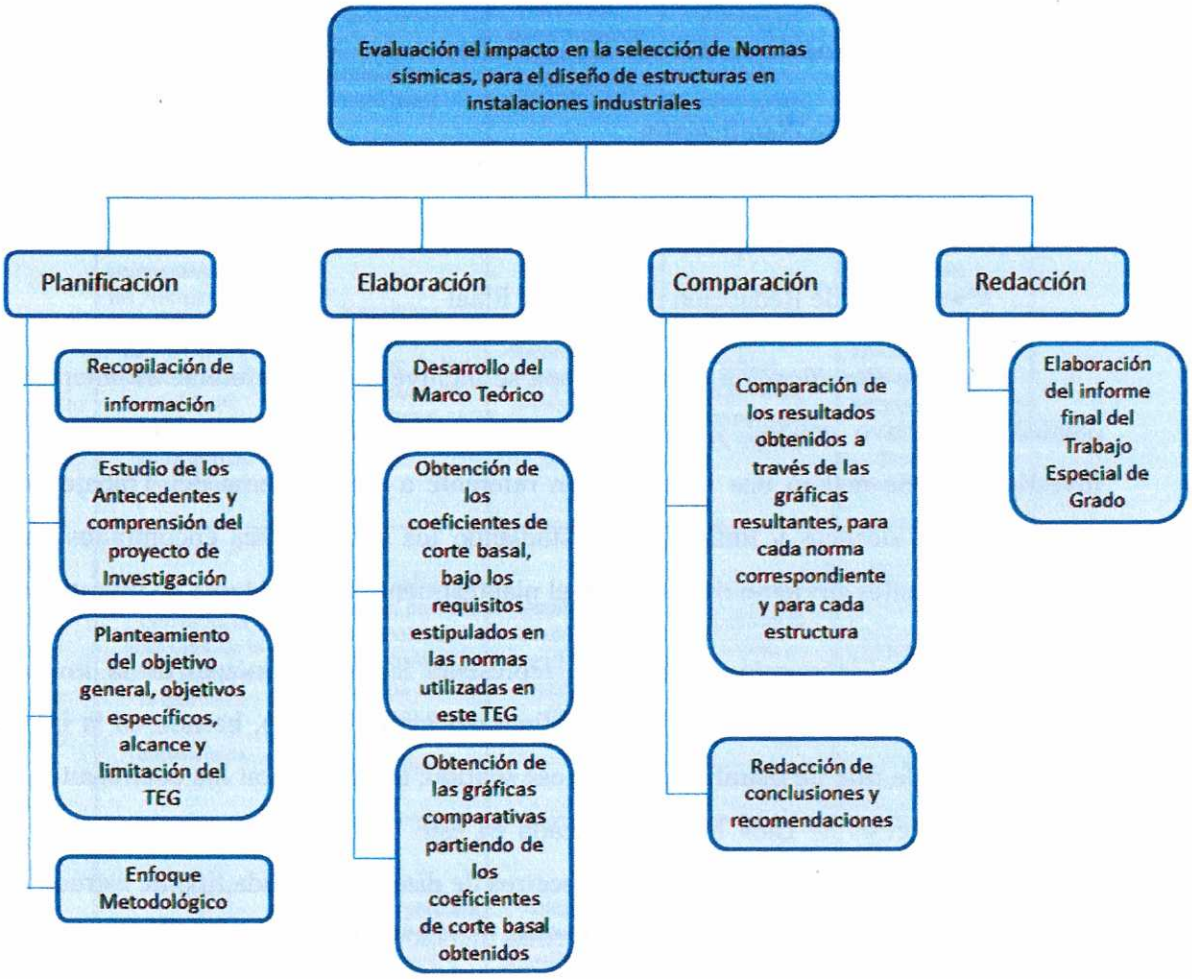


Figura II-1. Fases del TEG

# CAPÍTULO III

# MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta el Marco Teórico, el cual sirvió de base para el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado.

Se presenta una breve descripción de las Normas a utilizar en este trabajo de investigación, mencionando el objetivo y alcance de las mismas. Se plantean los requisitos propuestos por cada una de estas Normas para el cálculo de los coeficientes de corte basal para estructuras en instalaciones industriales, los cuales sirven de base para la elaboración de las gráficas comparativas en el capítulo siguiente.

## III.1 - Definiciones Básicas

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

**Acelerograma:** Registro de variación en el tiempo de las aceleraciones del movimiento del terreno en un punto y en una dirección.

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

**Amortiguamiento:** Capacidad de los materiales y sistemas de disipar energía. No incluye la disipación por incursiones en el rango inelástico.

**Coeficiente de aceleración horizontal:** Cociente de la aceleración horizontal máxima entre la aceleración de la gravedad.

**Coeficiente de amortiguamiento:** Mide el amortiguamiento de la estructura como una fracción (generalmente expresada en porcentaje) del amortiguamiento crítico. El

amortiguamiento crítico es el valor límite por encima del cual el movimiento libre de la estructura no es vibratorio.

**Coeficiente sísmico o Coeficiente de Corte basal:** Cociente entre la fuerza cortante horizontal de diseño que actúa en el nivel de base (corte basal) y el peso total por encima del mismo.

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

**Espectro de Diseño:** Es aquel espectro asociado a sismos de diseño, en el cual se ha incorporado el factor de reducción de respuesta correspondiente al sistema resistente a sismos.

**Espectro de Respuesta:** Define la respuesta máxima de osciladores de un grado de libertad y de un mismo amortiguamiento, sometidos a un acelerograma dado, expresado en función del período.

**Factor de Ductilidad:** Es un valor que describe la ductilidad global que puede tolerar el sistema resistente a sismos manteniendo su integridad; este factor cuantifica la relación entre los desplazamientos máximos reales y los desplazamientos calculados suponiendo un comportamiento elástico lineal de la estructura.

**Factor de reducción de respuesta:** Es el factor que divide las ordenadas del espectro de respuesta elástica para obtener el espectro de diseño.

**Grado de Riesgo:** Escala de clasificación de riesgos que depende del número de personas expuestas, de las eventuales pérdidas económicas y del impacto ambiental como consecuencia de falla o mal funcionamiento de la estructura.

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

## III.2 - Requisitos Establecidos en las Normativas

A continuación se presentan, de forma resumida, los requisitos de cada una de las Normas a evaluar en este TEG, a efectos del cálculo del coeficiente de corte basal.

## III.2.1 - PDVSA JA-221 "Diseño Sismorresistente de Instalaciones Industriales"

Esta especificación establece las disposiciones generales de análisis y diseño para instalaciones pertenecientes a PDVSA[1] ubicadas en zonas sísmicas, dentro del territorio de Venezuela.

Ellas no incluyen edificios, cuyo análisis y diseño se regirá por la Norma COVENIN 1756 "EDIFICACIONES SISMORRESISTENTES (Parte 1: Articulado)". Estas especificaciones prevalecerán sobre cualquier otra en lo que respecta a su ámbito de aplicación.

Las instalaciones y estructuras deberán dimensionarse de acuerdo con las Normas COVENIN vigentes, cuando sean aplicables y siempre que no colinden con las especificaciones vigentes de PDVSA. En caso que colinden, estas últimas serán mandatorias. En las especificaciones particulares para el Diseño Sismorresistente de cada instalación, se indicará su relación con las especificaciones de materiales de PDVSA y de COVENIN.

### III.2.1.1 - Notaciones

Los subíndices i y j son utilizados para indicar juntas o niveles cualesquiera; para el último nivel se reserva la letra N. Las unidades se especifican sólo en aquellos casos donde su uso es obligatorio.

[1] PDVSA: Petróleos de Venezuela, S.A.

Ad = Ordenada del espectro de diseño expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.

Ao = Aceleración horizontal máxima del terreno expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.

D = Factor de ductilidad.

H = Profundidad a la cual se consigue material con velocidad de las ondas de corte,( Vs), mayor que 500 m/s.

N = Número de juntas donde se han concentrado los pesos de la estructura.

P* = Probabilidad de que la aceleración del terreno exceda el valor a, en t años.

R = Valor máximo de respuesta dinámica.

S = Efectos del sismo, incluyendo las tres componentes sísmicas, debidamente combinadas.

T = Período fundamental de la estructura, en segundos.

T°= Valor del período que define parte del espectro elástico normalizado, en segundos.

T+ = Menor valor del período en el intervalo donde los espectros de diseño tienen un valor constante, en segundos.

T* = Valor máximo del período en el intervalo donde los espectros elásticos normalizados tienen un valor constante, en segundos.

Vo = Fuerza cortante en la base (corte basal).

Vsp = Velocidad promedio de las ondas de corte en el perfil geotécnico (m/s).

W = Peso total de la estructura por encima del nivel de base.

Wi = Peso concentrado en la junta i.

a = Aceleración máxima del terreno (cm/s2).

a* = Aceleración característica del peligro sísmico en cada localidad (cm/s2).

d = Desplazamiento máximo en fallas activas (cm).

g = Aceleración de gravedad igual a 981 gals.

gal = 1,0 $cm/s^2$.

h = Altura.

p1 = Probabilidad anual de excedencia. Es igual al inverso del período de retorno.

q = Coeficiente que afecta los efectos de la acción sísmica.

t = Vida útil o vida económica asignada a la instalación (años).

ß = Uno de los parámetros que definen la forma de los espectros.

ß* = Factor de amplificación espectral.

φ= Factor de corrección del coeficiente de aceleración horizontal.

γ= Valor característico del peligro sísmico en cada localidad.

ξ= Amortiguamiento referido al crítico.

$\mu$ = Factor de modificación de cortantes

## III.2.1.2 - Acciones Sísmicas

## III.2.1.2.1 - Mapas de Amenaza Sísmica

A los fines del diseño y verificación de instalaciones, se utilizarán los mapas de peligro sísmico de las Figura III-1 y III-2. En dichos mapas se leerán respectivamente los valores de a* y γ correspondientes al sitio de interés; en caso necesario podrán efectuarse interpolaciones lineales.

## III.2.1.2.2 - Aceleración Horizontal Máxima del Terreno

La aceleración horizontal máxima del terreno (a), en cm/s$^2$, se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$a = a^* \left[-\ln(1 - p_1)\right]^{-\frac{1}{\gamma}} \qquad \textit{Ec.III-1}$$

Dónde:

p1 = Probabilidad anual de excedencia dada en la Tabla III-1.

a*, γ = Valores obtenidos de los Mapas de Amenaza Sísmica a partir de las Figuras III-1 y III-2.

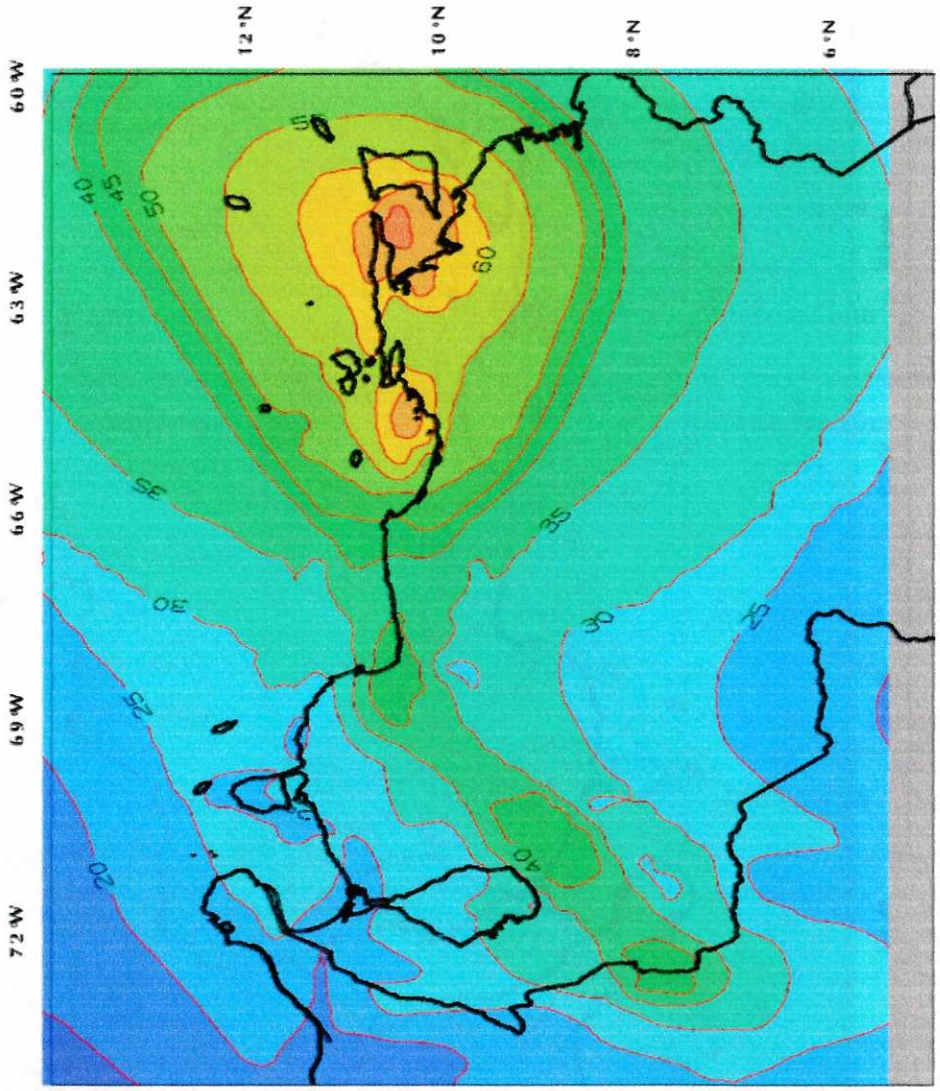


Figura III-1. Mapa Amenaza Sísmica, Valores de a*

Fuente: PDVSA JA-221 (1999)

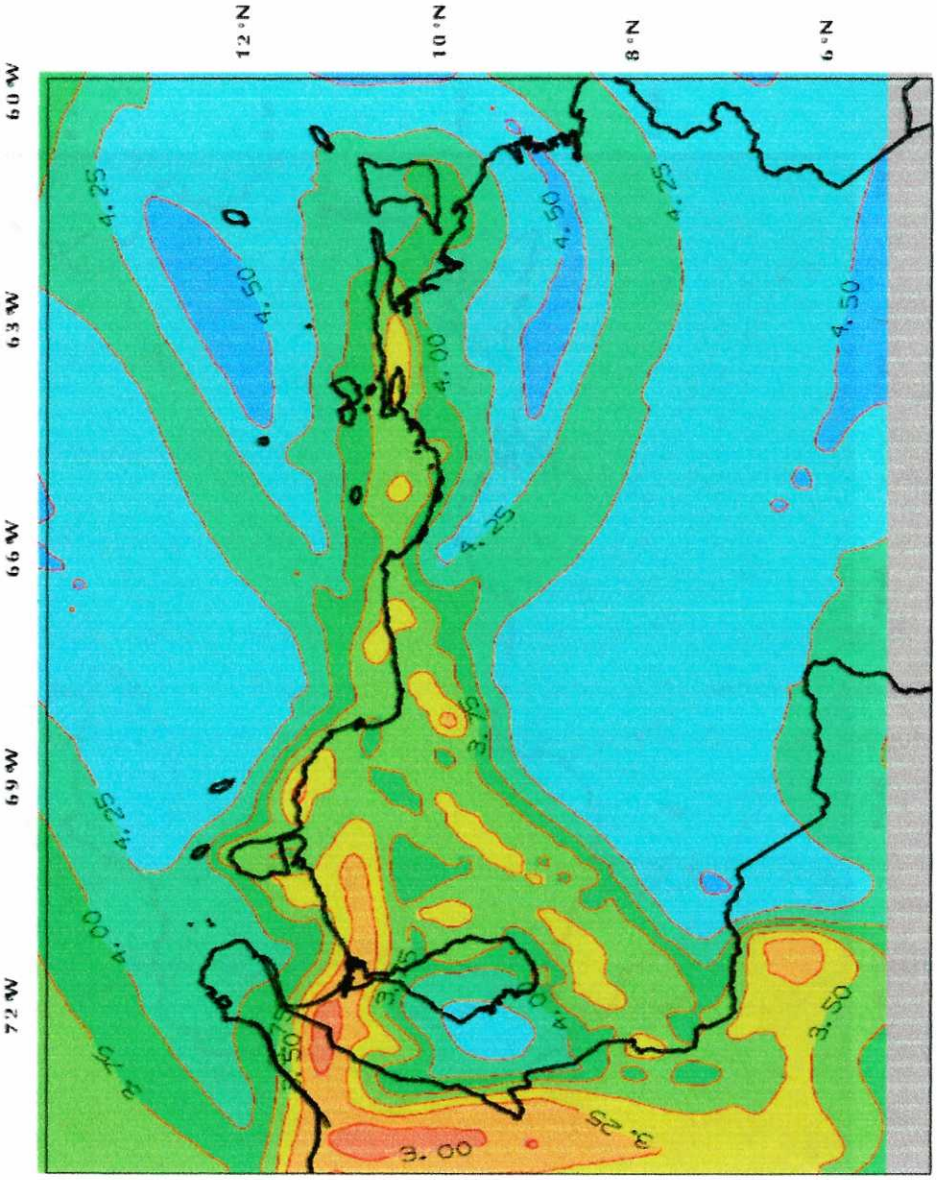


Figura III-2. Mapa Amenaza Sísmica, Valores de γ

Fuente: PDVSA JA-221(1999)

Tabla III-1 Escala de Clasificación de Riesgos y Probabilidades Anuales de Excedencia de los Movimientos del Terreno (p1)

| **Grado de Riesgo** | **CONDICIONES** | | | | **P1 ($10^{-3}$)** |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Número de Personas Expuestas** | **Pérdidas Económicas** | | **Impacto Ambiental** | |
| | | **Materiales** | **Lucro Cesante** | | |
| A | Pocas (< 10) | Limitado a la instalación | Despreciable | Poco o Nulo | $\leq 2$ |
| B | Importante (11 a 100) | La instalación y alguna vecina | Significativo. Entre 1 y 50 MMUS$ | Recuperación $\leq$ 3 años | $\leq 1$ |
| C | Elevado número de personas (100 a 500) | La instalación y numerosas vecinas | Entre 50 y 250 MMUS$ | Recuperación 3 a 10 años | $\leq 0,5$ |
| D | > 500 personas | De naturaleza catastrófica | > 250 MMUS$ | Irreversible | $\leq 0,1$ |

Fuente: PDVSA JA-221 (1999)

## III.2.1.2 - Espectro de Respuesta Elástica

Para cada forma espectral tipificada de subsuelo definido en la Tabla III-2 de este Trabajo de Investigación, los espectros de respuesta a utilizar en el análisis, están dados en la Figura III-3.

Dónde:

Ad: Aceleración espectral dividida por la aceleración de gravedad (g).

g : Aceleración de gravedad.

Ao: Coeficiente de aceleración máxima del terreno. Es igual a la aceleración "a" determinada en la Sección III.2.1.2.2 dividida por la aceleración de gravedad (g).

Ao = a/g

ß, T°, T* dependen del perfil típico del subsuelo y se dan en la Tabla III-2.

ß* es el factor de amplificación espectral que depende del amortiguamiento del sistema en consideración y viene dado por:

$$\beta^* = \frac{\beta}{2.3}(\,0{,}0853 - 0{,}739 \ln \xi\,) \qquad \textit{Ec.III-2}$$

Donde $\xi$ es el coeficiente de amortiguamiento referido al crítico. Estos coeficientes están establecidos en las especificaciones de ingeniería para el diseño de estructuras.

Los espectros de respuesta elástica, son iguales a los espectros de diseño para D = 1.

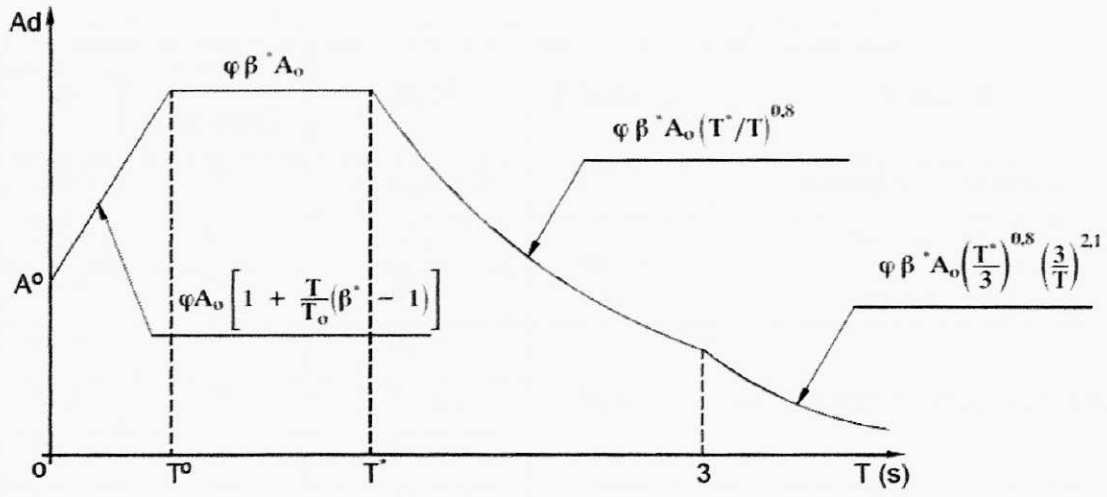


Figura III-3 Espectro Elástico

Fuente: PDVSA JA-221 (1999)

Tabla III-2 Valores que Definen la Forma del Espectro

| **Forma Espectral** | **ß** | **T°** (s) | **T*** (s) |
|---|---|---|---|
| S1 | 2,4 | 0,1 | 0,4 |
| S2 | 2,6 | 0,2 | 0,8 |
| S3 | 2,8 | 0,3 | 1,2 |
| S4 | 3,0 | 0,4 | 1,6 |

Fuente: PDVSA JA-221 (1999)

Tabla III-3 Forma Espectral Tipificada y Factor **φ**

| **Material** | **Vsp (m/s)** | **H (m)** | **Forma Espectral** | **φ** |
|---|---|---|---|---|
| Roca sana/ fracturada | > 700 | Cualquiera | S1 | 0,85 |
| Roca blanda o moderadamente meteorizada | > 400 | ≤ 50 | S2 | 0,90 |
| | | > 50 | S2 | 0,95 |
| Suelos muy duros o muy densos | > 400 | < 30 | S1 | 0,90 |
| | | 30 – 50 | S2 | 0,95 |
| | | > 50 | S3 | 1,00 |
| Suelos duros o densos | 250 - 400 | < 15 | S1 | 0,90 |
| | | 15 – 50 | S2 | 0,95 |
| | | 50 – 70 | S3 (b) | 1,00 |
| | | > 70 | S4 | 1,00 |
| Suelos firmes/ medio densos | 170 - 250 | ≤ 50 | S2 (c) | 1,00 |
| | | > 50 | S3 (b) | 1,00 |
| Suelos blandos/ sueltos | < 170 | ≤ 15 | S2 (c) | 1,00 |
| | | > 15 | S3 (b) | 1,00 |
| Estratos blandos intercalados con otros suelos más rígidos (a) | < 170 | < H1 | S2 | 1,00 |
| | | > H1 | S3 | 0,90 |

(a) El espesor de los estratos debe ser mayor a 0.1H

(b) Si Ao ≤ 15, úsese S4

(c) Si Ao ≤ 15, úsese S3

Fuente: PDVSA JA-221 (1999)

## III.2.1.3 - Espectros de Diseño

Las ordenadas Ad de los espectros de diseño que incorporan los efectos inelásticos, quedan definidas en la forma siguiente:

Si:

$$T < T^{+}: \qquad A_d = \frac{\varphi\, A_o \left[1 + \frac{T}{T^{+}}\,(\beta^{*} - 1)\right]}{\left[1 + \left(\frac{T}{T^{+}}\right)^{c}(D - 1)\right]} \qquad Ec.\,III - 3$$

Si:

$$T^{+} \leq T \leq T^{*}: \qquad A_d = \frac{\varphi\, A_O\, \beta^{*}}{D} \qquad Ec.\,III - 4$$

Si:

$$T^{*} \leq T \leq 3: \qquad A_d = \frac{\varphi A_O \beta^{*}}{D}\left[\frac{T^{*}}{T}\right]^{0,8} \qquad Ec.\,III - 5$$

Si:

$$T > 3: \qquad A_d = \frac{\varphi \beta A_O}{D}\left(\frac{T^{*}}{3}\right)^{0,8}\left(\frac{3}{T}\right)^{2,1} \qquad Ec.\,III - 6$$

Dónde:

$A_d$ = Aceleración espectral dividida por la aceleración de gravedad (g).

T = Período de la estructura, en segundos.

Ao = Coeficiente de la aceleración horizontal máxima del terreno

ß*, $T_o$, T* = Parámetros que definen el espectro de respuesta elástica

$T^+$ = Período característico del espectro inelástico, dado en la Tabla III-2.

D = Factor de ductilidad, dado en la especificación de ingeniería correspondiente a la instalación en referencia.

$$c = \sqrt[4]{\frac{D}{\beta^*}} \qquad \textit{Ec.III- 7}$$

En la siguiente tabla se muestran los valores de $T^+$:

Tabla III-4 Valores de $T^+$ (segundos)

| | |
|---|---|
| D < 5 | $T^+ = 0{,}1\ (D - 1)$ |
| D ≥ 5 | $T^+ = 0{,}4$ |
| Se debe cumplir $T^o \leq T^+ \leq T^*$ | |

Fuente: PDVSA JA-221 (1999)

## III.2.1.4 - Coeficiente de Corte

- **Fuerza Cortante en la Base**

La fuerza cortante en la base de la estructura se determina a partir de la ecuación siguiente:

$$V_0 = \mu A_d W \qquad \textit{Ec.III-10}$$

Dónde:

Ad = Ordenada del espectro de diseño definida en la Sección III.2.1.3 para el valor del período fundamental T.

W = Peso total de la estructura.

μ = Factor de reconciliación dinámico, dado por el mayor valor entre los calculados mediante las siguientes ecuaciones:

$$\mu = 1{,}6\left(\frac{NN+9}{2NN+14}\right) \qquad \textit{Ec.III-11}$$

$$\mu = 0{,}14\left(\frac{T}{T^*} - 1\right) + 0{,}70 \qquad \textit{Ec.III- 12}$$

NN = Número total de niveles, donde se han concentrado los pesos.

T* = Período característico del espectro de diseño.

## III.2.1.5 - Factor de Amortiguamiento

El factor de amortiguamiento, necesario para definir el espectro de respuesta elástica en la superficie, será seleccionado según se indica en la Tabla III-5 a continuación, de acuerdo con el tipo de estructura que se diseñe.

Tabla III-5 Factor de Amortiguamiento

| TIPO DE ESTRUCTURA | AMORTIGUAMIENTO (%) |
|---|---|
| Acero Soldado | 3 |
| Acero Empernado | 5 |
| Concreto Reforzado | 5 |
| Tanques Metálicos | Según Especificación FJ-251 |

Fuente: PDVSA JA-222 (1999)

## III.2.1.6 - Factor de Ductilidad

Los factores de ductilidad D de las estructuras se seleccionarán según se indica en la Tabla III-6, los cuales deben considerarse como máximos.

Los valores expresados en la tabla suponen que se siguen buenas prácticas de diseño sismorresistente, propias de áreas de elevada amenaza sísmica, para asegurar estructuras dúctiles.

El diseño debe garantizar que el mecanismo de disipación de energía en el cual se fundamenta D, no comprometa la estabilidad del sistema.

Tabla III-6 Factores de Ductilidad

| TIPO DE ESTRUCTURA | D | COMENTARIOS |
|---|---|---|
| Recipiente Vertical (falda metálica y pernos de conexión con la fundación) | 2 | La eventual falla de la falda, así como en los pernos de conexión, es dúctil. Se suministra suficiente longitud de deformación a los pernos mediante soportes expuestos ("silla para pernos"). |
| Recipiente Vertical (falda metálica y pernos de conexión con la fundación) | 2 | Falla dúctil en los pernos de conexión con la fundación. Se debe evitar la falla frágil (pandeo elástico) prematura de la falda. Se suministra suficiente longitud de deformación a los pernos mediante soportes expuestos ("silla para pernos"). |
| Recipiente Vertical (falda metálica y pernos de conexión con la fundación) | 1 | Falla no dúctil del sistema, en la falda y/o pernos.<br>No se recomienda esta situación. |
| Recipiente Horizontal (sobre pórticos de momento de alta hiperestaticidad) | 6 | El mecanismo de falla del pórtico debe ser dúctil, bajo el concepto de columna fuerte viga débil. No se produce falla frágil y/o prematura en la conexión entre el recipiente y el pórtico. |
| Recipiente Horizontal (sobre pórticos de momento de baja hiperestaticidad) | 4 | El mecanismo de falla del pórtico debe ser dúctil, bajo el concepto de columna fuerte viga débil. No se produce falla frágil y/o prematura en la conexión entre el recipiente y el pórtico. |

Fuente: Adaptado de PDVSA JA-222 (1999)

Tabla III-6 Factores de Ductilidad (Cont.)

| TIPO DE ESTRUCTURA | D | COMENTARIOS |
|---|---|---|
| Recipiente Horizontal (sobre monocolumnas) | 1,5 | Falla dúctil de la columna. |
| Recipiente Horizontal (sobre pórtico arriostrado) | 4 | Falla dúctil del sistema. |
| Recipiente Horizontal (sobre muros) | 1,5 | En el plano de los muros. |
| | 2 | En el plano perpendicular a los muros. |
| Recipiente Horizontal (monocolumnas arriostradas con diagonales) | 1,5 | En el plano no arriostrado. Falla dúctil de la columna |
| | 3 | En el plano arriostrado. Cede primero el sistema de arriostramiento en forma dúctil. |

Fuente: Adaptado de PDVSA JA-222 (1999)

## III.2.2 - UBC 1997 (Uniform Building Code)*

El propósito de este Código es establecer normas mínimas para proteger la vida o la integridad física, la salud, la propiedad y el bienestar público, regular y controlar el diseño, la construcción, la calidad de los materiales, el uso y la ocupación, ubicación y mantenimiento de todos los edificios y estructuras dentro de esta jurisdicción y ciertos equipos regulados específicamente en este documento.

*traducción libre del UBC 97

## III.2.2.1 - Notaciones

Ca = Coeficiente sísmico, tal como se expone en la Tabla III-10.

Cv = Coeficiente sísmico, tal como se expone en la Tabla III-11

g = Aceleración de la gravedad.

I = Factor de importancia dado en la Tabla III-7

R = Coeficiente numérico representativo sobre-resistencia inherente y capacidad de ductilidad global de sistemas resistentes a fuerza laterales, tal como se expone en la Tabla III-12 o Tabla III-13

$S_A$, $S_B$, $S_C$, $S_D$, $S_E$, $S_F$ = Tipos de perfil de suelo como se establece en la Tabla III-8.

T = Período de vibración elástico fundamental, en segundos, de la estructura en la dirección considerada.

V = Fuerza lateral total de diseño o cortante en la base

Z = Factor de zona sísmica, tal como se indican en la Tabla III-9.

## III.2.2.2 - Espectro de Respuesta Elástica

Si

$T =$ $\quad A_d = C_a$ *Ec.III-13*

Si

$T_0 \leq T \leq T$ $\quad A_d = 2.5C_a$ *Ec.III-14*

Si

$T > T_s$ $\quad A_d = Cv/T$ *Ec.III-15*

Dónde:

$T_S = Cv/2.5C_a$ *Ec.III-16*

$T_0 = 0.2\ T_S$ *Ec.III- 17*

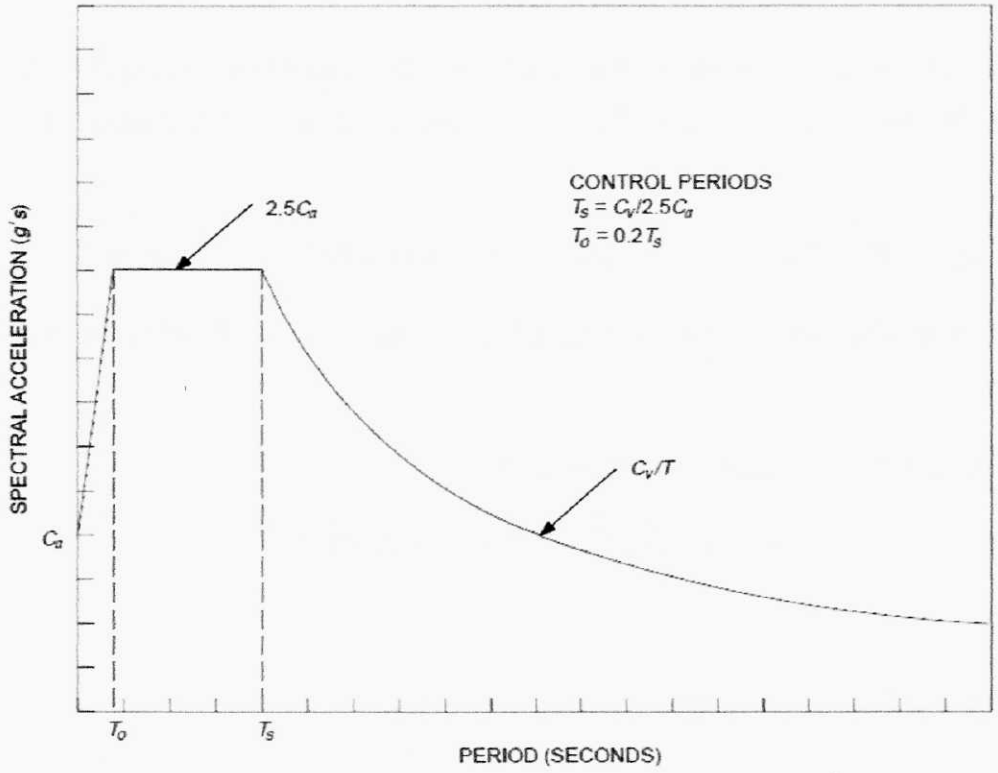


Figura III-4 Espectro de Diseño

Fuente: UBC 1997

## III.2.2.3 - Bases para el Diseño

Los procedimientos y las limitaciones para el diseño de estructuras se determinarán teniendo en cuenta la zonificación sísmica, las características del sitio, la ocupación, la configuración, el sistema estructural y la altura de acuerdo con esta sección. Las estructuras deben ser diseñadas con suficiente resistencia para soportar los desplazamientos laterales, teniendo en cuenta la respuesta inelástica de la estructura y la redundancia inherente, sobre resistencia y la ductilidad del sistema de resistencia de la fuerza lateral.

## III.2.2.3.1 - Categorías de Ocupación

Para los propósitos de diseño resistente a los sismos, cada estructura se ubica en una de las categorías de ocupación enumerados en la Tabla III-7.

Tabla III-7 Categoría de Ocupación

| OCCUPANCY CATEGORY | OCCUPANCY OR FUNCTIONS OF STRUCTURE | SEISMIC IMPORTANCE FACTOR, I |
|---|---|---|
| 1. Essential facilities[2] | Group I, Division 1 Occupancies having surgery and emergency treatment areas<br>Fire and police stations<br>Garages and shelters for emergency vehicles and emergency aircraft<br>Structures and shelters in emergency-preparedness centers<br>Aviation control towers<br>Structures and equipment in government communication centers and other facilities required for emergency response<br>Standby power-generating equipment for Category 1 facilities<br>Tanks or other structures containing housing or supporting water or other fire-suppression material or equipment required for the protection of Category 1, 2 or 3 structures | 1.25 |
| 2. Hazardous facilities | Group H, Divisions 1, 2, 6 and 7 Occupancies and structures therein housing or supporting toxic or explosive chemicals or substances<br>Nonbuilding structures housing, supporting or containing quantities of toxic or explosive substances that, if contained within a building, would cause that building to be classified as a Group H, Division 1, 2 or 7 Occupancy | 1.25 |

Fuente: Adaptada de UBC 1997

Tabla III-7 Categoría de Ocupación (Cont.)

| OCCUPANCY CATEGORY | OCCUPANCY OR FUNCTIONS OF STRUCTURE | SEISMIC IMPORTANCE FACTOR, I |
|---|---|---|
| 3. Special occupancy structures[3] | Group A, Divisions 1, 2 and 2.1 Occupancies<br>Buildings housing Group E, Divisions 1 and 3 Occupancies with a capacity<br>greater than 300 students<br>Buildings housing Group B Occupancies used for college or adult education<br>with a capacity greater than 500 students<br>Group I, Divisions 1 and 2 Occupancies with 50 or more resident incapacitated<br>patients, but not included in Category 1<br>Group I, Division 3 Occupancies<br>All structures with an occupancy greater than 5,000 persons<br>Structures and equipment in power-generating stations, and other public utility<br>facilities not included in Category 1 or Category 2 above, and required for<br>continued operation | 1.00 |
| 4. Standard occupancy structures[3] | All structures housing occupancies or having functions not listed in Category<br>1, 2 or 3 and Group U Occupancy towers | 1.00 |
| 5. Miscellaneous structures | Group U Occupancies except for towers | 1.00 |

[1]The limitation of Ip for panel connections in Section 1633.2.4 shall be 1.0 for the entire connector.

[2]Structural observation requirements are given in Section 1702.

[3]For anchorage of machinery and equipment required for life-safety systems, the value of Ip shall be taken as 1.5.

Fuente: Adaptada de UBC 1997

## III.2.2.3.2 - Tipo de Perfil del Suelo. Geología del Sitio y Características del Suelo.

A cada sitio se le asigna un tipo de perfil de suelo en base a los datos geotécnicos debidamente documentados, utilizando el procedimiento de clasificación de sitios establecido en la División V, Sección 1636 de dicha Norma, y en la Tabla III-8 expuesta más adelante en este TEG.

EXCEPCIÓN: Cuando las propiedades del suelo no se conocen con suficiente detalle para determinar el tipo de perfil de suelo, se utilizará Tipo $S_D$. Perfil de Suelo Tipo $S_E$ o $S_F$ no tienen por qué ser asumidos a menos que el funcionario de la construcción determine qué tipos de suelo $S_E$ o $S_F$ pueden estar presentes en el sitio o en el caso de que se establece Tipo $S_E$ o $S_F$ por los datos geotécnicos.

Tipos de perfil Suelos $S_A$, $S_B$, $S_C$, $S_D$ y $S_E$, se definen en la Tabla III-8 presentada más adelante. El perfil del suelo Tipo $S_F$ se define como los suelos que requieren una evaluación específica.

## III.2.2.3.3 - Zona Sísmica

A cada sitio se le asigna una zona sísmica, de acuerdo con la Tabla III-9.

## III.2.2.3.4 - Coeficientes de Respuesta Sísmica

A cada estructura se le asigna un coeficiente sísmico (Ca y Cv), los cuales se indican en las Tablas III-10 y III-11 respectivamente.

## III.2.2.3.5 - Estimación del Cortante Basal

La estimación del cortante basal total en una dirección dada se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$V = \frac{C_V\, I}{R\, T}\, W \qquad \textit{Ec.III-18}$$

- El valor del corte basal obtenido de la *Ec.III-18*, no debe exceder el valor resultante de la siguiente expresión:

$$V = \frac{2.5\, C_a I}{R}\, W \qquad \textit{Ec.III-19}$$

- El valor del corte basal obtenido de la *Ec.III-18*, no debe ser inferior el valor resultante de la siguiente expresión:

$$V = 0.11\, C_a\, I\, W \qquad \textit{Ec.III-20}$$

Tabla III-8 Tipos Perfil de Suelo

| SOIL PROFILE TYPE | SOIL PROFILE NAME/GENERIC DESCRIPTION | AVERAGE SOIL PROPERTIES FOR TOP 100 FEET (30 480 mm) OF SOIL PROFILE | | |
|---|---|---|---|---|
| | | feet/second (m/s) Shear Wave Velocity, vs | Standard Penetration Test, N [or NCH for cohesionless soil layers] (blows/foot) | Undrained Shear Strength, su psf (kPa) |
| $S_A$ | Hard Rock | > 5,000 (1,500) | ------ | ------ |
| $S_B$ | Rock | 2,500 to 5,000 (760 to 1,500) | | |
| $S_C$ | Very Dense Soil and Soft Rock | 1,200 to 2,500 (360 to 760) | > 50 | > 2,000 (100) |
| $S_D$ | Stiff Soil Profile | 600 to 1,200 (180 to 360) | 15 to 50 | 1,000 to 2,000 (50 to 100) |
| $S_E$[1] | Soft Soil Profile | < 600 (180) | < 15 | < 1,000 (50) |
| $S_F$ | Soil Requiring Site-specific Evaluation. See Section 1629.3.1. | | | |

[1]Soil Profile Type SE also includes any soil profile with more than 10 feet (3048 mm) of soft clay defined as a soil with a plasticity index, PI > 20, wmc 40 percent and su < 500 psf (24 kPa). The Plasticity Index, PI, and the moisture content, wmc, shall be determined in accordance with approved national standards.

Fuente: UBC 1997

Tabla III-9 Zona Sísmica Factor Z

| ZONE | 1 | 2A | 2B | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| Z | 0,075 | 0,15 | 0,2 | 0,3 | 0,4 |

Fuente: UBC 1997

Tabla III-10 Coeficiente sísmico C*a*

| SOIL PROFILE TYPE | SEISMIC COEFFICIENT Ca | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Z = 0.075 | Z = 0.15 | Z = 0.2 | Z = 0.3 | Z = 0.4 |
| $S_A$ | 0.06 | 0.12 | 0.16 | 0.24 | 0.32Na |
| $S_B$ | 0.08 | 0.15 | 0.20 | 0.3 | 0.40Na |
| $S_C$ | 0.09 | 0.18 | 0.24 | 0.33 | 0.40Na |
| $S_D$ | 0.12 | 0.22 | 0.28 | 0.36 | 0.44Na |
| $S_E$ | 0.19 | 0.30 | 0.34 | 0.36 | 0.36Na |
| $S_F$ | See Footnote 1 | | | | |

[1]Site-specific geotechnical investigation and dynamic site response analysis shall be performed to determine seismic coefficients for Soil Profile Type SF.

Fuente: UBC 1997

Tabla III-11 Coeficiente sísmico C*v*

| **SOIL PROFILE TYPE** | **SEISMIC COEFFICIENT C*v*** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Z = 0.075** | **Z = 0.15** | **Z = 0.2** | **Z = 0.3** | **Z = 0.4** |
| $S_A$ | 0.06 | 0.12 | 0.16 | 0.24 | 0.32N*v* |
| $S_B$ | 0.08 | 0.15 | 0.20 | 0.30 | 0.40N*v* |
| $S_C$ | 0.13 | 0.25 | 0.32 | 0.45 | 0.56N*v* |
| $S_D$ | 0.18 | 0.32 | 0.40 | 0.54 | 0.64N*v* |
| $S_E$ | 0.26 | 0.50 | 0.64 | 0.84 | 0.96N*v* |
| $S_F$ | See Footnote [1] | | | | |

[1]Site-specific geotechnical investigation and dynamic site response analysis shall be performed to determine seismic coefficients for Soil Profile Type SF.

Fuente: UBC 1997

## III.2.2.4 - Factor de Reducción de Respuesta R

Este factor toma el valor correspondiente, según las indicaciones de las Tabla III-12 o Tabla III-13, dependiendo del tipo de estructura.

Tabla III-12 Factor R para Sistemas Estructurales

| BASIC STRUCTURAL SYSTEM | LATERAL-FORCE-RESISTING SYSTEM DESCRIPTION | R |
|---|---|---|
| Building frame system | 1. Steel eccentrically braced frame (EBF) | 7.0 |
| | 2. Light-framed walls with shear panels | |
| | a. Wood structural panel walls for structures three stories or less | |
| | b. All other light-framed walls | 6.5 |
| | 3. Shear walls | 5.0 |
| | a. Concrete | |
| | b. Masonry | 5.5 |
| | 4. Ordinary braced frames | 5.5 |
| | a. Steel | |
| | b. Concrete3 | 5.6 |
| | c. Heavy timber | 5.6 |
| | 5. Special concentrically braced frames | 5.6 |
| | a. Steel | |
| | | 6.4 |
| Moment-resisting frame system | 1. Special moment-resisting frame (SMRF) | 8.5 |
| | a. Steel | 8.5 |
| | b. Concrete | 6.5 |
| | 2. Masonry moment-resisting wall frame (MMRWF) | 5.5 |
| | 3. Concrete intermediate moment-resisting frame (IMRF)5 | |
| | 4. Ordinary moment-resisting frame (OMRF) | 4.5 |
| | a. Steel | 3.5 |
| | b. Concrete | 6.5 |
| | 5. Special truss moment frames of steel (STMF) | |

Fuente: Adaptada de la UBC 1997

Tabla III-13. Factor R para Sistemas "Non-Buildings"[1]

| STRUCTURE TYPE | R |
|---|---|
| 1. Vessels, including tanks and pressurized spheres, on braced or unbraced legs. | 2.2 |
| 2. Cast-in-place concrete silos and chimneys having walls continuous to the foundations. | 3.6 |
| 3. Distributed mass cantilever structures such as stacks, chimneys, silos and skirt-supported vertical vessels. | 2.9 |
| 4. Trussed towers (freestanding or guyed), guyed stacks and chimneys. | 2.9 |
| 5. Cantilevered column-type structures. | 2.2 |
| 6. Cooling towers. | 3.6 |
| 7. Bins and hoppers on braced or unbraced legs. | 2.9 |
| 8. Storage racks. | 3.6 |
| 9. Signs and billboards. | 3.6 |
| 10. Amusement structures and monuments. | 2.2 |
| 11. All other self-supporting structures not otherwise covered. | 2.9 |

Fuente: Adaptada de la UBC 1997

[1] Sistemas "Non-Buildings", se refiere a un cuerpo o sistema de partes vinculadas utilizados para soportar una carga que no está diseñado para la ocupación humana continua.

## III.2.3 - ASCE 7-10 "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures".

Esta Norma establece los requisitos de carga mínimos para el diseño de edificios y otras estructuras que están sujetos a los códigos de construcción. Las cargas y combinaciones de cargas adecuadas, que han sido desarrollados para ser utilizados en conjunto, se establecen para el diseño por resistencia y el diseño por tensiones admisibles.

## III.2.3.1 - Notación

$Cs$ = Coeficiente de respuesta sísmica

$Fa$ = Coeficiente de sitio a corto plazo; (en 0.2s de período); ver Tabla III-15

$Fv$ = Coeficiente de sitio a largo plazo (en1.0s-período); ver Tabla III-16

$g$ = Aceleración de la gravedad

$Ie$ = Factor de importancia según lo prescrito en la Tabla III-18

$R$ = Coeficiente de modificación de respuesta dado en la Tabla III-19

$S_S$ = Parámetro de aceleración de respuesta espectral en períodos cortos, para un sismo Máximo Considerado, 5% de amortiguamiento.

$S_1$ = Parámetro de aceleración de respuesta espectral en un período de 1 s, para un sismo Máximo Considerado, 5% de amortiguamiento.

$S_{DS}$ = Diseño, 5% de amortiguamiento, parámetro de aceleración de respuesta espectral en períodos cortos. *Ec.III-23*

$S_{D1}$ = Diseño, 5% de amortiguamiento, parámetro de aceleración de respuesta espectral en un período de 1 s *Ec.III-24*

*SMS* = Máximo sismo considerado, 5% de amortiguamiento, parámetro de aceleración de respuesta espectral en períodos cortos ajustados por efectos de tipo de suelo. *Ec.III-21*

*SM*1 = Máximo sismo considerado, 5% de amortiguamiento, parámetro de aceleración de respuesta espectral en un período de 1 s ajustado por efectos de tipo de suelo. *Ec.III-22*

$T$ = Periodo fundamental de del edificio

$T_o = 0.2S_{D1}/S_{DS}$

$T_S = S_{D1}/S_{DS}$

$V$ = Fuerza lateral total de diseño o cortante en la base

$W$ = Peso sísmico efectivo del edificio

## III.2.3.2 - Diseño Sísmico

En esta sección se mostraran los requisitos reglamentarios, establecidos por esta Especificación, necesarios para el diseño de estructuras en instalaciones industriales.

## III.2.3.2.1 - Tipo de Suelo

En base a las propiedades de los suelos, el sitio se clasifica como Clase A, B, C, D, E o F. Cuando las propiedades del suelo no se conocen con suficiente detalle para determinar la Clase de sitio correspondiente, se utilizará Clase D, a menos que la autoridad competente o los datos geotécnicos determinen que los suelos que están presentes en el sitio son Clase E o F.

En la Tabla III-14 presentada a continuación se muestran las propiedades de los tipos de suelo, según la clasificación mencionada en el párrafo anterior.

Tabla III-14. Clasificación del suelo

| **Site Class** | $\overline{v_s}$ | $\overline{N}$ o $\overline{N}_{ch}$ | $\overline{s}_u$ |
|---|---|---|---|
| A. Hard rock | >5,000 ft/s | NA | NA |
| B. Rock | 2,500 to 5,000 ft/s | NA | NA |
| C. Very dense soil and soft rock | 1,200 to 2,500 ft/s | >50 | >2,000 psf |
| D. Stiff soil | 600 to 1,200 ft/s | 15 to 50 | 1,000 to 2,000 psf |
| E. Soft clay soil | <600 ft/s | <15 | <1,000 psf |
| | Any profile with more than 10 ft of soil having the following characteristics:<br>— Plasticity index PI > 20,<br>— Moisture content w ≥ 40%,<br>—Undrained shear strength $\overline{s}_u$< 500 psf | | |
| F. Soils requiring site response analysis in accordance with Section 21.1 | See Section 20.3.1 | | |

For SI: 1 ft/s = 0.3048 m/s; 1 lb/ft2 = 0.0479 kN/m2.

Fuente: ASCE 7-10

## III.2.3.2.2 - Coeficiente de Sitio y Riesgo – Parámetros de Aceleración de Respuesta Espectral Dirigidos al Máximo Sismo Considerado.

El parámetro aceleración de respuesta espectral para el máximo sismo considerado ($MCE_R$), para períodos cortos ($S_{MS}$) y de 1s ($S_{M1}$) ajustados por los efectos del tipo de suelo, serán determinados según las siguientes fórmulas:

$$S_{MS} = F_a S_s \qquad \textit{Ec.III- 21}$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \qquad \textit{Ec.III- 22}$$

Dónde:

$S_s$ = Parámetro de aceleración de respuesta espectral para períodos cortos.

$S_1$ = Parámetro de aceleración de respuesta espectral para períodos de 1 seg.

$F_a$ y $F_v$, son definidos en las Tablas III-15 y III-16.

## III.2.3.2.3 - Parámetros de Aceleración de Diseño Espectral

Los parámetros de aceleración para el diseño del espectro de respuesta de un sismo, serán calculados con las fórmulas que se muestran a continuación:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \qquad \textit{Ec.III-23}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{D1} \qquad \textit{Ec.III-24}$$

Tabla III.15. Coeficiente de sitio, *Fa*

| Site Class | Mapped Risk- Targeted Maximum Considered Earthquake (MCER) Spectral Response Acceleration Parameter at Short Period | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Ss ≤ 0.25** | **Ss = 0.5** | **Ss = 0.75** | **Ss = 1.0** | **Ss ≥ 1.25** |
| A | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| B | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| C | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 1.0 |
| D | 1.6 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| E | 2.5 | 1.7 | 1.2 | 0.9 | 0.9 |
| F | See Section 11.4.7 | | | | |

Note: Use straight-line interpolation for intermediate values of Ss

Fuente: ASCE 7-10

Tabla III.16. Coeficiente de sitio, *Fv*

| Site Class | Mapped Risk- Targeted Maximum Considered Earthquake (MCER) Spectral Response Acceleration Parameter at 1-s Period | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **$S_1 \leq 0.1$** | **$S_1 = 0.2$** | **$S_1 = 0.3$** | **$S_1 = 0.4$** | **$S_1 \geq 0.5$** |
| A | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| B | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| C | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.3 |
| D | 2.4 | 2.0 | 1.8 | 1.6 | 1.5 |
| E | 3.5 | 3.2 | 2.8 | 2.4 | 2.4 |
| F | See Section 11.4.7 | | | | |

Note: Use straight-line interpolation for intermediate values of S1

Fuente: ASCE 7-10

## III.2.3.2.4 - Espectro de Respuesta

Cuando un espectro de respuesta de diseño es requerido por esta Especificación, la curva de espectro de respuesta se desarrolla tal y como se indica en la Figura III-5:

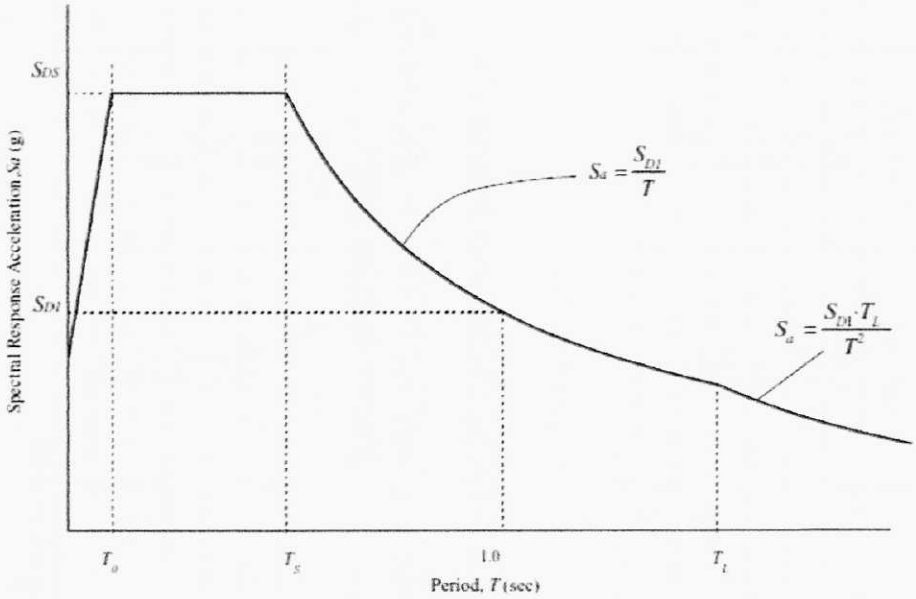


Figura III-5 Espectro de Respuesta

Fuente: ASCE 7-10

Notas:

1. Para períodos inferiores a $T_0$, la aceleración de respuesta espectral de diseño, *Sa*, se tomará como dada por la ecuación. *III-25*:

$$S_a = S_{DS}\left(0.4 + 0.6\frac{T}{T_0}\right) \qquad Ec.III\text{-}25$$

2. Para períodos mayores que o igual a $T_0$ y menos de o igual a $T_S$, la aceleración de respuesta espectral de diseño, *Sa*, se toma igual a SDS.
3. Para períodos superiores a $T_S$, y menor o igual a $T_L$, la aceleración de respuesta espectral de diseño, *Sa*, se tomará como dada por la Ecuación. *III-26*

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \qquad Ec.III\text{-}26$$

4. Para períodos mayores que $T_L$, *Sa* se tomará como dada por la Ecuación *III-27*

$$S_a = \frac{S_{D1}T_L}{T^2} \qquad Ec.III\text{-}27$$

Dónde:

$S_{DS}$ = Parámetro de aceleración de respuesta espectral de diseño en períodos cortos

$S_{D1}$ = Parámetro de aceleración de respuesta espectral de diseño en período de 1 s

$T$ = Período fundamental de la estructura, s

$$T_0 = 0.2\,\frac{S_{D1}}{S_{Ds}} \qquad Ec.III\text{-}28$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{Ds}} \qquad Ec.III\text{-}29$$

$T_L$ = Período de transición a largo plazo (s)

## III.2.3.2.5 - Estimación del Corte Basal

El corte basal equivalente al sismo dado en una dirección, será determinado según la siguiente ecuación:

$$V = Cs * W \qquad Ec.III\text{-}30$$

*Dónde:*

Cs = Coeficiente de respuesta sísmica determinado según la sección III.2.3.2.5.1

W= Peso efectivo para el sismo

## III.2.3.2.5.1 - Cálculo del Coeficiente de Respuesta Sísmica

El coeficiente de respuesta sísmica será determinado según la siguiente ecuación:

$$Cs = \frac{S_{DS}}{R/_{Ie}} \qquad Ec.III\text{-}31$$

Dónde:

$S_{DS}$ = Parámetro de aceleración de respuesta espectral de diseño en períodos cortos.

$R$ = Factor de reducción de respuesta.

$Ie$ = Factor de importancia.

Cs no deberá ser menor a:

$$Cs = 0.044\, S_{DS}\, Ie \geq 0.01 \qquad Ec.III\text{-}32$$

## III.2.3.2.6 - Factor de Importancia y Categoría de Riesgo

Tabla III-17 Categoría de Riesgo

| Use or Occupancy of Buildings and Structures | Risk Category |
|---|---|
| Buildings and other structures that represent a low risk to human life in the event of failure | I |
| All buildings and other structures except those listed in Risk Categories I, III, and IV | II |
| Buildings and other structures, the failure of which could pose a substantial risk to human life.<br>Buildings and other structures, not included in Risk Category IV, with potential to cause a substantial economic impact and/or mass disruption of day-to-day civilian life in the event of failure.<br>Buildings and other structures not included in Risk Category IV (including, but not limited to, facilities that manufacture, process, handle, store, use, or dispose of such substances as hazardous fuels, hazardous chemicals, hazardous waste, or explosives) containing toxic or explosive substances where their quantity exceeds a threshold quantity established by the authority having jurisdiction and is sufficient to pose a threat to the public if released. | III |

Fuente: ASCE 7-10

Tabla III-17 Categoría de Riesgo (Cont.)

| Use or Occupancy of Buildings and Structures | Risk Category |
|---|---|
| Buildings and other structures designated as essential facilities.<br>Buildings and other structures, the failure of which could pose a substantial hazard to the community.<br>Buildings and other structures (including, but not limited to, facilities that manufacture, process, handle, store,<br>use, or dispose of such substances as hazardous fuels, hazardous chemicals, or hazardous waste) containing<br>sufficient quantities of highly toxic substances where the quantity exceeds a threshold quantity established by<br>the authority having jurisdiction to be dangerous to the public if released and is sufficient to pose a threat to<br>the public if released[a]<br>Buildings and other structures required to maintain the functionality of other Risk Category IV structures. | IV |

[a] Buildings and other structures containing toxic, highly toxic, or explosive substances shall be eligible for classification to a lower Risk Category if it can be demonstrated to the satisfaction of the authority having jurisdiction by a hazard assessment as described in Section 1.5.2 that a release of the substances is commensurate with the risk associated with that Risk Category.

Fuente: ASCE 7-10

Un factor de importancia, $I_e$, se asignará a cada estructura de acuerdo con la Tabla III-18.

Tabla III-18 Factor de Importancia

| Risk Category from Table 15 | Snow Importance Factor, $I_s$ | Ice Importance Factor—Thickness, $I_i$ | Ice Importance Factor—Wind, $I_w$ | Seismic Importance Factor, $I_e$ |
|---|---|---|---|---|
| I | 0.80 | 0.80 | 1.00 | 1.00 |
| II | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| III | 1.10 | 1.25 | 1.00 | 1.25 |
| IV | 1.20 | 1.25 | 1.00 | 1.50 |

[a]The component importance factor, Ip, applicable to earthquake loads, is not included in this table because it is dependent on the importance of the individual component rather than that of the building as a whole, or its occupancy. Refer to Section 13.1.3.

Fuente: ASCE 7-10

## III.2.3.2.7 - Factor de Reducción de Respuesta

Tabla III-19 Factor de Reducción

| Nonbuilding Structure Type | R |
|---|---|
| All steel and reinforced concrete distributed mass cantilever structures not otherwise covered herein including stacks, chimneys, silos, skirt-supported vertical vessels and single pedestal or skirt supported Welded steel | 2 |
| Horizontal, saddle supported welded steel vessels | 3 |
| Steel ordinary concentrically braced frame | 3.25 |
| Steel ordinary moment frames | 3.5 |

Fuente: Adaptada de la ASCE 7-10

## III.2.3.2.8 - Parámetros para la Utilización de la ASCE en Venezuela

Para realizar la equivalencia de los parámetros establecidos por la AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE 7-10) "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures". Dado que la misma es una Especificación internacional para aplicación en el territorio de los Estado Unidos, se debe realizar una equivalencia con los parámetros locales, para lo cual se utilizaron los valores establecidos en normativas venezolanas mostrados a continuación.

## III.2.3.2.8.1 - Resumen de la Metodología Empleada para la Utilización de la ASCE en Venezuela

Se comienza hallando un valor de coeficiente de aceleración horizontal **(Ao)** haciendo uso de la Norma COVENIN 1756:2001. Este valor depende de la zona sísmica a ser estudiada. Dicho coeficiente se obtiene de la Tabla III-20 que se presenta más adelante en esta sección.

De la Norma venezolana también se obtiene el factor de corrección del coeficiente de aceleración horizontal **($\phi$)**, igualmente se definen los valores relacionados al período característico de variación de respuesta dúctil en segundos **($T^+$)**, el máximo período en el intervalo donde los espectros normalizados tienen un valor constante **($T^*$)**, factor de magnificación promedio **($\beta$)** y exponente que define la rama descendente del espectro **(p)**. Estos tres últimos determinados a partir de la forma espectral mencionada anteriormente.

Los factores de reducción de respuesta varían según el tipo de estructura obtenidos de la tabla III. 19.

Se calculan tanto el parámetro de aceleración de respuesta espectral en períodos cortos **($S_{DS}$)**, como el parámetro de aceleración de respuesta en períodos de 1 segundo **($S_{D1}$)**

Se debe tener en cuenta que T* equivale a Ts; To se calcula según ASCE y COVENIN. Se procede a calcular los valores de $S_{MS}$ y $S_{M1}$ despejándose de las ecuaciones III-23 y III-24 dando como resultado lo siguiente:

Por último se procede a construir el espectro de diseño de la Especificación ASCE 7-10 ajustado a las condiciones de Venezuela

## III.2.3.2.8.2 - Zonas Sísmicas en Venezuela. Peligro Sísmico

Tabla III-20 Valores de Ao

| ZONAS SÍSMICAS | PELIGRO SÍSMICO | Ao |
|---|---|---|
| 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 | | - |

Fuente: COVENIN 1756-1: 2001

## III.2.3.2.8.3 - Forma Espectral y Factor de Corrección φ

Tabla III-21 Forma Espectral y Factor de Corrección

| Material | Vsp (m/s) | H (m) | Zonas Sísmicas de 1 a 4 | | Zonas Sísmicas de 5 a 7 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Forma Espectral | φ | Forma Espectral | φ |
| Roca sana / fracturada | > 500 | - | **S1** | 0,85 | **S1** | 1 |
| Roca blanda o meteorizada y suelos muy duros o muy densos | > 400 | < 30 | **S1** | 0,85 | **S1** | 1 |
| | | 30 - 50 | **S2** | 0,8 | **S2** | 0,9 |
| | | > 50 | **S3** | 0,7 | **S2** | 0,9 |
| Suelos duros o densos | 250 - 400 | <15 | **S1** | 0,8 | **S1** | 1 |
| | | 15 - 50 | **S2** | 0,8 | **S2** | 0,9 |
| | | >50 | **S3** | 0,75 | **S2** | 0,9 |
| Suelos firmes/medio densos | 170 - 250 | ≤ 50 | **S3** | 0,7 | **S2** | 0,95 |
| | | > 50 | **S3**[a] | 0,7 | **S3** | 0,75 |
| Suelos blandos/sueltos | < 170 | ≤ 15 | **S3** | 0,7 | **S2** | 0,9 |
| | | >15 | **S3**[a] | 0,7 | **S3** | 0,8 |
| Suelos blandos o sueltos[b] intercalados con suelos más rígidos | - | $H_1$ | **S2**[c] | 0,65 | **S2** | 0,7 |

a) Si Ao ≤0,15 úsese**S4**

b) El espesor de los estratos blandos o sueltos (Vsp < 170 m/s) debe ser mayor que 0,1H

c) Si $H_1 \geq 0,25$ H y Ao ≤ 0,20 úsese **S3**

Fuente: COVENIN 1756-1: 2001

## III.2.3.2.8.4 - Valores de $T^*$, β y p

Tabla III-22 Valores de Ao

| FORMA ESPECTRAL | T* (seg) | β | 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 |

Fuente: COVENIN 1756-1: 2001

## III.2.3.2.8.5 - Valores de $T^+$

Tabla III-23 Valores de $T^+$

| CASO | $T^+$ (seg) |
|---|---|
| R < 5 | 0.1 ( R - 1 ) |
| R ≥ 5 | 0.4 |

(1) $T_0 \leq T^+$

Fuente: COVENIN 1756-1: 2001

## III.2.3.2.8.6 - Valores de $S_{DS}$ y $S_{D1}$

$$S_{DS} = \alpha\, \phi\, \beta(\zeta)\, Ao \qquad \textit{Ec.III-33}$$

$$S_{D1} = \alpha\, \phi\, \beta(\zeta)\, Ao \left( \frac{T*}{T} \right)^{p} \qquad \textit{Ec.III-34}$$

## III.2.3.2.8.7 - Valores de Cs

*Para* $T < T^{+}$

$$Cs = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{\beta}{I}\right)*[\,1 + \frac{T}{T^{+}}*(\beta-1)\,] \Big/ [\,1+\left(\frac{T}{T^{+}}\right)^{c}*(R-1)\,]}$$

*Ec.III-35*

*Para* $T^{+} < T < Ts$

$$Cs = \frac{S_{DS}}{R/_{I}}$$

*Ec.III-36*

*Para* $T > Ts$

$$Cs = \frac{S_{DS}}{T*(R/_{I})}$$

*Ec.III-37*

# CAPÍTULO IV

# DESARROLLO

En este capítulo se presenta el desarrollo de la metodología empleada para la realización de este Trabajo Especial de Grado, se explican y desarrollan los cálculos pertinentes para la elaboración de los diferentes espectros de diseños de cada una de las Normas y Especificaciones seleccionadas.

La metodología explicada es sometida a una variación de zonas sísmicas de acuerdo con las diferentes Normas. Esta variación abarca 3 tipos de riesgos; bajo, medio y alto. Para esto se llevó a cabo un análisis de las Normas y Especificaciones del cual se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla IV-1: Variación de Zona de Riesgo

| **Zona de Riesgo** | **ASCE 7-10** | **UBC 97** | **PDVSA JA-221** |
|---|---|---|---|
| | **Ao** | **Z** | **Ao** |
| **Alto** | 0,4 | 0,4 | 0,48 |
| **Medio** | 0,3 | 0,3 | 0,38 |
| **Bajo** | 0,15 | 0,2 | 0,25 |

Los parámetros correspondientes al tipo de suelo y factor de importancia permanecerán fijos a efectos de esta comparación. Para el tipo de suelo se seleccionó una calidad de suelo estándar en cada una de las Normas.

Tabla IV-2: Tipo de Suelo Según Códigos de Diseño

| Tipo de suelo según códigos de diseño | | |
|---|---|---|
| **PDVSA JA-221** | **UBC 97** | **ASCE 7-10** |
| Roca Blanda o Moderadamente Meteorizada | ($S_c$) Suelo muy denso y roca suave | Suelos duros o densos/ equivale a un sitio clase D según ASCE 7-10 |
| Vsp > 400 (m/s) | Vsp = 360 - 760 (m/s) | Vsp = 250 - 400 (m/s) |
| H > 50 (m) | H > 50 (m) | H =15 - 50 (m) |

## IV.1 - Metodología PDVSA JA-221

Para la elaboración de las gráficas comparativas, bajo criterios de coeficiente de corte basal para recipientes verticales, horizontales y estructuras, se realizó un análisis exhaustivo de los parámetros normativos establecidos en la PDVSA JA-221.

A continuación se expone el método utilizado junto con la elaboración final de las gráficas.

## IV.1.2 - Descripción del Método

El primer cálculo que se realiza, es el de la aceleración máxima del terreno mediante la *EcIII-1*:

$$a = a^{*}\left[-\ln(1 - p_1)\right]^{-\frac{1}{\gamma}}$$

Para esto fue necesario el uso de los mapas de amenaza sísmica (Figura III-1 y III-2), la determinación del grado de riesgo D y la probabilidad anual de excedencia de los movimientos del terreno p1 = $0.1\text{x}10^{-3}$; estos últimos tomado de la Tabla III-1. Luego de obtener el valor de (a), se repitió dicho procedimiento para las 3 zonas de riesgo expuestas en la tabla IV-1 para estas especificaciones; los resultados obtenidos fueron los siguientes:

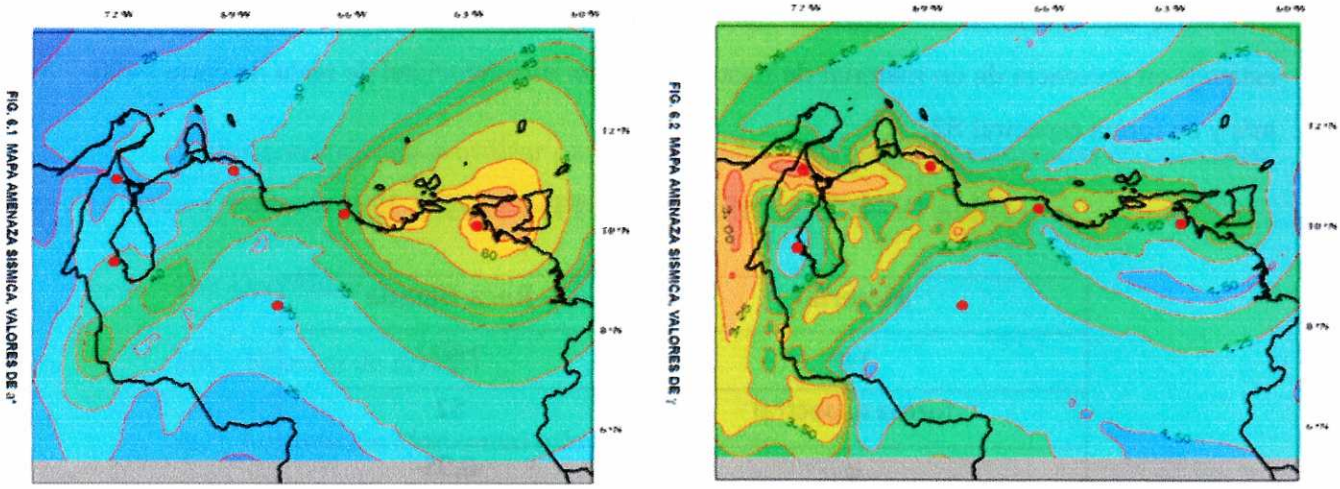


Figura IV-1 Zonas seleccionadas

Tabla IV-3: Valores de a*, γ, a y Ao

| Estado | # Punto | a* (mapa) | γ (mapa) | a = a*[-ln (1-p1)]^(-1/γ) | Ao = a/g |
|---|---|---|---|---|---|
| Zulia | Punto 1 | 22,00 | 3,00 | 473,97 | 0,48 |
| Falcón | Punto 2 | 27,00 | 3,50 | 375,16 | 0,38 |
| Miranda | Punto 3 | 45,00 | 3,75 | 524,65 | 0,53 |
| Sucre | Punto 4 | 65,00 | 4,15 | 598,09 | 0,61 |
| Zulia | Punto 5 | 32,00 | 4,35 | 265,88 | 0,27 |
| Barinas | punto 6 | 29,50 | 4,35 | 245,11 | 0,25 |

Los espectros de diseño que se elaborarán con cada una de las Normas y especificaciones a utilizar en este trabajo especial de grado, se harán bajo parámetros de aceleración máxima horizontal de terreno equivalentes entre sí para cada una de las Normas. Por esta razón los valores seleccionados en esta Norma son los referentes a las zonas 4, 3 y 1 de la Tabla IV-1, mencionada anteriormente.

De las Tablas III-2 Y III-3 se seleccionaron los siguientes valores, suponiendo que estamos en presencia de un material de roca blanda, con una velocidad de onda de corte >400 m/s y de forma espectral S2.

Tabla IV-4: Especificaciones PDVSA JA-221

| **Material** | **Roca Blanda** |
|---|---|
| $V_{SP}$ | >400 |
| forma espectral | S2 |
| $\varphi$ | 0,95 |
| Forma espectral | s2 |
| $\beta$ | 2,6 |
| $T^{\circ}$ | 0,2 |
| $T^*$ | 0,8 |

Es importante mencionar que los datos presentados en la Tabla IV-2, serán los mismos tanto para los diferentes equipos y estructuras, así como para las diferentes zonas de riesgo a utilizar en esta Especificación.

Los cálculos que se mostraran de aquí en adelante pertenecen a una zona sísmica 4 según la Tabla IV-1.

Se procede al cálculo de $\beta^*$ según la Ec.III- 2 y a la selección del tipo de ductilidad a usar dependiendo de la estructura y del recipiente según la Tabla III-6

$$\beta^* = \frac{\beta}{2.3}(\,0{,}0853 - 0{,}739 \ln \xi\,)$$

Factor de Amortiguamiento Tabla III-5

Con dicha ductilidad se realiza el cálculo de $T^+$, así como hace referencia la Tabla III-4.

Todos estos valores a utilizar para los diferentes recipientes y estructuras se colocaron de manera ordenada en la TablaIV-5, siendo:

D = Ductilidad

NN= Número de niveles

$A_0$ = Aceleración Horizontal máxima del terreno

$$C = \sqrt[4]{\frac{D}{\beta^*}}$$

Tabla IV-5: Datos de los Recipientes y Estructuras

| | D | NN | $A_0$ | β* | To (s) | T* (s) | T+ (s) | T+ usado (s) | C | ϕ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Recipientes verticales** | 2 | 20 | 0,38 | 3,03 | 0,2 | 0,8 | 0,1 | 0,2 | 0,90 | 0,95 |
| | 1 | 20 | 0,38 | 3,03 | 0,2 | 0,8 | 0 | 0,2 | 0,76 | 0,95 |
| **Recipientes Horizontales** | 6 | 1 | 0,38 | 3,03 | 0,2 | 0,8 | 0,4 | 0,4 | 1,19 | 0,95 |
| | 4 | 1 | 0,38 | 3,03 | 0,2 | 0,8 | 0,3 | 0,3 | 1,07 | 0,95 |
| | 1,5 | 1 | 0,38 | 3,03 | 0,2 | 0,8 | 0,05 | 0,2 | 0,84 | 0,95 |
| | 2 | 1 | 0,38 | 3,03 | 0,2 | 0,8 | 0,1 | 0,2 | 0,90 | 0,95 |
| | 3 | 1 | 0,38 | 3,03 | 0,2 | 0,8 | 0,2 | 0,2 | 0,99 | 0,95 |
| **Estructura de Acero** | 4 | 2 | 0,38 | 3,03 | 0,2 | 0,8 | 0,3 | 0,3 | 1,07 | 0,95 |
| **Estructura de Concreto** | 4 | 2 | 0,38 | 2,6 | 0,2 | 0,8 | 0,3 | 0,3 | 1,11 | 0,95 |
| **Estructura de Acero** | 3 | 2 | 0,38 | 3,03 | 0,2 | 0,8 | 0,2 | 0,2 | 0,99 | 0,95 |
| **Estructura de Concreto** | 3 | 2 | 0,38 | 2,6 | 0,2 | 0,8 | 0,2 | 0,2 | 1,04 | 0,95 |

Con todos los datos recolectados, se realiza el cálculo de la Aceleración de Diseño, para diferentes períodos de tiempo, según las ecuaciones III-3, III-4, III-5 y III-6.

Esta aceleración de diseño es uno de los parámetros necesarios para el cálculo del coeficiente de corte, el cual se hace a través de la Ec.III-10

$$\frac{V_0}{W} = \mu A_d$$

Cabe destacar, que para determinar el factor de modificación de cortantes ($\mu$), según las Ec.III-11 y III-12, se necesitan el número de niveles de la estructura (NN = Número total de niveles, donde se han concentrado los pesos), este dato se estableció de la siguiente manera:

N = 20 para recipientes verticales

N = 1 para recipientes horizontales

N = 2 para estructuras

Estos datos fueron escogidos de esta manera para tratar de representar la repartición adecuada de la masa para efectos del análisis dinámico y así poder determinar con mayor precisión el valor del corte basal y momento en la base.

Los cálculos que se realizaron anteriormente para la determinación de la aceleración de diseño y consigo el coeficiente de corte basal, se aplicaron de la misma manera variando la zona sísmica; estas se encuentran especificadas con anterioridad en la Tabla IV-1.

De la misma manera se realizaron para cada zona sísmica los espectros de diseños correspondientes para cada equipo y estructura.

## IV.2- Metodología UBC 97

A pesar de tratarse de un Norma de origen Norteamericano, no existen mayores inconvenientes al momento de desarrollar los cálculos necesarios para la obtención del espectro de diseño en base al coeficiente de corte para nuestro país. Sin embargo, se realizó un análisis para poder determinar la zona sísmica equivalente a las seleccionadas en las demás Normas utilizadas. El procedimiento descrito a continuación se aplicó para 3 zonas sísmicas correspondientes a un bajo, mediano y alto riesgo de acuerdo con la comparación mostrada en la tabla IV-1.

## IV.2.1- Descripción del Método.

Se comienza suponiendo una zona sísmica 3 de riesgo medio, un tipo de suelo $S_c$ y un factor de importancia igual a 1,25.

Es importante destacar que de las tres suposiciones anteriormente mencionadas la zona sísmica será variada, el suelo escogido corresponde a un suelo rígido, es decir un suelo intermedio entre blando y duro, y el factor de importancia se supondrá equivalente a las demás especificaciones para efectos de la comparación.

De la tabla III-9 se selecciona el factor Z correspondiente a la zona sísmica elegida y luego en la tabla III-10 con el factor Z y el tipo de suelo se determina Ca. De la misma manera que Ca se halla el valor de Cv de la Tabla III-11.

Los datos obtenidos se representan en la siguiente tabla:

Tabla IV-6: Especificaciones UBC 97

| **Datos** | |
|---|---|
| Zona sísmica | 3 |
| Tipo de suelo | $S_C$ |
| Factor de importancia | 1.25 |
| Z | 0,3 |
| Ca | 0,36 |
| Cv | 0,54 |

Los factores de reducción de respuesta varían según el tipo de estructura obtenidos de la tabla III- 12 y están representados a continuación:

Tabla IV-7: Factores de reducción UBC 97

| **Tipo de Estructura** | **R** |
|---|---|
| Recipientes Verticales | 2,2 |
| Recipientes Horizontales | 2,9 |
| Estructuras de Acero (Arriostradas) | 5,6 |
| Estructuras de Acero ( a Momento) | 4,5 |
| Estructuras de concreto | 3,5 |

Con los datos de las tablas anteriores se procede a calcular el coeficiente de Corte para cada tipo de estructura, haciendo uso de la Ec. III-18:

$$\frac{V}{W} = \frac{C_V\, I}{R\, T}$$

El valor obtenido de la ecuación anterior no debe superar el valor de la ecuación III-19 ni ser menor al de la ecuación III-20.

## IV.3 - Metodología ASCE 7-10

La ASCE 7-10 es una Especificación norteamericana, que no puede aplicarse directamente a las particularidades de nuestro país. Por esto se debe hacer una equivalencia para lograr emplearla en el contexto de Venezuela. Mediante consultas con expertos se logró obtener un método que hizo posible hacer dicha equivalencia. Este método hace uso de Normas venezolanas, como la COVENIN 1756-1:2001y la PDVSA JA-221 y JA-222 en conjunto con la Norma estadounidense para lograr obtener ciertos parámetros iniciales.

A continuación se expone el método utilizado junto con el desarrollo completo de la Norma referente a este TEG.

### IV.3.1 – Descripción del Método.

Se comienza hallando un valor de coeficiente de aceleración horizontal **(Ao)** haciendo uso de la Norma COVENIN 1756:2001. Este valor depende de la zona sísmica a ser estudiada. Se inicia el estudio con una zona de riesgo medio equivalente a las tomadas para las Normas anteriores y luego se varía dicha zona para analizar la variación que esto produce al corte basal de cada estructura.

De la Norma venezolana también se obtiene el factor de corrección del coeficiente de aceleración horizontal **(ϕ)**, suponiendo un tipo de material referente a suelos duros o densos y forma espectral S2.

Igualmente se definen los valores relacionados al período característico de variación de respuesta dúctil en segundos **($T^+$)**, el máximo período en el intervalo donde los espectros normalizados tienen un valor constante **(T*)**, factor de magnificación promedio **(β)** y exponente que define la rama descendente del espectro **(p)**. Estos tres últimos determinados a partir de la forma espectral mencionada anteriormente.

Tabla IV-8: Especificaciones ASCE 7-10

| Nombre | Notación | Valor | Tabla de origen | Comentario |
|---|---|---|---|---|
| **Coeficiente de aceleración horizontal** | Ao | 0,3 | Tabla 4.1 COVENNIN 1756-1:2001 Tabla III-20 T.E.G. | Zona sísmica 5, peligro sísmico elevado |
| **Factor de corrección del coeficiente de aceleración horizontal** | φ | 0,9 | Tabla 5.1 COVENNIN 1756-1:2001 Tabla III-21 T.E.G. | Suelos duros o densos, forma espectral S2. |
| **Máximo período en el intervalo donde los espectros normalizados tienen un valor constante** | T* | 0,7 | Tabla 7.1 COVENNIN 1756-1:2001 Tabla III-22 T.E.G. | Forma espectral S2 |
| **Factor de magnificación promedio** | β | 2,6 | Tabla 7.1 COVENNIN 1756-1:2001 Tabla III-22 T.E.G. | Forma espectral S2 |
| **Exponente que define la rama descendente del espectro** | p | 1,0 | Tabla 7.1 COVENNIN 1756-1:2001 Tabla III-22 T.E.G. | Forma espectral S2 |

Los factores de reducción de respuesta varían según el tipo de estructura obtenidos de la tabla III-19 y están indicados a continuación:

Tabla IV-9: Factores de reducción de respuesta

| **Tipo de estructura** | **R** |
|---|---|
| **Recipientes Verticales** | 2 |
| Recipientes Horizontales | 3 |
| Estructuras de Acero (Arriostradas) | 3,25 |
| Estructuras de Acero ( a Momento) | 3,5 |
| Estructuras de concreto | 3 |

Al disponer de los valores anteriores se procede a calcular el parámetro de aceleración de respuesta espectral en períodos cortos **($S_{DS}$)**. Según el método investigado, éste parámetro equivale a la aceleración de la meseta del Espectro (donde los valores de aceleración tienen un valor constante) calculada según la siguiente ecuación III-*33*:

$$S_{DS} = \alpha \, \phi \, \beta(\zeta) \, Ao$$

Utilizando un factor de importancia ($\alpha$) igual a 1,30, así como los demás parámetros que presenta COVENIN relacionados con la forma espectral ($\varphi$,$\beta$).

Para el parámetro de aceleración de respuesta en períodos de 1 segundo (**$S_{D1}$**) se calcula la aceleración para T = 1segundo haciendo uso de la ecuación III-*34*:

$$S_{D1} = \alpha\, \phi\, \beta(\zeta)\, Ao\, \left(\frac{T*}{T}\right)^{p}$$

Se debe tener en cuenta que T* equivale a Ts; To se calcula según ASCE y COVENIN, se selecciona el menor de estos dos valores ya que será el más desfavorable y se debe cumplir que $T^{+}$ sea mayor a To.

Se procede a calcular los valores de $S_{MS}$ y $S_{M1}$ despejándose de las ecuaciones III-23 y III-24 dando como resultado lo siguiente:

$$S_{MS} = \frac{3}{2} S_{DS} \qquad \textit{Ec.IV-3}$$

$$S_{M1} = \frac{3}{2} S_{D1} \qquad \textit{Ec.IV-4}$$

Se determinan los valores de **Fa** y **Fv** según ASCE mediante las tablas III.15 y III.16 respectivamente. Se promedian los valores máximos y mínimos correspondientes a la clasificación del suelo.

Se calculan Ss y $S_1$ despejándose de las ecuaciones III-21 y III-22:

$$Ss = \frac{S_{MS}}{Fa} \qquad \textit{Ec. IV-5}$$

$$S_1 = \frac{S_{M1}}{Fv} \qquad \textit{Ec. IV-6}$$

Por último se procede a construir el espectro de diseño de la Norma ASCE 7-10 ajustado a las condiciones de Venezuela. *(Ec. III-35, Ec.III-36 y Ec.III-37)*

*Para* $T < T^{+}$

$$Cs = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{\beta}{I}\right) * \left[1 + \frac{T}{T^{+}} * (\beta - 1)\right] \Big/ \left[1 + \left(\frac{T}{T^{+}}\right)^{c} * (R - 1)\right]}$$

*Para* $T^{+} < T < Ts$

$$Cs = \frac{S_{DS}}{R/I}$$

*Para* $T > Ts$

$$Cs = \frac{S_{DS}}{T * (R/I)}$$

Siendo c el valor obtenido de la siguiente fórmula (Ec III-7):

$$c = \sqrt[4]{R/\beta\,(\zeta)}$$

# CAPÍTULO V

# ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos al desarrollar los métodos explicados en la sección anterior, junto con los análisis y observaciones pertinentes a los mismos. Dichos resultados están representados por los gráficos comparativos de cada tipo de estructura a ser analizada. Los resultados serán expuestos de acuerdo con las zonas de riesgo siguiendo el siguiente orden; zona de riesgo bajo, zona de riesgo medio y zona de riesgo alto.

## V.1- Zona de Riesgo Bajo

Según los resultados obtenidos, representados gráficamente en los diferentes espectros de diseño siguiendo los parámetros de cada una de las Normas utilizadas en este Trabajo Especial de Grado, se realiza el análisis de dichos resultados, para cada tipo de equipos y estructuras seleccionadas para una zona sísmica de bajo riesgo.

Estas zonas sísmicas fueron seleccionadas de acuerdo aquellas que presentan una aceleración de diseño ($A_0$) menor al resto, para cada una de las Normas a evaluar.

Tabla V -1: Variación para Zona de Riesgo Bajo

| | ASCE | UBC 97 | PDVSA JA 221 |
|---|---|---|---|
| | Ao | Z | Ao |
| Riesgo bajo | 0,15 | 0,20 | 0,25 |

## V.1.1 - Recipientes Verticales

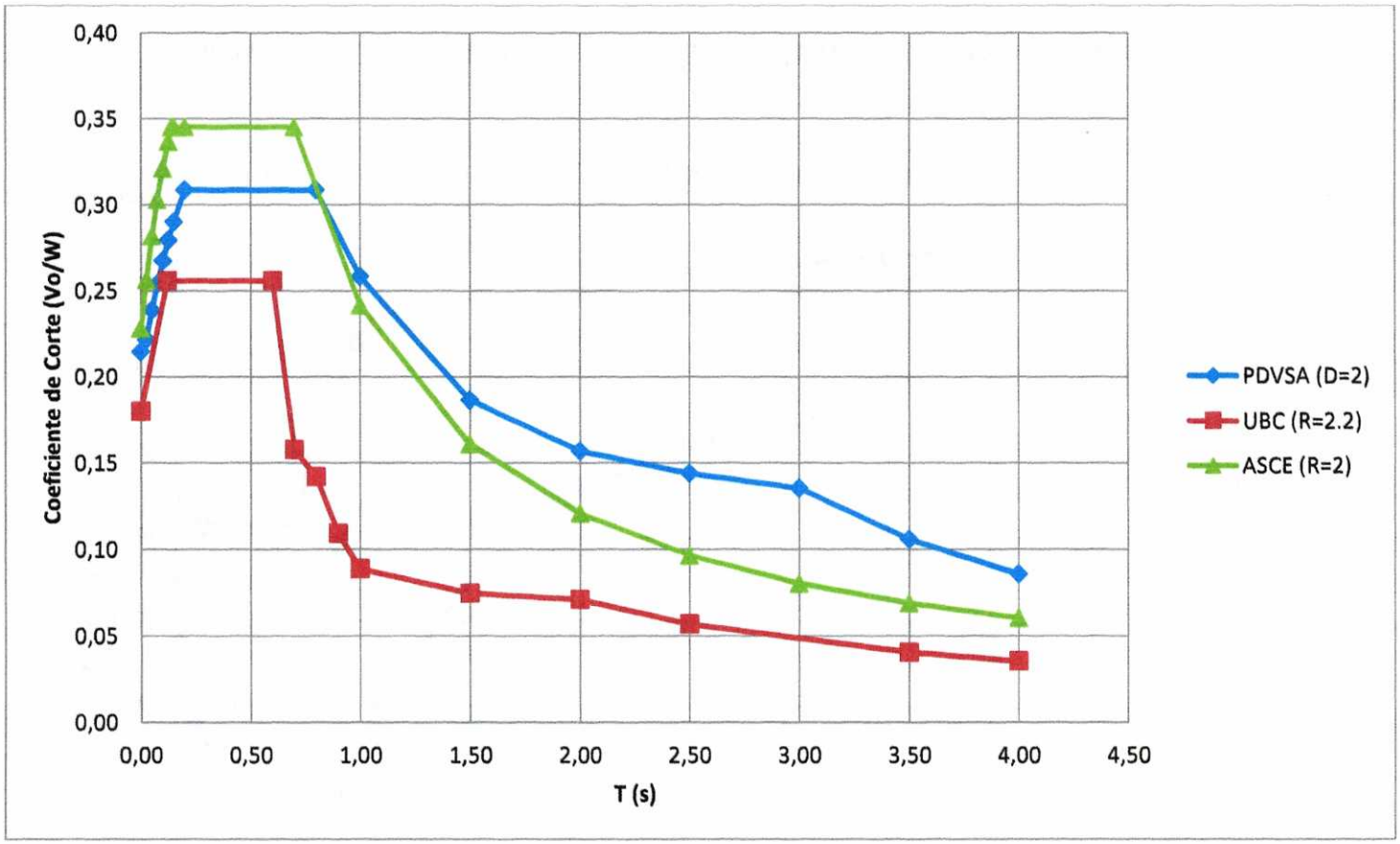


Gráfico V-1: Espectro de diseño para Recipientes Verticales- Zona de Riesgo Bajo

## V.1.2 - Recipientes Horizontales

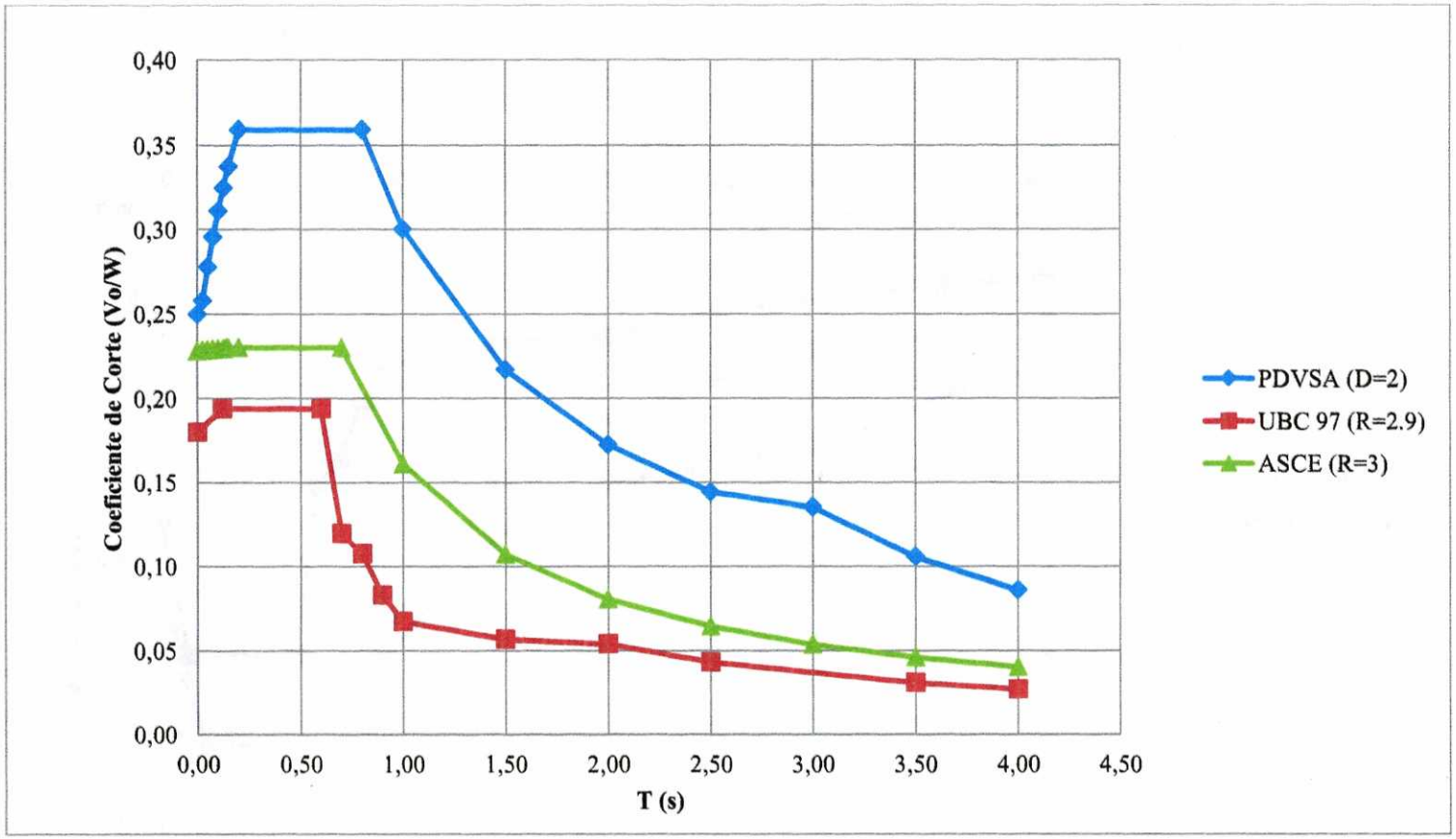


Gráfico V-2: Espectro de diseño para Recipientes Horizontales - Zona de Riesgo Bajo.

## V.1.3 - Estructuras de Concreto

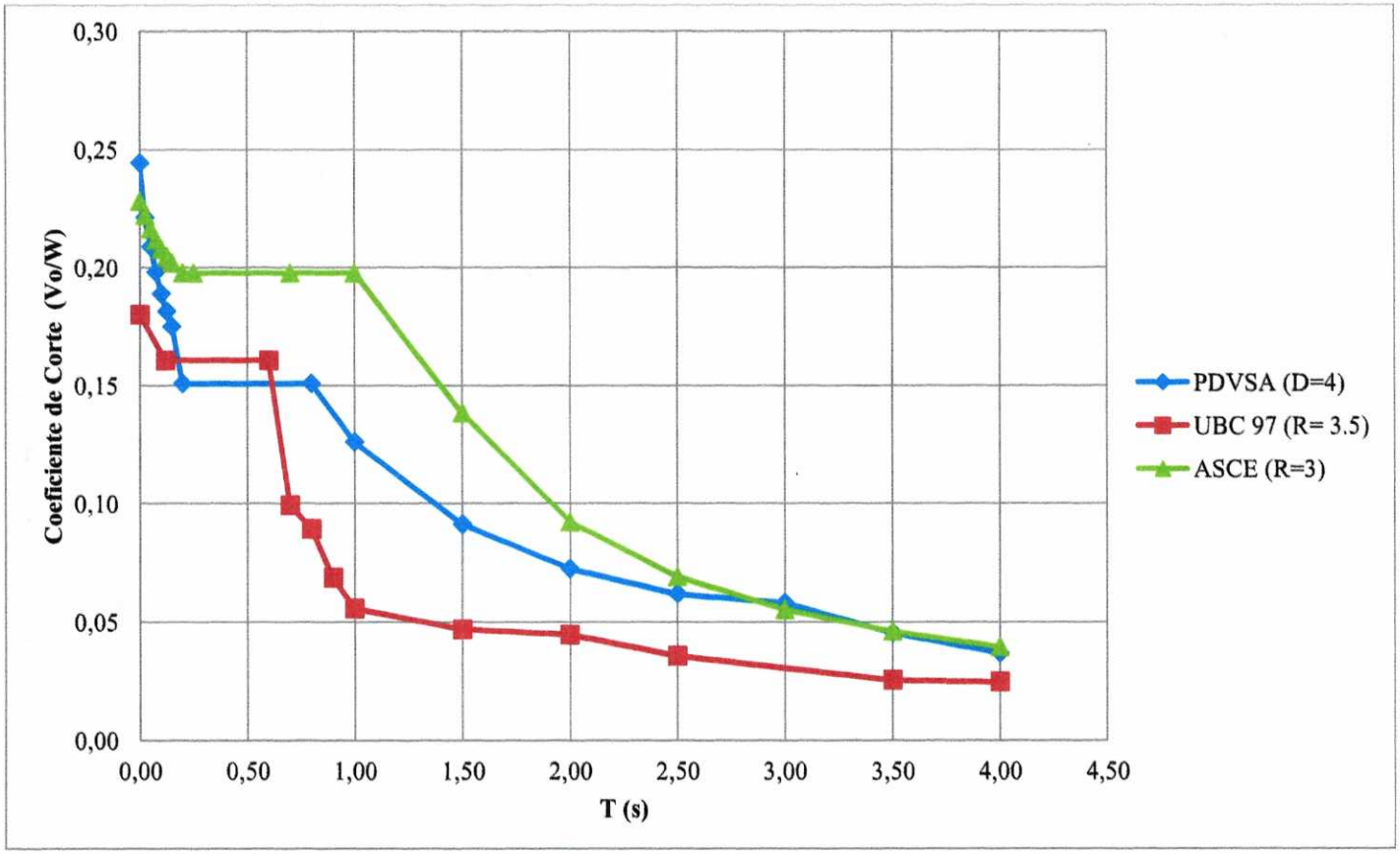


Gráfico V-3: Espectro de diseño para Estructuras de Concreto - Zona de Riesgo Bajo.

## V.1.4 – Estructuras de Acero (pórticos arriostrados)

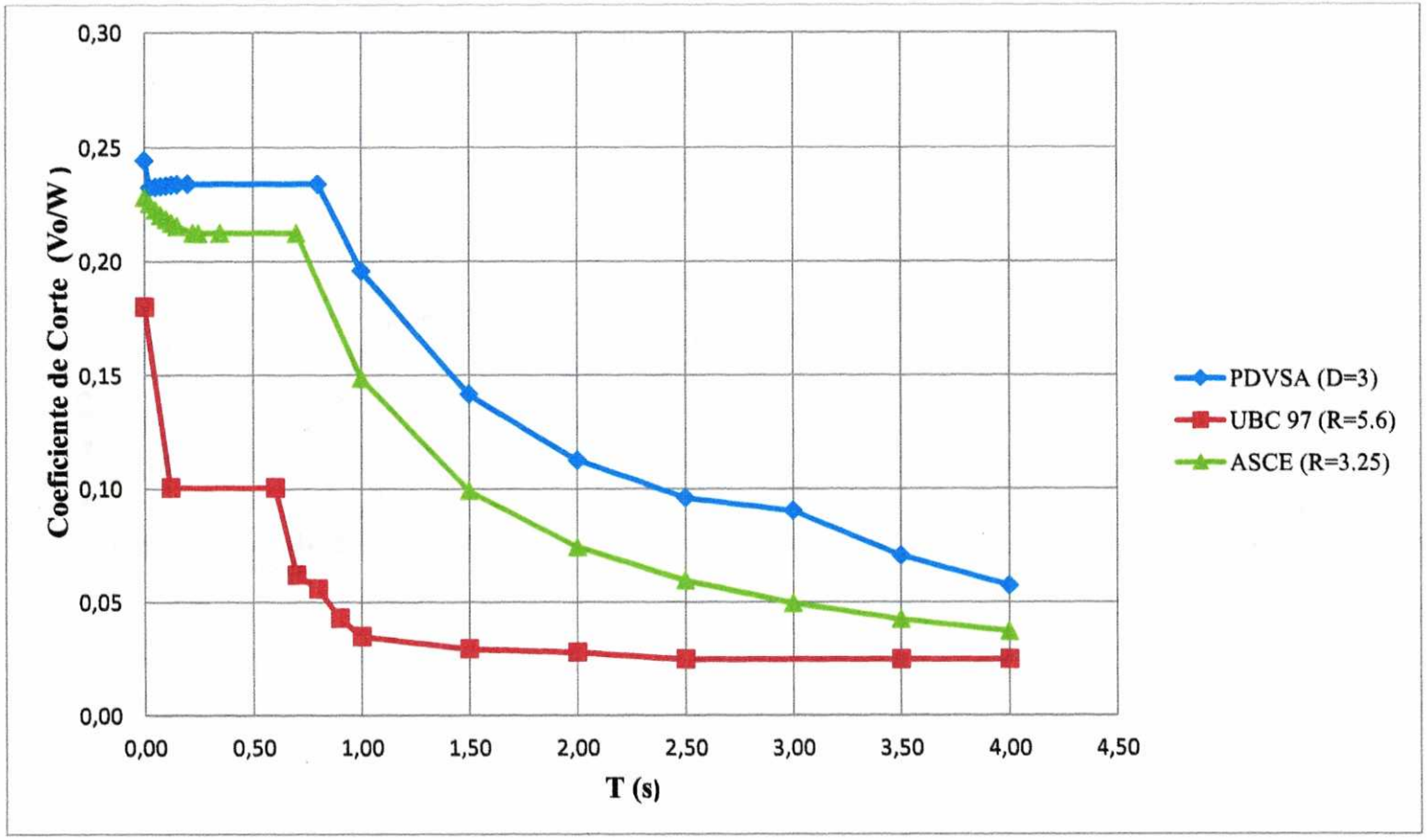


Gráfico V-4: Espectro de diseño para Estructuras de acero (pórticos arriostrados)- Zona de Riesgo Bajo

## V.1.5 – Estructuras de Acero (pórticos a momento)

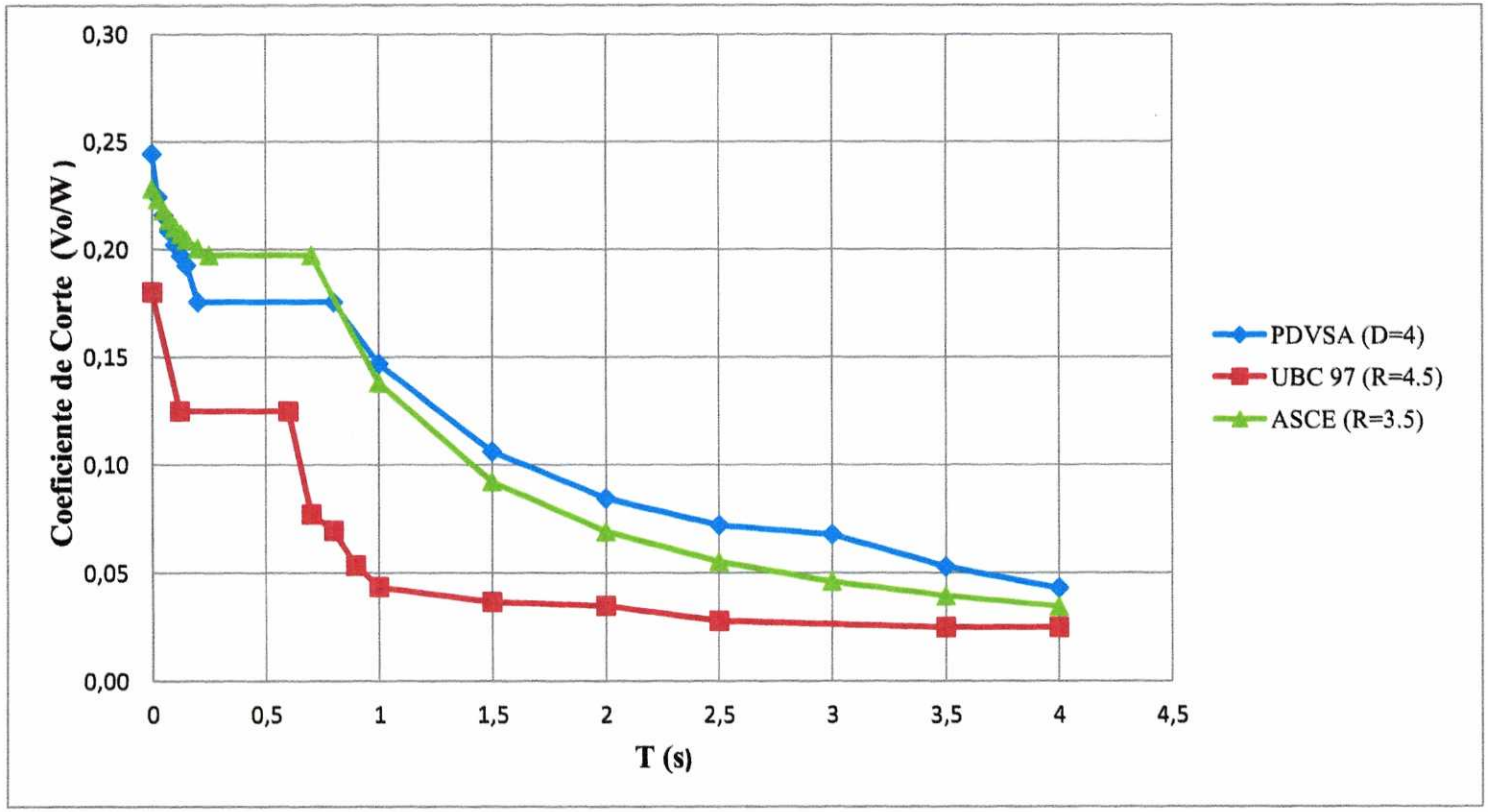


Gráfico V-5: Espectro de diseño para Estructuras de acero (pórticos a momento)- Zona de Riesgo Bajo

## V.1.6 – Análisis para Zona de Riesgo Bajo

- ***Para los recipientes verticales*** se puede apreciar como la Especificación ASCE 7-10 es la que genera mayores coeficientes de corte para períodos cortos (menores a 1 segundo) para los períodos largos la especificación PDVSA JA-221 es más exigente. Los períodos cortos corresponden a recipientes de poca altura y los períodos largos a los de mayor altura.
- ***Para recipientes horizontales*** podemos apreciar que la especificación que presenta mayores exigencias es la PDVSA JA-221, arrojando valores de coeficiente de corte basal elevados, a diferencia de la UBC-97 y ASCE 7-10. Inclusive si se observa con mayor detenimiento, se aprecia que para los recipientes horizontales los valores de coeficiente de corte basal son mucho más elevados en comparación a los de las Normas restantes, estas últimas entre si arrojaron valores similares para el coeficiente de corte.
- Los espectros de diseño obtenidos de la PDVSA JA-221 ***para recipientes verticales y horizontales*** conservan su forma para una misma ductilidad, más no los valores obtenidos para el coeficiente de corte basal. Este valor resultó mayor para el diseño de los recipientes horizontales.
- Para las ***estructuras de concreto*** se observa según el gráfico V-8 que los resultados obtenidos para el coeficiente de corte, son relativamente similares para la PDVSA JA-221 y el código UBC 97 siendo la ASCE 7-10 la más exigente de las tres.
- ***Para las estructuras de acero (pórticos arriostrados)***, se puede observar según el gráfico V-9, que los valores obtenidos para el coeficiente de corte basal varían significativamente entre cada norma, donde la que presenta parámetros de diseño más exigente es la PDVSA JA-221, seguida por la ASCE 7-10 y la UBC-97; esta última posee los valores menos exigentes para el diseño de estructuras de acero en instalaciones industriales. Los bajos valores de

coeficiente de corte para el código UBC 97 se pueden asociar al alto valor de ductilidad que este código proporciona a este tipo de estructura.

- ***Para las estructuras de acero (pórticos a momento),*** según los espectros de diseño representados todos en el gráfico V-10, se muestran como resultados mayores valores para el coeficiente de corte para la Especificación ASCE 7-10 para períodos cortos, seguida por la PDVSA JA-221 la cual la supera en un período aproximado de 0.75 segundos. Sin embargo se debe destacar que este tipo de estructuras, al igual que para las estructuras de concreto, no alcanza períodos muy altos, generalmente los períodos de estas estructuras oscilan entre 0 y 1 segundos, por lo cual la Norma que controla será la ASCE 7-10. Teniendo esta los parámetros más exigentes para el diseño de estructuras de acero con pórticos a momento, en instalaciones industriales.

## V.2 - Zona de Riesgo Medio.

Para las zonas de riesgo medio la siguiente tabla representa los valores de las aceleraciones máximas del terreno para el caso de las Especificación ASCE 7-10 y la PDVSA JA-221 y el coeficiente de zona sísmica en el caso de la UBC 97.

Tabla V- 2: Variación para Zona de Riesgo Medio

| | ASCE | UBC 97 | PDVSA JA 221 |
|---|---|---|---|
| | Ao | Z | Ao |
| Riesgo medio | 0,30 | 0,30 | 0,38 |

## V.2.1 - Recipientes Verticales

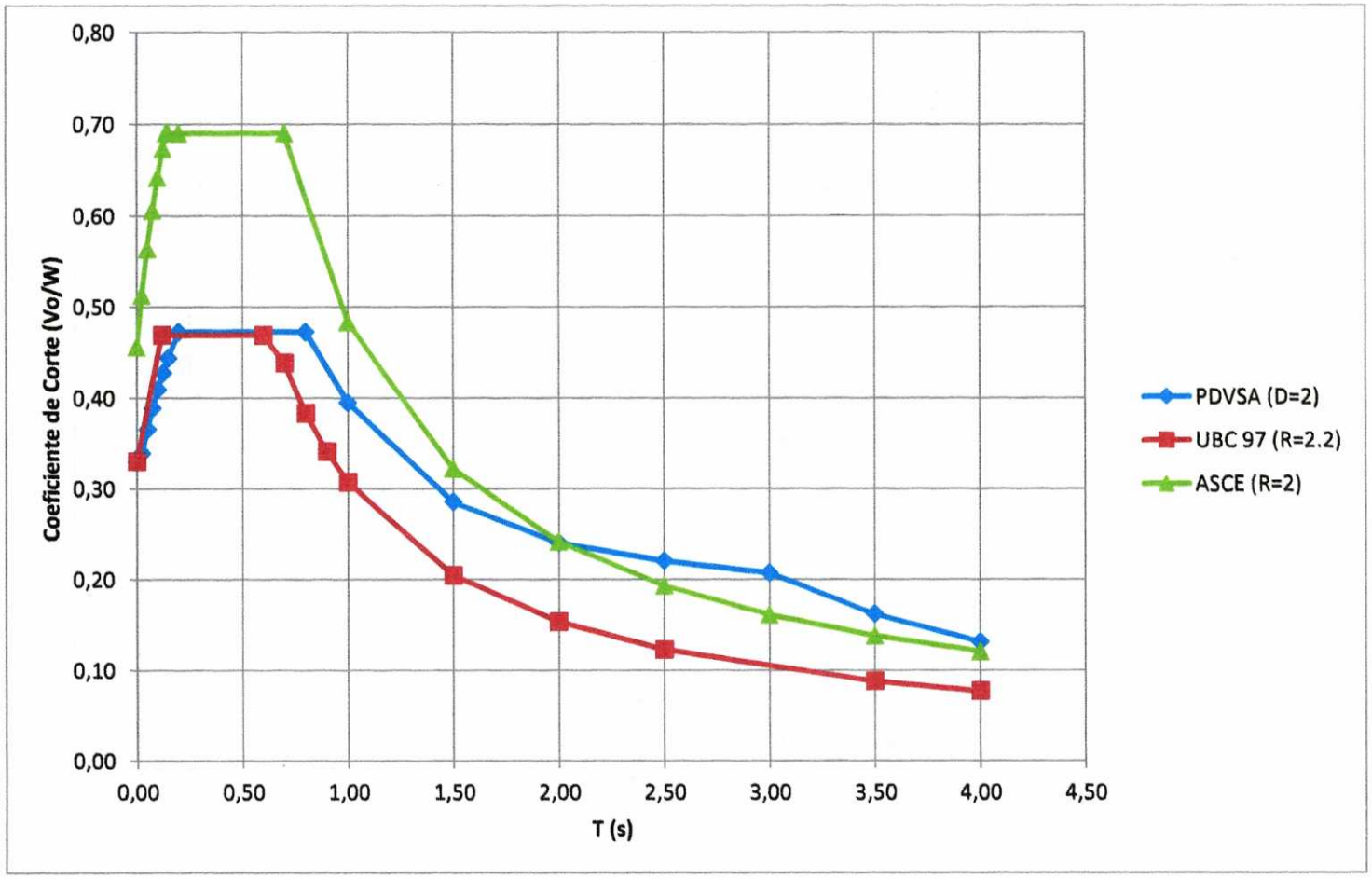


Gráfico V-6: Espectro de diseño para Recipientes Verticales- Zona de Riesgo Medio

## V.2.2 - Recipientes Horizontales

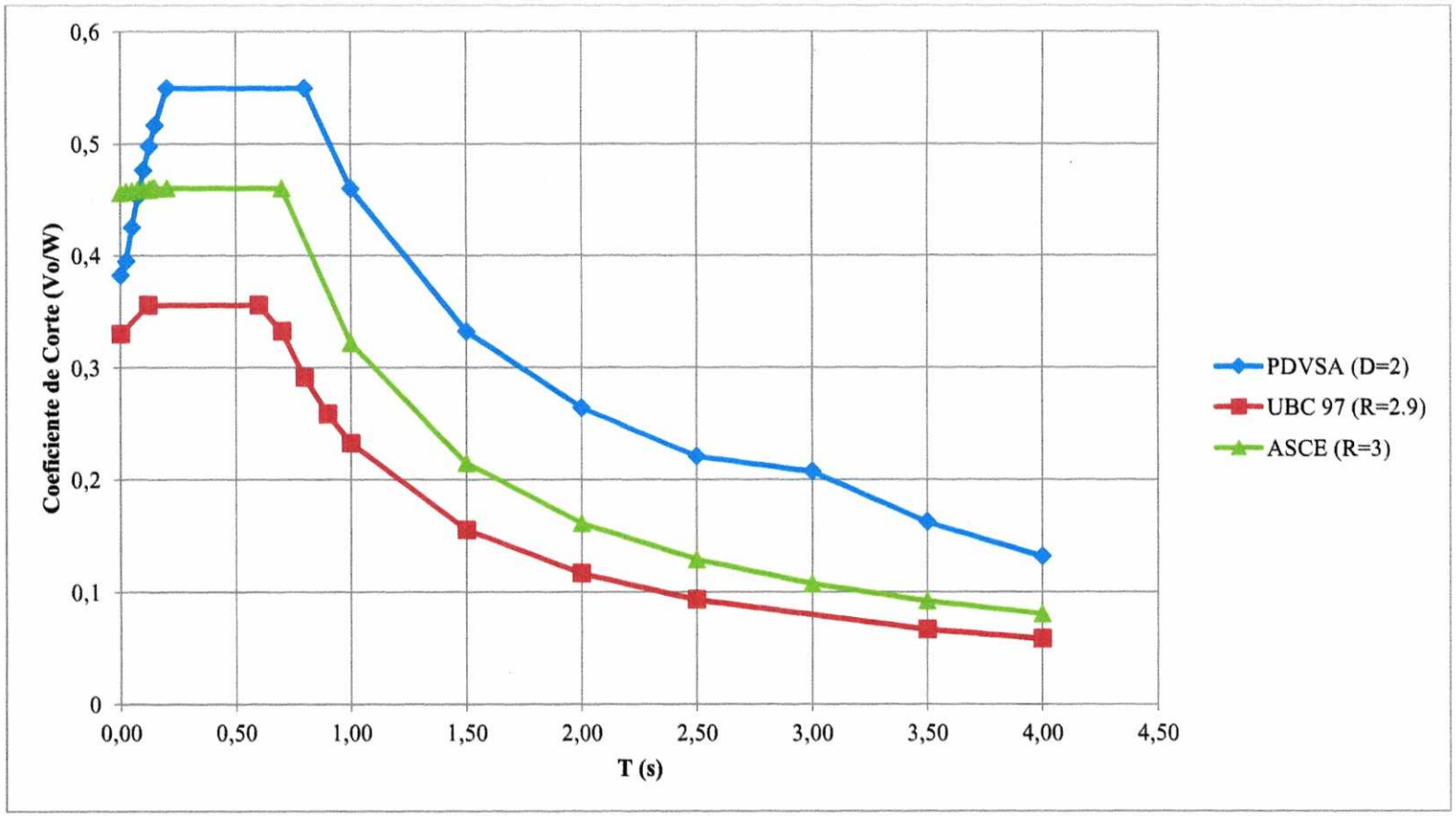


Gráfico V-7: Espectro de diseño para Recipientes Horizontales - Zona de Riesgo Medio.

## V.2.3 - Estructuras de Concreto

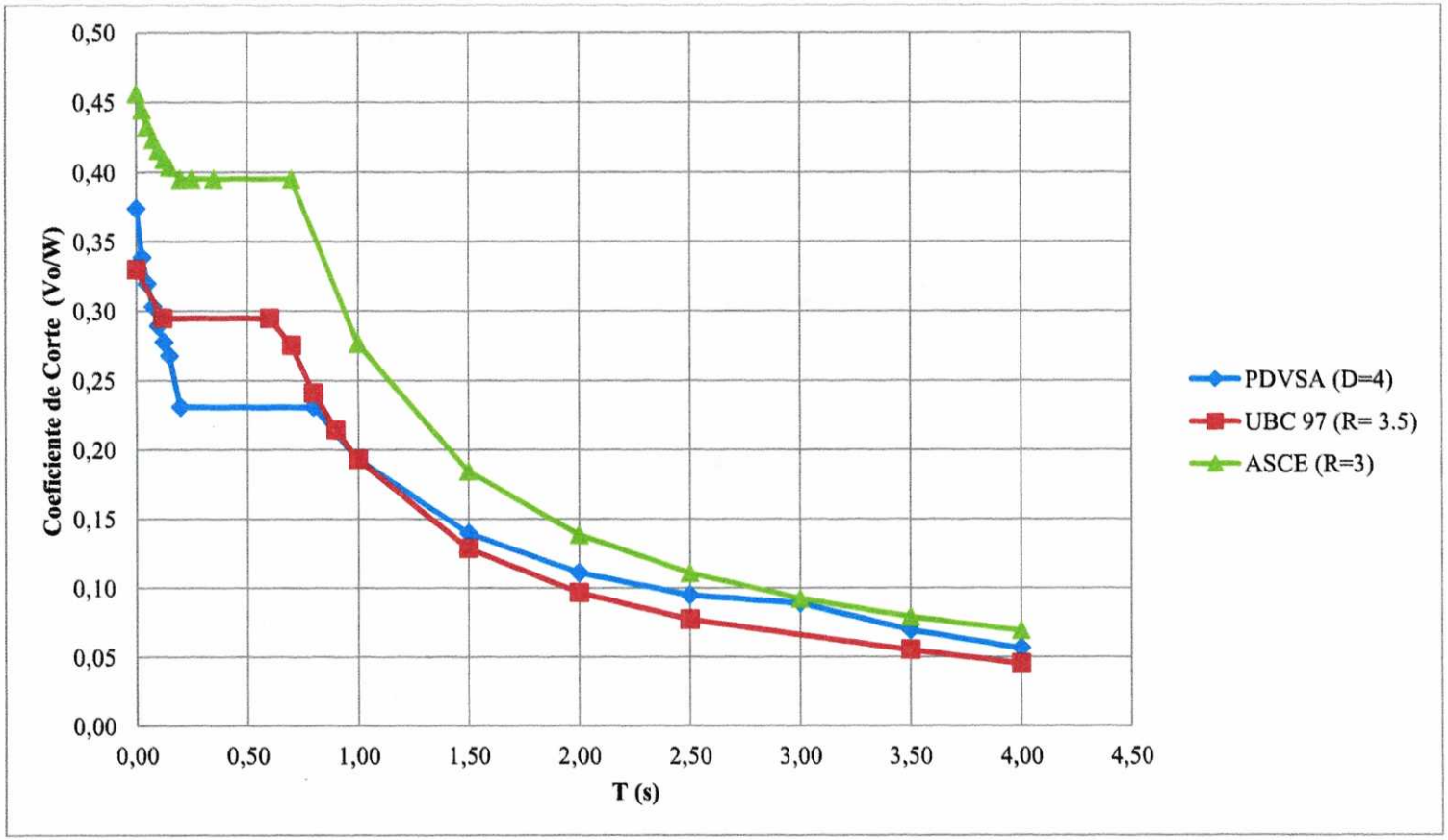


Gráfico V-8: Espectro de diseño para Estructuras de Concreto - Zona de Riesgo Medio.

## V.2.4 – Estructuras de Acero (pórticos arriostrados)

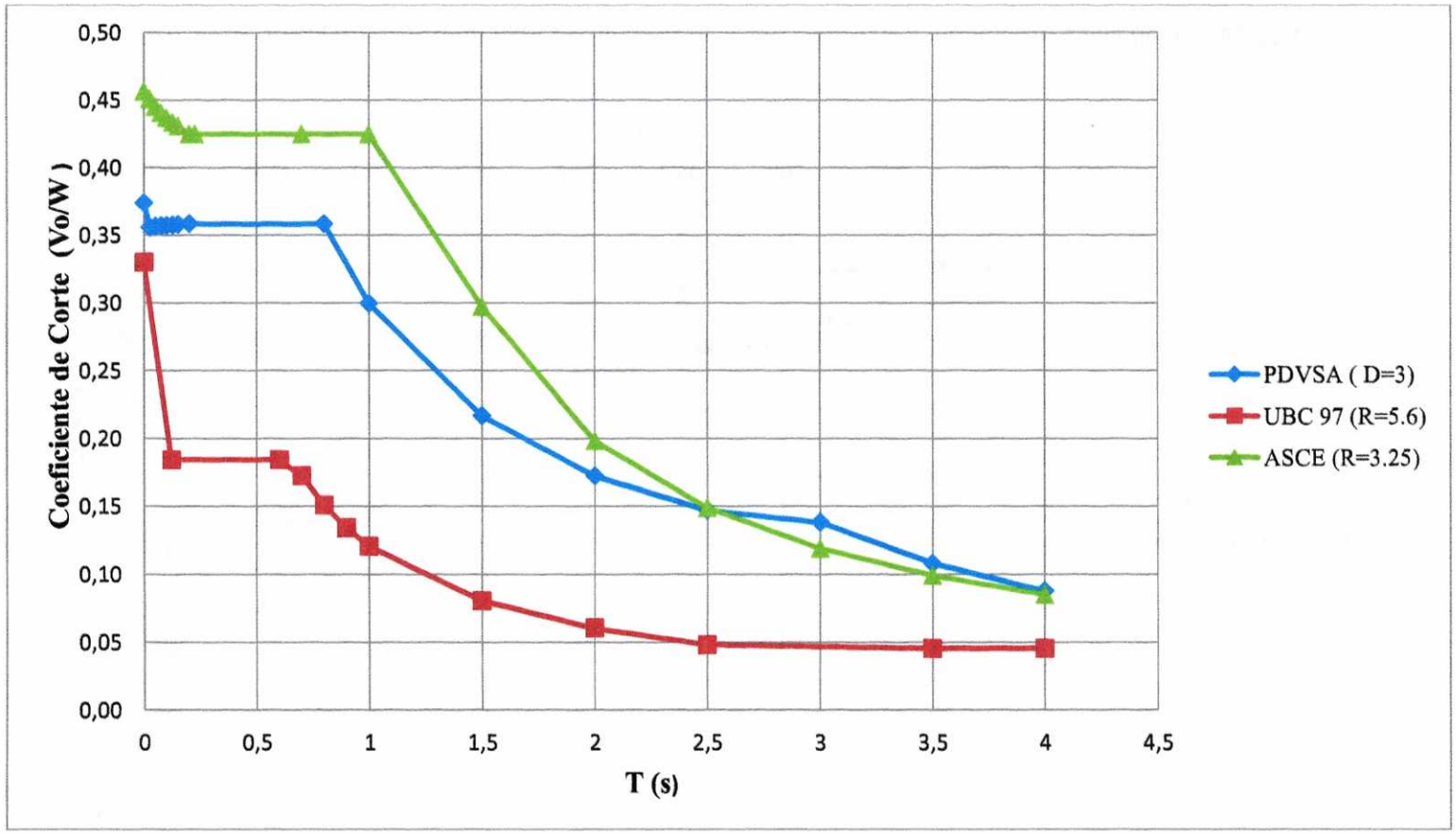


Gráfico V-9: Espectro de diseño para Estructuras de acero (pórticos arriostrados)- Zona de Riesgo Medio

## V.2.5 – Estructuras de Acero (pórticos a momento)

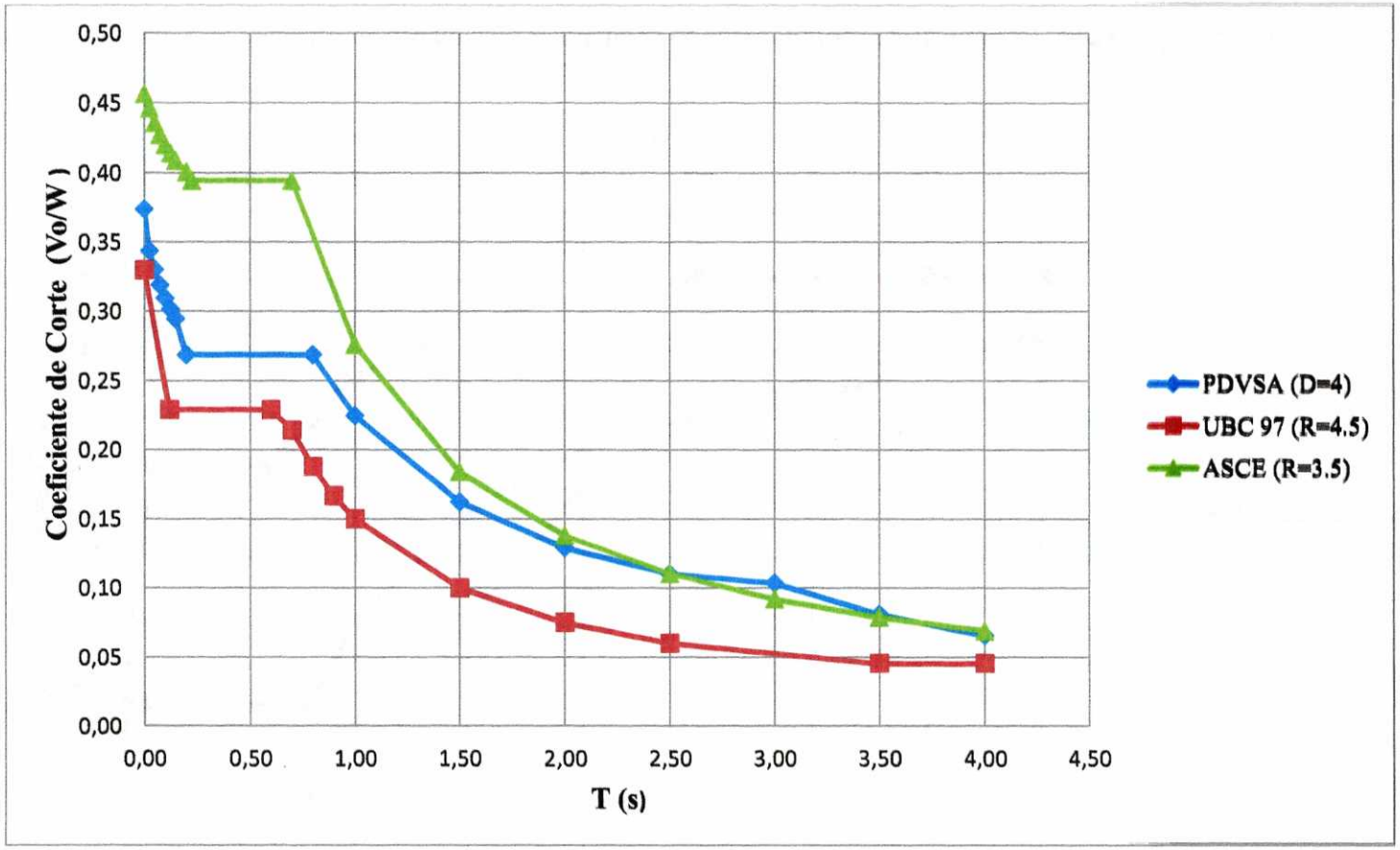


Gráfico V-10: Espectro de diseño para Estructuras de acero (pórticos a momento)- Zona de Riesgo Medio

## V.2.6 – Análisis para Zona de Riesgo Medio

En los gráficos pertenecientes a una zona de riesgo medio se puede observar lo siguiente:

- ***Para recipientes verticales***,( Gráfico V-6) la Especificación ASCE 7-10 supera a las demás generando valores de corte mayores. La PDVSA JA-221 y la UBC 97 generan valores parecidos para los períodos cortos y para períodos largos la PDVSA JA-221 supera a la UBC 97.
- En el Gráfico V-7 correspondiente a ***recipientes horizontales*** prevalece la Norma PDVSA JA-221 generando mayores coeficientes de corte con respecto a las demás.
- En el caso de ***estructuras de concreto*** la Norma ASCE 7-10 genera resultados más exigentes, seguida por la UBC 97 para períodos bajos.
- ***Las estructuras de acero en la dirección de pórticos arriostrados***, presentaron mayores valores de coeficiente de corte basal para la ASCE 7-10, seguida por la PDVSA JA-221 y por último como la más conservadora se encuentra la UBC 97.
- ***En las estructuras de acero con pórticos a momento*** (Grafico V-10) sucede algo muy parecido al caso de estructuras de acero con pórticos arriostrados (Gráfico V-9), la Especificación ASCE arroja mayores valores de coeficiente de corte, seguida por la PDSA JA-221 y por último se tiene la UBC 97
- El coeficiente de corte inicial (correspondiente a T=0) se encuentra entre 0.3 y 0.5 en todos los tipos de estructuras
- ***Para recipientes verticales*** todas las Normas aumentan su coeficiente de corte basal.

- Las estructuras que generan mayores coeficientes de corte son los ***recipientes horizontales y los verticales***, consiguiendo valores de 0.55 y 0.7 respectivamente.
- ***En el caso de Estructuras de Acero (pórticos arriostrados),*** se aprecia una notable diferencia entre las Especificaciones PDVSA y ASCE con respecto a la UBC 97. Esta última arroja coeficientes de corte notablemente más bajos, lo cual se asocia a la alta ductilidad que le asigna a este tipo de estructuras en comparación con las otras dos.
- ***Para el caso de recipientes Horizontales***, la Especificación PDVSA genera coeficientes de corte muy por encima a las otras dos Normas, las cuales siguen la misma tendencia. Esta diferencia entre la PDVSA con la ASCE y UBC se relaciona con que dicha Norma posee el menor valor de ductilidad para este tipo de estructuras.
- Se debe hacer énfasis en que ***para las estructuras de acero y concreto*** los períodos oscilan entre 0 y 1 seg. en la mayoría de los casos, y al observar los gráficos de dichas estructuras en estos períodos se concluye que la Norma ASCE casi siempre da valores más conservadores.

## V.3- Zona Sísmica de Riesgo Alto

Para las zonas de alto riesgo la siguiente tabla representa los valores de las aceleraciones máximas del terreno para el caso de las Especificaciones ASCE 7-10 y la PDVSA JA-221 y el coeficiente de zona sísmica en el caso de la UBC 97.

Tabla V-3: Variación para Zona de Riesgo Alto

| | ASCE | UBC 97 | PDVSA JA 221 |
|---|---|---|---|
| | Ao | Z | Ao |
| Riesgo alto | 0,40 | 0,40 | 0,48 |

## V.3.1 - Recipientes Verticales

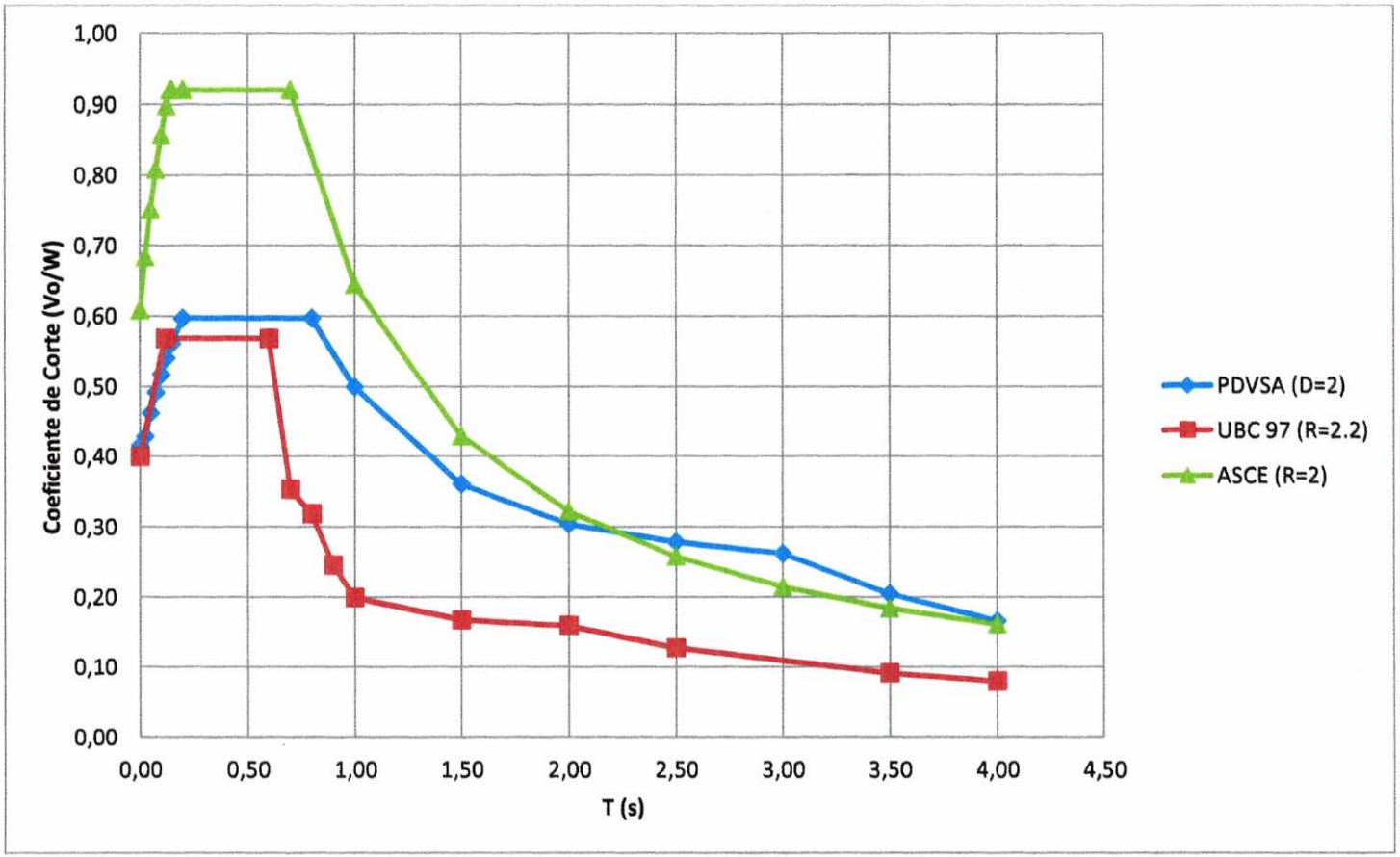


Gráfico V-11: Espectro de diseño para Recipientes Verticales- Zona de Riesgo Alto

## V.3.2 - Recipientes Horizontales

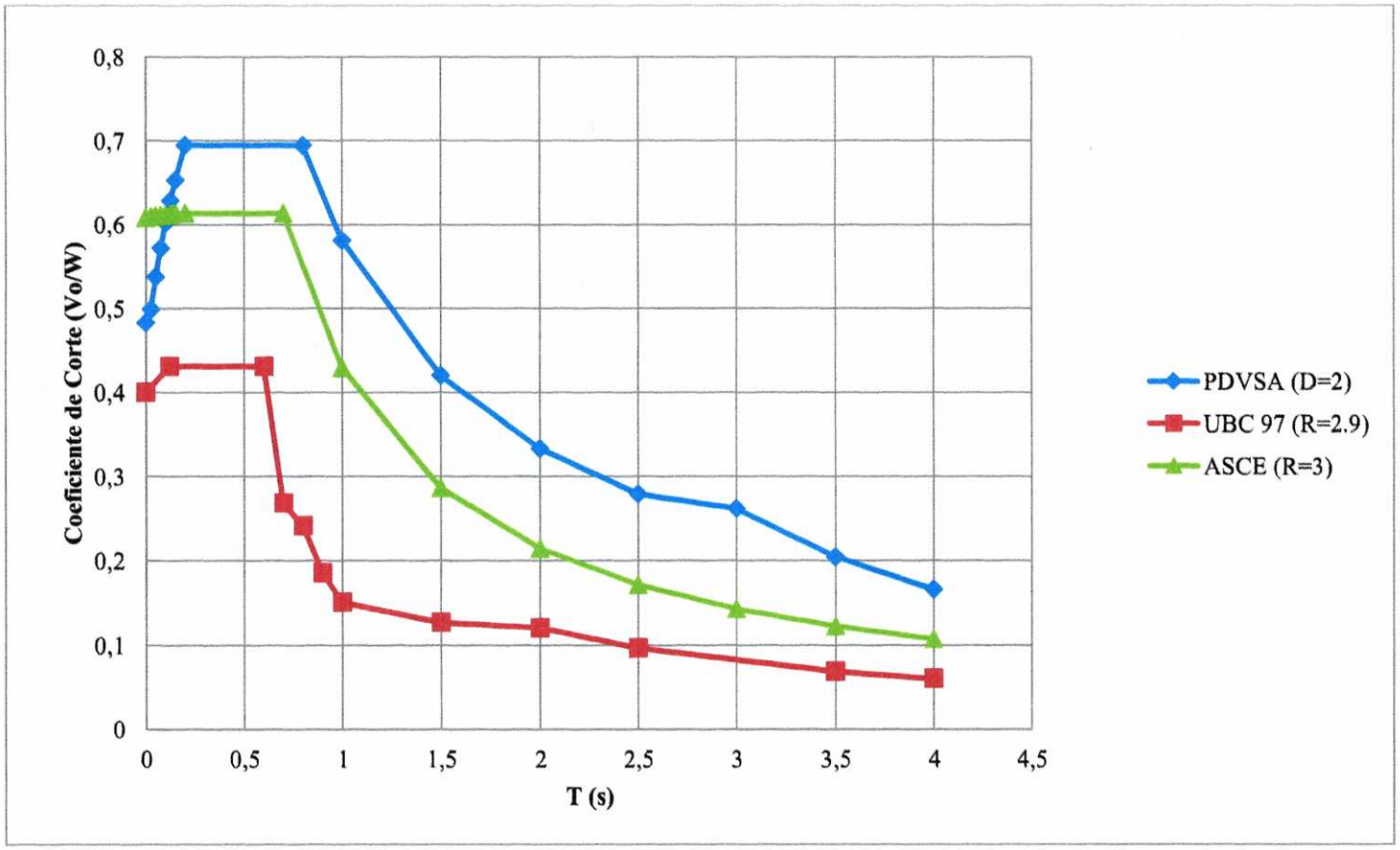


Gráfico V-12: Espectro de diseño para Recipientes Horizontales - Zona de Riesgo Alto.

## V.3.3 - Estructuras de Concreto

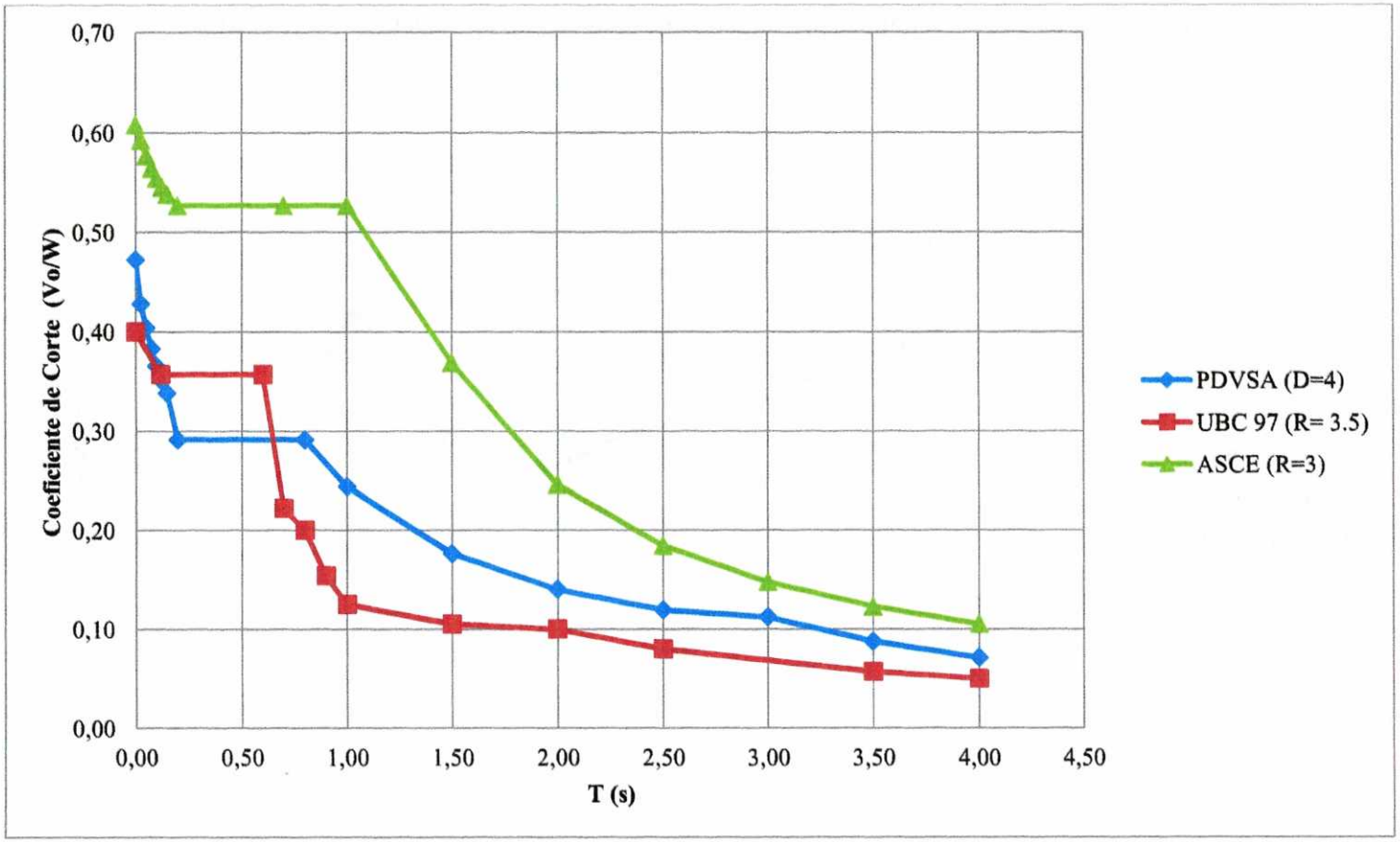


Gráfico V-13: Espectro de diseño para Estructuras de Concreto - Zona de Riesgo Alto.

## V.3.4 – Estructuras de Acero (pórticos arriostrados)

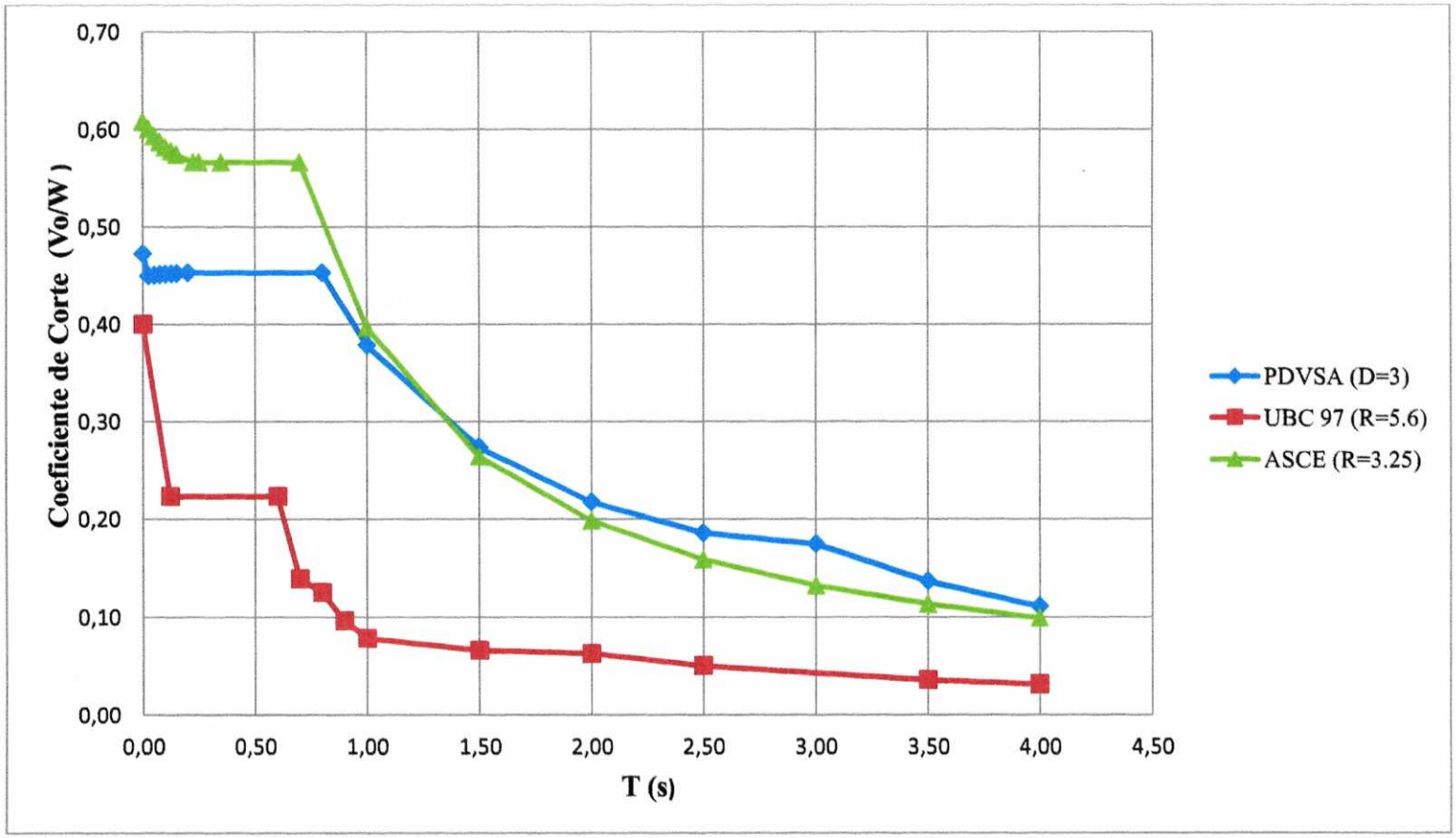


Gráfico V-14: Espectro de diseño para Estructuras de acero (pórticos arriostrados)- Zona de Riesgo Alto

## V.3.5 – Estructuras de Acero (pórticos a momento)

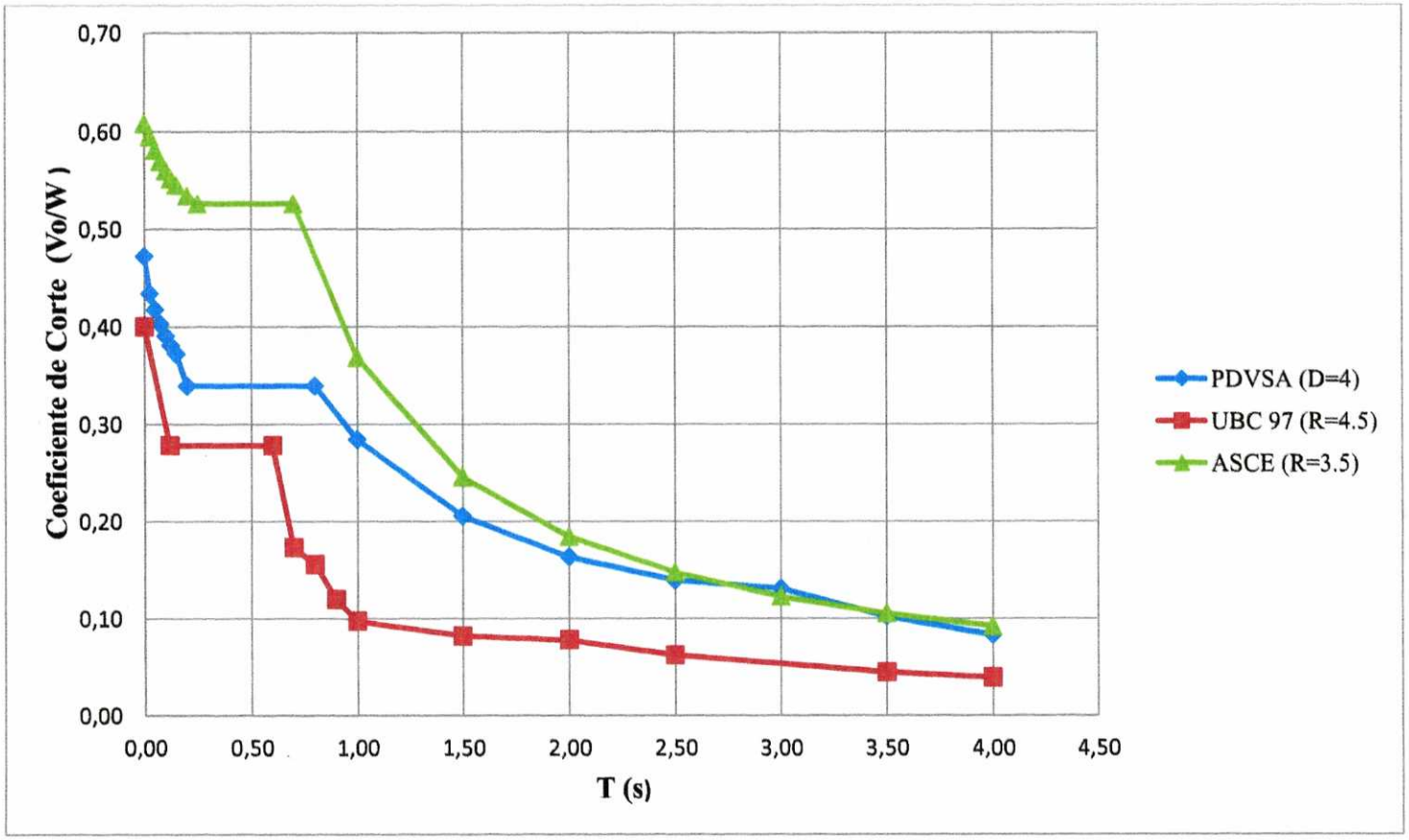


Gráfico V-15: Espectro de diseño para Estructuras de acero (pórticos a momento)- Zona de Riesgo Alto

## V.3.6 – Análisis para Zona de Riesgo Alto

La primera observación para esta zona debe ser que los gráficos obtenidos son bastantes parecidos a los obtenidos para la zona sísmica de riesgo medio. Se puede decir que la única diferencia significativa es el coeficiente de corte inicial, el cual es mayor para la zona de mayor riesgo por lo cual los gráficos son prácticamente iguales pero desplazados hacia arriba generando mayores coeficientes de corte.

- ***Para recipientes verticales***, Gráfico V-11 la ASCE 7-10 supera a las demás generando valores mayores a las otras Normas. La PDVSA JA-221 y la UBC 97 generan valores parecidos para los períodos cortos y para períodos largos la PDVSA JA-221 supera a la UBC 97.
- En el Gráfico V-12 correspondiente a ***recipientes horizontales*** prevalece la Norma PDVSA JA-221 generando mayores coeficientes de corte con respecto a las demás, seguidas por la ASCE7-10 y por último la UBC 97.
- En el caso de a ***estructuras de concreto*** la Norma ASCE 7-10 genera resultados más exigentes, seguida por la UBC 97 para períodos bajos.
- ***Las estructuras de acero en la dirección de pórticos arriostrados***, presentaron mayores valores de coeficiente de corte basal para la Especificación ASCE 7-10, seguida por la PDVSA JA-221 y por último como la más conservadora se encuentra la UBC 97.
- ***En las estructuras de acero con pórticos a momento*** (Grafico V-15) sucede algo muy parecido al caso de estructuras de acero con pórticos arriostrados (Gráfico V-14), la Especificación ASCE 7-10 arroja mayores valores de coeficiente de corte, seguida por la PDSA JA-221 y por último se tiene la UBC 97
- El coeficiente de corte inicial (correspondiente a T=0) se encuentra entre 0.4 y 0.6 en todos los tipos de estructuras

- ***Para recipientes verticales*** todas las Normas aumentan su coeficiente de corte basal.
- Las estructuras que generan mayores coeficientes de corte son los ***recipientes horizontales y los verticales***, consiguiendo valores de 0.7 y 0.91 respectivamente.
- ***En el caso de Estructuras de Acero (pórticos arriostrados),*** se aprecia una notable diferencia entre las Especificaciones PDVSA y ASCE con respecto a la UBC 97. Esta última arroja coeficientes de corte notablemente más bajos, lo cual se asocia a la alta ductilidad que le asigna a este tipo de estructuras en comparación con las otras dos.
- Se debe hacer énfasis en que ***para las estructuras de acero y concreto*** los períodos oscilan entre 0 y 1 seg. en la mayoría de los casos, y al observar los gráficos de dichas estructuras en estos períodos se concluye que la Norma ASCE casi siempre da valores más conservadores.

## V.4 - Análisis General

En el marco de la construcción, el diseño sísmico de las estructuras juega un papel muy importante, donde es necesario establecer cierto nivel de protección contras dichas acciones sísmicas.

Es por esto que las Normas de diseño sismorresistente, aceptan que las estructuras bajo solicitaciones sean capaces de incursionar en el rango inelástico de deformaciones.

En este Trabajo Especial de Grado se determinó el impacto que tiene la selección de ciertas Normas para el diseño de estructuras en instalaciones industriales; utilizando como referencia los parámetros establecidos en las Normas y Especificaciones PDVSA JA-221, UBC 97 Y ASCE 7-10, para la creación de los diversos gráficos comparativos, enfatizados en el coeficiente de corte basal de cada estructura.

Según los resultados obtenidos y plasmados en la parte anterior de este trabajo de investigación podemos deducir lo siguiente:

Para ***Recipientes Verticales*** se obtuvo que los parámetros de diseño sismorresistente más exigente fueron los de la Especificación ASCE 7-10 para las 3 zonas de riesgo consideradas: bajo, medio y alto riesgo.

Con las gráficas obtenidas para ***Recipientes Horizontales*** en la parte anterior, se puede decir que la Norma con más exigencias de diseño sismorresistente para zonas de alto, medio y bajo riesgo sísmico, es la PDVSA JA-221, esto se puede apreciar en los gráficos V-2 V-7 y V-12, donde los resultados obtenidos para el coeficiente de corte basal son mucho más elevados, en comparación con los obtenidos bajo los parámetros de la UBC 97 y la ASCE 7-10.

Con respecto a las ***Estructuras de Concreto***, La Especificación ASCE 7-10 arrojó resultados muy por encima a las demás en cuanto al coeficiente de corte basal para las tres zonas de riesgo analizadas. Siendo esta la más conservadora y exigente para este tipo de

estructuras. Se debe mencionar que para este tipo de estructuras la UBC 97 generó mayores valores de coeficientes de corte que la especificación PDVSA JA-221, siendo esta última la menos exigente de las tres.

Para las ***Estructuras de Acero (Pórticos Arriostrados)***, la Norma que establece parámetros de coeficiente de corte basal más conservadores para el diseño sísmico es la PDVSA JA-221 en el caso de zonas de riesgo bajo. Este resultado se aprecia en el gráfico V-4, sin embargo para las zonas de riesgo restantes, medio y alto riesgo, la Especificación más conservadora es la ASCE 7-10. Se puede apreciar que el código UBC 97 es el menos exigente en todas las zonas de riesgo, esto asociado a su alto valor de ductilidad para este tipo de estructuras

Para las ***Estructuras de Acero (Pórticos a Momento)***, los espectros obtenidos en la parte anterior muestran que la Norma más exigente según los parámetros de coeficiente de corte basal para una zona sísmica de bajo o moderado riesgo, es la ASCE 7-10, a diferencia para una zona de bajo riesgo sísmico donde los parámetros más conservadores de diseño sismorresistente se encuentran entre los establecidos tanto por la PDVSA JA-221 y la ASCE 7-10, la que más se aleja del diseño conservador es la UBC 97 para las diferentes zonas sísmicas y grado de riesgo.

En conclusión podemos decir que para la mayoría de los casos la Especificación que resultó más conservadora o exigente para el diseño de estructuras industriales es la ASCE 7-10, en algunas excepciones la PDVSA JA-221 logró establecer parámetros superiores para el diseño sismorresistente según los valores observados en los espectros de diseños realizados en este Trabajo Especial de Grado.

La Norma que se aleja más al diseño conservador de estructuras bajo amenazas sísmicas es la UBC 97, para todos los casos analizados.

# CAPÍTULO VI

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones presentadas a continuación están basadas en el cumplimiento de cada objetivo específico presentado en el capítulo I de este TEG. Por su parte se plantean las recomendaciones para la selección del código de diseño en base a los resultados obtenidos, junto con algunas sugerencias para futuros trabajos de investigación que hagan incursión en el tema.

## VI. 1 - Conclusiones

- Se obtuvieron las gráficas de coeficientes de corte basal versus período, mediante la evaluación de los requisitos específicos de cada una de las Normas y Especificaciones, con los cuales se construyeron los gráficos comparativos necesarios para el análisis.
- Mediante el análisis de las gráficas mencionadas, se realizó una comparación entre las Normas y Especificaciones ASCE 7-10, PDVSA JA-221 y UBC 97.
- Se determinó la Norma que genera mayores coeficientes de corte y por lo tanto la más conservadora para cada tipo de estructura; en el caso de **Recipientes Verticales** se obtuvo la Especificación ASCE 7-10, para **Recipientes Horizontales** la PDVSA JA-221 y finalmente para **Estructuras de Concreto** y **Estructuras de Acero (tanto para Pórticos arriostrados como para Pórticos a Momento)** la ASCE 7-10 generó resultados más conservadores.
- Se determinó el impacto que genera la selección de estas Normas sísmicas para las estructuras y equipos en el marco de proyectos industriales, resultando la Especificación ASCE 7-10 la de mayor exigencia en lo que respecta al coeficiente de corte, seguida por la PDVSA JA-221.

- Se determinó que la Norma UBC 97 es la de menor exigencia para el diseño de estructuras en instalaciones industriales, generando los menores valores de coeficiente de corte en la mayoría de los casos analizados.
- Al analizar los resultados obtenidos se concluye que las Normas y Especificaciones norteamericanas resultan cada vez más conservadoras, esto se puede apreciar comparando los resultados obtenidos, donde la UBC 97 siendo de mayor antigüedad genera resultados menos exigentes.

## VI.2 - Recomendaciones

- Ampliar el estudio realizado considerando hacer una variación del tipo de suelo y de esta manera realizar un análisis de sensibilidad con este parámetro, siguiendo la metodología utilizada en este trabajo.
- Continuar la investigación incorporando otras Normas de diseño sismorresistente, que mediante sus requisitos estipulados, amplíen la gama de posibilidades al seleccionar el código de diseño más conservador en el marco de proyectos industriales. Mediante la metodología de comparación utilizada en este Trabajo Especial de Grado.
- Incorporar al análisis otro tipo de estructuras, como por ejemplo; tanques metálicos. De esta manera se ampliaría el campo de aplicabilidad del tema evaluado en este Trabajo de Investigación.

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


- ASCE, (2010). *ASCE 7-10 "Minimum Design Loads For Buildings And Other Structures"*. United States: American Society of Civil Engineers (2010-05).
- COVENIN (2001), *"EDIFICACIONES SISMORRESISTENTES" COVENIN 1756-2001.*
- Grases, J. (2002), *Curso de "Aplicación de Normas Antisísmicas"*. Caracas. *mmtraining*. Obtenido de http://www.mmtraining.com.ve.
- Hernández, R. (2012), Presentación de "*Interpretacion y Equivalencia de Normas Sísmicas."* Septiembre 2012, Caracas: INELECTRA.
- Manzanares, J. (2005), *Curso de "Aplicación de Normas Sismorresistentes COVENIN al Diseño de Equipos e Instalaciones Industriales"*. Caracas. *Grupo Profesional de Mejoramiento y Adiestramiento Técnico. C.A.* Obtenido de http://www.gpma.com.ve
- PDVSA (1999), *PDVSA JA-221 "Diseño Sismorresistente de Instalaciones Industriales"*.Obtenido de http://www.pdv.com/
- PDVSA (1999), *PDVSA JA-222 "Diseño Sismorresistente de Recipientes Y Estructuras"*. Obtenido de http://www.pdv.com/
- UBC (1997), *UBC, Uniform Building Code 97, California.*

# ANEXO A

# ESTRUCTURAS DE ACERO EN INSTALACIONES INDUSTRIALES

Anexo A-1: Estructura de acero en instalaciones industriales

Anexo A-2: Estructura de acero en instalaciones industriales

Anexo A- 3: Estructura de acero en instalaciones industriales (pipe rack).

# RECIPIENTES HORIZONTALES EN INSTALACIONES INDUSTRIALES

Anexo A- 4: Recipiente Horizontal en instalaciones industriales

Anexo A-5: Recipientes Horizontales en instalaciones industriales

# RECIPIENTES VERTICALES EN INSTALACIONES INDUSTRIALES

Anexo A-6: Fundación de recipiente vertical en instalaciones industriales

# INSTALACIÓN INDUSTRIAL

Anexo A-7: Vista general de una instalación industrial

Anexo A-8: Vista general de una instalación industrial