

Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”

Facultad de Ciencias Técnicas



[Elaboración de una herramienta informática para la aplicación de la NC 46:2017: Construcciones sismorresistentes. Requisitos para el diseño y construcción]

Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil.

Autor: Hany amaro Ramírez.

Tutor(es): Lic. Ing. Pedro Antonio Hernández Delgado.

Matanzas, 2019

PENSAMIENTO

“Lo que importa verdaderamente en la vida no son los objetivos que nos marcamos, sino los caminos que seguimos para lograrlos.”

Peter Bamm

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Por medio de la presente declare que soy el único autor de este trabajo de diploma y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas a darle el uso que estime más conveniente.

DEDICATORIA

A mis padres, mi vaquita y mi Masi por todos los esfuerzos que han hecho para cumplir mis sueños y por estar ahí siempre para mí en las buenas y en las malas.

A mi abuela, mi gordita que adoro y agradezco infinitamente cada momento que estuvo a mi lado desde pequeña entregándome lo mejor de ella y cuidándome y enseñándome siempre.

A mis abuelos Hermino y Pablo por preocuparse siempre por mis estudios y formar parte de mi vida.

A mi hermana, la menor de las vaquitas, mi otra mitad y a mi cuñado el pitufo al que a pesar de robarme parte de ella quiero mucho.

A mis amigos de la Universidad que han estado ahí durante estos cinco años formando parte de mi vida, de mis estudios y de momentos llenos de alegrías y también a ese amigo especial que estará un año más y que a pesar de haber salido de nuestra aula jamás se marchó de nuestro grupo de amistades: Yasmany, y a todos aquellos buenos amigos de la infancia.

A mi gran maestro y amigo Alberto Danilo Estupiñán por estar siempre pendiente a cada uno de mis pasos en cuanto a estudios respecta.

A todos aquellos que me han apoyado y ayudado en estos cinco años a convertirme en lo que hoy soy.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, mi hermana, mi cuñado, mis abuelos, mis tíos y primos por toda su preocupación, entrega y dedicación.

A mi tutore, Lic. Ing. Pedro Antonio Hernández Delgado y el resto de los trabajadores de la EMPAI por dedicar parte de su tiempo y ayudarme a confeccionar el presente trabajo en especial a Orlando Santos por su ayuda incondicional en los momentos más difíciles.

Al Ing. Homero Morciego Esquivel por guiarme y encaminarme en los primeros pasos de este trabajo.

A todos aquellos amigos que han estado conmigo a lo largo del camino y sobre todo a aquellos que estuvieron despiertos cada madrugada para estudiar y hoy poder ser quien soy.

A Franco, Stefi, Ditlieg, Damián, Denis y el resto de su familia por toda su ayuda y apoyo incondicional.

A los profesores Manuel Pedroso Martínez, Alejandro Hernández Hernández, Javier Alejandro García Miranda y Sandra Alfonso Alvarez por su ayuda y preocupación en el desarrollo de este trabajo.

A todos aquellos profesores que en estos cinco años me permitieron llegar al final de la meta por cada enseñanza y cada minuto de su tiempo.

Al Arq. Jorge Sánchez por enseñarme y ayudarme cada vez que lo necesité.

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo general elaborar una herramienta informática mediante una guía de cálculo para facilitar el uso y aplicación de la NC 46:2017. Construcciones sismorresistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción. Entre los métodos científicos y técnicas empleados se encuentran la revisión documental, métodos histórico-lógico, analítico-sintético, e inductivo-deductivo, y método de la carga estática equivalente para la determinación del valor del cortante basal en estructuras ante el efecto de carga sísmica. Tras haber realizado un profundo estudio de la NC 46:2017 se logró reorganizar la misma, obteniendo así un flujo de pasos que permitieron la elaboración de la herramienta informática elaborada a partir de Microsoft Excel y seguidamente se hizo empleo de la misma mediante un ejemplo de cálculo, tomando como caso de estudio el Hotel Chapelín-Taínos ubicado al noreste de la Cueva del Pirata en Varadero, provincia Matanzas, obra que se encuentra a cargo de la Empresa de Proyectos y Arquitectura de Matanzas (EMPAI). El principal resultado alcanzado es la automatización del proceso de cálculo del cortante basal en estructuras expuestas a carga sísmica para cualquiera de los municipios del país, la cual permite la optimización de tiempo de cálculo a los proyectistas de las empresas de proyecto cubanas.

Palabras clave: herramienta informática, cortante basal, carga sísmica.

ABSTRACT

The general objective of this research is to develop a computer tool through a calculation guide to facilitate the use and application of NC 46: 2017. Seismic constructions. Basic requirements for design and construction. Among the scientific and technical methods used are the documentary review, historical-logical, analytical-synthetic, and inductive-deductive methods, and equivalent static load method for the determination of the value of the basal shear in structures before the effect of seismic loading. After having carried out a thorough study of NC 46: 2017, it was possible to reorganize it, obtaining a flow of steps that allowed the elaboration of the computer tool elaborated from Microsoft Excel and then it was used by means of an example of calculation, taking as a case study the Hotel Chapelín-Taínos located northeast of the Pirate Cave in Varadero, Matanzas province, work that is in charge of the Project and Architecture Company of Matanzas (EMPAI). The main result achieved is the automation of the basal shear calculation process in structures exposed to seismic loading for any of the municipalities of the country, which allows the optimization of calculation time to the designers of the Cuban project companies

Keywords: computer tool, basal shear, seismic load.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	1
Capítulo 1. Marco referencial investigativo.....	6
1.1- Descripción general de los Terremotos. Afectaciones en las construcciones.	7
1.1.1- Clasificación de los terremotos.	8
1.1.2- Características fundamentales y afectaciones en las construcciones.	9
1.2- Principales normas sísmicas en el mundo.	10
1.2.1- Norma Sísmica Americana.	11
1.2.2- Norma Sísmica Chilena. NCh433.	11
1.2.3- EUROCÓDIGO 8.	13
1.3- Norma Sísmica Cubana. Antecedentes.	13
1.3.1- Contexto sismotectónico en Cuba.	15
1.4- Presencia de los terremotos en Matanzas.	17
1.4.1- Falla Hicacos.	18
1.4.2- Falla de cochinos.	18
1.4.3- Terremotos en Varadero.	19
1.4.3.1- El terremoto del 8 de octubre del 2000.	19
1.4.3.2- El terremoto del 9 de enero del 2014.	19
1.4.3.3- El terremoto del 29 de julio del 2017.	19
Conclusiones Parciales.	20
Capítulo 2. Análisis de la NC 46:2017 para la conformación de una herramienta informática mediante una guía para la aplicación de la norma cubana de sismo.	21
2.1- Reseña de la NC 46:2017.	21
2.2- Conceptos fundamentales empleados en la norma.	23
2.3- Zonificación sísmica.	24
2.4- Tipos de sismos de diseño.	26
2.5- Especificaciones generales.	28
2.5.1- Bases del diseño sismorresistente.	28
2.6- Clasificación de obras.	29
2.6.1- Categoría ocupacional.	29
2.7- Nivel de Protección Sísmica.	31
2.8- Nivel de desempeño sísmico.	32
2.8.1- Niveles de diseño por razones económicas y de seguridad.	32
2.8.2- Confiabilidad estructural.	33
2.9- Selección de parámetros.	35
2.9.1- Ajuste por clase de sitio.	35
2.9.2- Ajuste por intensidades sísmicas especiales.	36
2.9.3- Proximidad de fallas activas.	36
2.10- Construcción de los espectros de diseño.	38
2.10.1- Factores de escala.	38
2.10.2- Espectro calibrado al nivel de diseño requerido.	38
2.10.3- Períodos de esquina.	38
2.10.3.1- Período de vibración empírico (T_a).	38
2.10.4- Ordenadas espectrales $S_a(T)$	39
2.11- Cálculo de las acciones sísmicas.	40

2.11.1-	Sistemas estructurales.	40
2.12-	Parámetros para modelar la respuesta sísmica de los sistemas estructurales.	42
2.12.1-	Coefficiente sísmico al límite de cedencia (Cs).	43
2.12.2-	Valores mínimos y máximos de Cs.	44
2.13-	Peso sísmico efectivo (Ws).	44
2.14-	Cortante basal al límite de cedencia.	44
2.15-	Aceleración Máxima del Suelo (AMS).	45
2.15.1-	Componente vertical del suelo de diseño.	45
2.16-	Flujograma de pasos a seguir.	46
	Conclusiones Parciales.	46
Capítulo 3. Aplicación de la de hojas de cálculo de Excel como herramienta informática mediante un ejemplo de cálculo donde se hace necesaria la aplicación de la NC 46:2017.		47
3.1-	Microlocalización de la obra caso de estudio.	47
3.2-	Procedimiento de Cálculo.	48
3.3-	Determinación de la Zonificación Sísmica.	48
3.4-	Tipos de sismos de diseño.	49
3.5-	Determinación de la Categoría Ocupacional de la Obra.	49
3.6-	Nivel de Protección Sísmica.	52
3.7-	Nivel de desempeño sísmico.	52
3.8-	Selección de parámetros.	54
3.8.1-	Ajuste por clase de sitio y por intensidades sísmicas especiales.	54
3.8.2-	Ajuste por intensidades sísmicas especiales.	55
3.9-	Construcción de los espectros de diseño.	57
3.9.1-	Factores de escala.	57
3.9.2-	Espectro calibrado al nivel de diseño requerido.	58
3.9.3-	Períodos de esquina.	58
3.9.3.1-	Período de vibración empírico (Ta).	59
3.9.4-	Ordenadas espectrales Sa (T).	59
3.10-	Coefficiente sísmico al límite de cedencia (Cs).	59
3.10.1-	Valores mínimos y máximos de Cs.	60
3.11-	Peso sísmico efectivo (Ws).	61
3.12-	Cortante basal al límite de cedencia.	61
	Conclusiones Parciales.	61
	Conclusiones.	62
	Recomendaciones.	63
	Bibliografía.	64

INTRODUCCIÓN

Los sismos son movimientos de vibración originados en el interior de la tierra, que se propagan en forma de ondas en diferentes direcciones causando daños y pérdidas tanto humanos como materiales, de ahí que la ciencia se dedique al estudio de los mismos y su repercusión en las diferentes esferas del desarrollo humano. En el caso específico de las construcciones, es de vital importancia tener en cuenta este tipo de fenómeno, de ahí que se implemente el uso de las normas sísmicas haciendo que las construcciones sean sismorresistentes, sobre todo cuando estas se encuentran en zonas de peligrosidad sísmica, con el fin de disminuir o moderar su grado vulnerabilidad. (Llanos, 2000, Architects and Group, 2008)

En aras de favorecer las nuevas prácticas constructivas, se debatió acerca de la actualización de la norma de sismo cubana, la cual estuvo sometida a cambios tras estar vigente durante 17 años la NC 46:1999. Construcciones sismorresistentes: Requisitos básicos para el diseño y construcción, la cual demoró 15 años para sustituir su antecesora, la NC 53-114:84.

En la conformación de la NC 46.2017 estuvo presente en su mayoría la labor de expertos de las provincias orientales tanto de las Empresas de Proyecto como de las Universidades así como otro grupo de entidades que se ven involucradas en el proceso inversionista de Cuba. Su actualización está dada fundamentalmente en un nuevo mapa de amenazas sísmicas elaborado por todo un conjunto de especialistas del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIIS).

La nueva norma cubana NC 46.2017: Construcciones sismorresistentes. Requisitos para el diseño y construcción, supera a su antecesora en cuanto a aspectos relacionados con el diseño de estructuras sismorresistentes y sigue similares líneas a las normas de otros países de América Latina; la misma es el resultado de los estudios de sismos realizados en el país mediante los cuales se realizó la caracterización de las zonas a nivel de municipio.

Si se hace un análisis comparativo entre ambas los aspectos que hacen que estas difieran son fundamentalmente los siguientes:

1. En la antigua norma se asigna un solo sismo para cualquier tipo de estructura, mientras que en la nueva existen cuatro categorías de sismo a tener en cuenta, según el % de probabilidad de ser excedido en un período de 50 años de vida útil correspondiente a un período de retorno por cada tipo.
2. Nueva clasificación de las zonas sísmicas para el territorio nacional.
3. El criterio de Nivel de Protección Sísmica aparece sustituyendo al de Nivel de Ductilidad (aunque éste criterio no se elimina, sino que queda implícito dentro del diseño en la nueva norma).
4. Se introduce un factor amplificador por la proximidad de la edificación a fallas sísmicas, que no aparece en la norma anterior.
5. Por último se sustituye la clasificación de cuatro tipos de suelos de la norma anterior, por una más detallada.

Otra de las diferencias entre ambas normas que no se reflejan en la tabla, es que la NC 46:1999, abarca doce capítulos en los cuales los tres últimos contemplan obras viales, puentes y obras hidrotécnicas respectivamente, mientras que en la nueva se eliminan para que sean abordadas por otras normas inherentes a cada especialidad, llegando solamente hasta el Capítulo 9. Aunque se señala en esta que se mantienen vigentes esos capítulos de la anterior norma, adaptándolos a los parámetros definidos en la nueva propuesta.

Del mismo modo en que existen diferencias entre ambas existen similitudes en el desarrollo sus capítulos en los siguientes aspectos:

- Limitación de los desplazamientos laterales (NC 46:1999) / Derivas laterales admisibles (nueva propuesta).
- Cimentaciones, muros, taludes y licuación.
- Instrumentación, remodelaciones y reforzamiento.

Es importante destacar que a pesar de la existencia de diferencias entre ambas normas solo en algunos casos se han obtenido valores ligeramente superiores por parte de la nueva norma, lo cual se ha comprobado y sigue siendo objeto de investigación mediante la evaluación de los

resultados obtenidos de modo experimental en tesis de diploma y de maestría en la CUJAE. (Rodríguez and Burón, 2016)

Debido a las complejidades que presenta esta norma en comparación con la anterior se hace necesaria la búsqueda de una guía de pasos que permita llegar a conformar un flujograma para la creación de una herramienta informática la cual pueda facilitar a los ingenieros el cálculo del cortante basal en cualquier municipio del país en lo cual estará encaminado el desarrollo de este trabajo. Al extenderse la norma desde el punto de vista sísmico a todo el país pues lógicamente el problema del diseño sísmico adquiere mayor importancia. A partir de lo antes expuesto se puede entonces plantear como **situación problémica:** la ocurrencia en el país de sismos aunque no en gran magnitud, ni con gran periodicidad hacen necesario tener en cuenta el comportamiento de las edificaciones ante la acción de los terremotos, lo que conlleva a la determinación del siguiente **problema:** la nueva norma sísmica tiene cambios muy importantes sustanciales con respecto a la norma anterior dificultando el entendimiento de la misma. En correspondencia con el problema anteriormente mencionado se define entonces como **hipótesis:** que si se logra desarrollar una herramienta informática de la nueva norma de sismo se facilitarían la aplicación de la misma así como el cálculo de las acciones sísmicas.

Se definen las siguientes variables:

Variables independientes:

- Herramienta informática de la nueva norma de sismo NC 46:2017

Variable dependiente:

- Aplicación de la NC 46:2017
- Cálculo de las acciones sísmicas.

Objetivo general:

Proponer una herramienta informática mediante una guía de cálculo para facilitar así el uso y aplicación de la NC 46:2017.

Objetivos específicos:

1. Analizar el estado del arte y la práctica en el empleo de las normas de sismo para el diseño de estructuras.
2. Elaborar una herramienta informática que permita facilitar el cálculo del cortante basal mediante una guía y su correspondiente flujograma.
3. Realizar un ejemplo de cálculo haciendo uso de la herramienta creada.

Como **resultados** se espera concebir una herramienta informática mediante programación en Microsoft Excel, a partir de la creación de un flujograma que permita seguir una secuencia ordenada de pasos que facilite la aplicación de la nueva norma, así como tablas, fórmulas y textos, los cuales serán empleados como herramientas fundamentales para la determinación del cortante basal, además de permitir mediante su aplicación una mayor seguridad en las edificaciones incrementando el nivel de seguridad en los proyectos e implicando a su vez el reforzamiento de estructuras sísmicas.

Esta investigación tendrá un **valor social** porque facilitará el procedimiento de cálculo ante el diseño de construcciones sismorresistentes en cualquier zona del país ya que en la misma se encuentra bien especificado por zona los valores de la aceleración espectral aportado así **valor económico** porque en el diseño se tendrá en cuenta el comportamiento real de cada municipio. En el trabajo se aporta además **valor práctico** al dotar a los ingenieros de las diferentes empresas de proyecto de una herramienta que facilita y garantiza un mejor trabajo al lograr hacer obras resistentes ante fenómenos de este tipo y a la par estará dotado de **valor metodológico** lo cual queda claramente evidenciado al conformar la guía que permitirá facilitar la elaboración de la herramienta informática para la aplicación de la NC 46:2017.

Establecidos los aspectos anteriores el diplomante propone las siguientes **tareas principales de investigación:**

1. Recopilación de la información necesaria acerca de los antecedentes de la normas sísmica cubana y las características sismotectónicas de Matanzas.
2. Reorganización da la NC 26:2017 para la conformación de una guía y su correspondiente flujograma.

3. Creación de una herramienta informática a partir de la guía elaborada.
4. Aplicación de la herramienta informática mediante un ejemplo de cálculo real.

Como métodos de investigación se han empleado métodos científicos generales entre los que se encuentran los métodos histórico-lógico, analítico-sintético, e inductivo-deductivo, y método de la carga estática equivalente para la determinación del valor del cortante basal en estructuras ante el efecto de carga sísmica.

El trabajo queda **estructurado** de la siguiente manera: resumen, introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones y bibliografía consultada.

En la **Introducción** se caracteriza la situación problemática y se precisa el protocolo de investigación.

El **Capítulo 1 “Marco referencial investigativo”** donde se hará un análisis del estado del arte y la práctica, basado en los conceptos fundamentales planteados en las normas sísmicas haciendo énfasis en la NC 46: 2017, además de las principales características sismotectónicas en la provincia de Matanzas.

El **Capítulo 2 “Análisis de la NC 46:2017 para la conformación de una herramienta informática mediante una guía para la aplicación de la norma de sismo cubana”**, donde después de realizar un amplio análisis de la norma se estableció de forma organizada una guía que permite la conformación de un flujograma de pasos para la elaboración de una Hoja de Cálculo en Excel como herramienta informática.

El **Capítulo 3: “Aplicación de la hoja de cálculo de Excel como herramienta informática mediante un ejemplo de cálculo donde se hace necesaria la aplicación de la NC 46:2017”**, donde se desarrollará mediante la herramienta informática un ejemplo de cálculo real para la determinación el cortante basal tomando como caso de estudio el proyecto del Hotel Chapelín-Taínos.

Como **conclusiones** de esta investigación el diplomante espera el cumplimiento de los objetivos propuestos, porque de lograrse los resultados trazados con el proyecto, se contribuirá al trabajo de los proyectistas de las empresas de proyecto cubanas.

CAPÍTULO 1. MARCO REFERENCIAL INVESTIGATIVO.

Desde el punto de vista de la física la ciencia que se encarga del estudio de la Tierra es conocida como Geofísica la cual se divide en dos grandes ramas: la geofísica externa y la geofísica interna. Esta última es precisamente la que aborda entre otros temas los estudios relacionados con la sismología la cual se encarga de profundizar en los fenómenos relacionados con los temblores que ocurren en el planeta. Los principales objetivos de la sismología están encaminados: al estudio de la propagación de las ondas sísmicas, la determinación de las causas que dan origen a los temblores y a la prevención de los daños que este tipo de fenómeno puede ocasionar. La liberación de energía dentro del interior de la tierra producto a un reajuste de esta es la causa fundamental de un temblor. Dicho reajuste se lleva a cabo producto al movimiento que ocurre entre las placas tectónicas y son precisamente en estas zonas donde ocurren las denominadas fallas geológicas y a los temblores producidos en las mismas se les denomina como sismos tectónicos, pudiendo arribar entonces a que un sismo o temblor como también puede ser nombrado no es más que la ocurrencia en el interior de la tierra de un movimiento vibratorio que se propaga en forma de onda en todas direcciones haciendo vibrar la corteza terrestre.

La probabilidad de ocurrencia de un sismo no es igual en todas las regiones de la Tierra ya que existen tanto zonas donde ocurren gran cantidad de sismos como otras muchas donde no es común que ocurran este tipo de fenómenos lo que no quiere decir que estén totalmente excepto de estos. El análisis de dicha probabilidad de ocurrencia de un sismo dentro de un plazo de tiempo determinado, que cause en un lugar específico ciertas pérdidas o daños es denominado como riesgo sísmico el cual se ve influenciado por los posibles efectos locales, las pérdidas posibles de vida y de bienes y la vulnerabilidad en las construcciones. De la cantidad y tipo de asentamiento humano depende en gran medida el riesgo sísmico ya que existen zonas donde el potencial sísmico es alto sin embargo el riesgo es bajo lo cual está dado porque dichas zonas son relativamente pobres en cuanto a habitantes y por ende en edificaciones, siendo entonces estos dos aspectos fundamentales a la hora de determinar los riesgos que pueden traer consigo la ocurrencia de este tipo de fenómenos.

Analizando el efecto de los sismos en las construcciones, línea principal a la cual se dirige la presente investigación es importante destacar que tras la ocurrencia de estos suelen ponerse de manifiesto todos aquellos errores cometidos tanto en la etapa de diseño como en la de ejecución aún cuando sean de moderada intensidad, de ahí que se haga necesario cumplir a cabalidad con lo estipulado en las normas sísmicas previendo que nuestras construcciones sean sismorresistentes siendo capaces de resistir temblores pequeños sin la ocurrencia de daños representativos; temblores moderados sin la ocurrencia de daños estructurales, pero con la posibilidad de que si ocurran en elementos no estructurales y temblores fuertes sin el colapso total de la estructura o pérdidas de vidas humanas. A nivel internacional los ingenieros debemos plantearnos como reto la búsqueda de nuevas soluciones estructurales más rígidas y seguras mediante la introducción de nuevos materiales menos frágiles y de mejor comportamiento sísmico garantizando a la par mejor calidad en los trabajos.

Tras lo planteado anteriormente en el siguiente capítulo se realizará un estudio sobre los terremotos, analizando principalmente cuales afectaciones traen consigo sobre todo en el caso de las construcciones que es la principal línea de investigación que se propone con el presente Trabajo de Diploma. Se profundizará además en las normas sísmicas más utilizadas a nivel internacional, analizando a criterio de la autora las más importantes para el país; seguidamente se realizará un bosquejo de los antecedentes de la actual Norma Cubana de Sismo y finalmente se analizarán algunos casos de terremotos en nuestra provincia.

1.1- Descripción general de los Terremotos. Afectaciones en las construcciones.

Los terremotos son considerados los fenómenos naturales más destructores y temidos ya que se producen de forma instantánea provocando en el peor de los casos graves daños tanto humanos de hasta miles de muertos y heridos, como materiales que pudieran afectar en gran medida las urbanizaciones, además de la economía del país como lo fue en el caso del terremoto producido en Haití el 12 de enero de 2010.

1.1.1- Clasificación de los terremotos.

Según (Sánchez, 2010), los terremotos pueden clasificarse de distintas formas ya sean ligados a causas naturales o antrópicas.

Terremotos ligados a causas naturales:

- 1. Terremotos tectónicos:** son producto a la ruptura violenta de las rocas por efecto de las deformaciones que se van acumulando, estos se producen en las zonas de contacto entre las placas generalmente y raramente en zonas de debilidad dentro de las placas. Se consideran los más importantes.
- 2. Terremotos volcánicos:** producidos en aquellas zonas afectadas por los fenómenos o la actividad volcánica, pueden ser de diferentes tipos: tectónicos, explosivos, temblores largos o terremotos volcánicos y terremoto de frecuencia dominante.
- 3. Terremotos de colapso:** la causa fundamental de estos está en el hundimiento de zonas que presentan un estado local de diferentes esfuerzos debido a la presencia de cavidades o áreas de baja densidad con huecos las cuales se encuentran sometidos a cargas fundamentalmente verticales.
- 4. Terremotos por impacto de meteoritos:** son muy poco frecuentes, pero han producido violentas sacudidas cuando el meteorito ha llegado al suelo.

Terremotos ligados a causas antrópicas:

- 1. Terremotos inducidos por grandes embalses:** se produce a causa de la sobrecarga de la masa de agua embalsada alterando las condiciones locales de esfuerzos y liberando la energía de deformación o facilita la relajación brusca de los esfuerzos en zonas tectónicamente activas.
- 2. Terremotos por explosiones nucleares:** pueden producir liberación de energía equivalente a terremotos de magnitud similar a 5 y 6.

3. **Terremotos debido a explosiones de minas y canteras:** normalmente son de baja intensidad.
4. **Terremotos debido a la inyección y extracción de fluidos:** se produce un aumento de microterremotos y terremotos incluso en zonas sísmicas tranquilas debido a la inyección y extracción.

1.1.2- Características fundamentales y afectaciones en las construcciones.

Ante cualquiera de los diferentes tipos de terremotos que se puedan presentar es de vital importancia conocer la intensidad sísmica como forma de medición de la sacudida sísmica basada en los efectos sobre el terreno, los daños estructurales y en la forma que es sentido el terremoto, la evaluación del grado de intensidad tiene en cuenta los efectos producidos sobre las personas, el terreno y sobre cada uno de los diferentes tipos de construcciones las cuales son evidentemente afectadas sobre todo en el caso que no se hayan diseñado siguiendo las normas sísmicas pertinentes. Dichas afectaciones son el resultado además de factores tales como la magnitud, la duración del movimiento del suelo, el tipo de suelo claramente el tipo de construcción. El tiempo de duración de los movimientos sísmicos depende de la distancia que existe entre quien lo percibe y el epicentro del mismo, de la geología que conforma al sitio y de la magnitud del temblor. Los tiempos de oscilación pueden variar en relación a las características del terreno pudiendo incluso durar en suelos blandos 3 veces más que en suelos rígido, de igual manera suele suceder en el caso de edificios altos donde los efectos producto del temblor se sienten mayor tiempo siendo más severos los daños en las construcciones sobre todo en el caso que estas no son lo suficientemente resistentes a los movimientos laterales que ocasionan estos fenómenos.

Los temblores se pueden predecir ya que para ello existe una rama de la sismología que trata de aplicar los conocimientos existentes y determinan las áreas de la sismología que requieren de investigación inmediata en aras de lograrlo, pero sin embargo no podemos prevenirlos, pero si pueden reducirse los daños causados por estos mediante la elaboración de un correcto diseño estructural y con un buen estándar de seguridad. Cuando se lleva a cabo cualquier diseño estructural se ha de tener en cuenta las características geométricas y los materiales a emplear velando porque se cumplan los parámetros establecidos en las normas para que así

los sistemas estructurales sean capaces de sufrir daños controlados tanto estructurales como no estructurales y de poder disipar parte de la energía absorbida, además siempre que se implemente un correcto diseño regido por las adecuadas normativas sismorresistentes unido a la construcción supervisada.

En el caso específico de las estructuras de hormigón armado se producen comúnmente ante la presencia de sismos muy fuertes daños estructurales en pilares como son grietas diagonales y verticales, aplastamiento del hormigón y pandeo de las barras longitudinales y desprendimiento del recubrimiento; en las vigas pueden producirse grietas diagonales y verticales, rotura de los estribos y de los refuerzos longitudinales además de aplastamiento del hormigón. Generalmente suelen encontrarse los puntos más críticos en las conexiones entre elementos estructurales, por ejemplo, en el caso de unión viga-pilar pueden producirse grietas diagonales, fallos por adherencia y anclaje del refuerzo longitudinal de las vigas. En las losas pueden producirse grietas por punzonamiento alrededor de los pilares y longitudinales a lo largo de la losa de piso. En el caso de los daños no estructurales se deben a la unión inadecuada entre los muros divisorios, las instalaciones y la estructura, o la falta de rigidez de la misma causando excesivas deformaciones las cuales no pueden ser absorbidas. (Barbat Barbat et al., 2005, Mestre, 2010)

1.2- Principales normas sísmicas en el mundo.

Entre las normas sísmicas más completas y de mayor repercusión a nivel internacional se encuentran la norma americana, la japonesa, la chilena y el EUROCÓDIGO; de las mismas fueron analizadas sus principales aspectos y planteamientos para el desarrollo del presente trabajo, teniendo en cuenta que cada una de ellas se adecuó a las características propias de cada región. Estas normas tienen en común la determinación de dos elementos fundamentales: la fuerza basal y los parámetros de deformaciones admisibles a partir de la amplitud del movimiento de la estructura, además cada una cuenta con un mapa de regionalización sísmica con sus correspondientes valores de aceleración espectral, los análisis correspondientes para el desarrollo del cálculo del período de las oscilaciones en las edificaciones y una caracterización de los tipos de suelo y del comportamiento de estos permitiéndonos obtener el valor del coeficiente de sitio lo cual se hace imprescindible para el

desarrollo de los cálculos. En todas las normas el procedimiento de cálculo no es el mismo ya que esto depende de los métodos que se emplean en cada una.

1.2.1- Norma Sísmica Americana.

La norma americana ASCE 7-10 está basada en el concepto de confiabilidad estructural. Después de analizarla detalladamente podemos darnos cuenta que se plantea el mismo procedimiento y básicamente conceptos similares a los establecidos en la norma cubana ya que nuestra norma se correlaciona en cuanto al método de cálculo en casi su totalidad a norma americana debido al alto grado de calidad que presenta esta. La diferencia entre estas está marcada a la hora del cálculo del coeficiente sísmico al límite de cedencia (C_s) ya que en la norma cubana no está explícito el factor de importancia (I_e) que si se tiene en cuenta en la norma americana, factor que se hace mayor a medida que la se acrecienta la importancia de la obra, mientras que en la norma cubana se tiene en cuenta este factor desde que se determina la probabilidad según la intensidad del sismo y por eso no se divide el valor del factor de reducción (R) por el factor de importancia (I_e) (Architects and Group, 2008, Crouse et al., 2006, Engineers, 2010)

1.2.2- Norma Sísmica Chilena. NCh433.

Chile es un país donde han ocurrido importantes eventos sísmicos los cuales han causado cuantiosas pérdidas para el país de ahí que hayan tenido un desarrollo progresivo en la creación y actualización de las normas sísmicas, existiendo un marco normativo y reglamentario robusto y actualizado, el cual además se encuentra en permanente proceso de revisión por parte de los distintos actores del rubro, tales como organismos públicos, académicos y profesionales del área, los cuales obtienen permanente retroalimentación no solo de los sismos que se generan en el país sino también de los avances técnicos y tecnológicos que se generan en este ámbito, para lo cual existe un esfuerzo permanente por desarrollar iniciativas que permitan un mejor desempeño en sus construcciones.

En relación a la normativa de diseño antisísmico chilena actual se puede mencionar lo siguiente:

1. La actualización y calibración de la norma de diseño sísmico se desarrolla principalmente en base a registros de sismos reales de gran intensidad sobre los cuales se tenga registro.

2. No obstante su actualización está estrechamente vinculada a la generación de sismos de gran envergadura, su revisión es motivo de permanente estudio por parte de profesionales especialistas.

3. La norma de diseño sísmico de edificios está orientada a:

- Que las estructuras resistan sin daños.
- Que se limiten los daños en elementos estructurales durante sismos de mediada intensidad.
- Que, aunque se presenten daños, eviten el colapso durante sismos de intensidad excepcionalmente severos.

La actual norma de diseño sísmico presenta entre sus principales cambios en relación a la normativa precedente los siguientes:

- Presenta una nueva clasificación dinámica del suelo generando mejor información acerca de los mismos y su influencia en las estructuras.
- Estableció una recalibración de las condiciones de diseño de edificios en cuanto a sus solicitaciones.
- Estableció una recalibración de las evaluaciones para edificios de hormigón armado en lo que a desplazamiento de techo se refiere y su consecuente influencia en los criterios de confinamiento de los muros.

Es importante tener presente que el diseño sísmico de edificios es una componente del diseño estructural, el desempeño de una edificación no solo depende de su diseño sísmico, sino también del diseño del tipo de sistema constructivo utilizado en su estructuración o el tipo de suelo utilizado como soporte. Así existen normas de diseño para estructuras de hormigón

armado, albañilería y madera, la cuales también son motivo de actualización permanente y así a su vez se garantizan el diseño sismorresistente de sus edificaciones. (Urbanismo, 2017)

1.2.3- EUROCÓDIGO 8.

Entre algunos de los aspectos que se plantean en esta norma es que en la misma utiliza la clasificación de suelos según la NCSE-02 la cual debe ser revisada en consonancia con las nuevas formas espectrales que se propongan y con el mapa de aceleración básica. El mapa de aceleración sísmica que se establece en la misma corresponde también con el mapa de aceleración sísmica básica de la NCSE-02, asociado a un terreno diferente al de tipo A por lo que se propone una fórmula de conversión entre ambas aceleraciones basadas en el valor del coeficiente S para este tipo de terreno. En el caso donde se encuentren zonas de baja sismicidad la norma permite el empleo de algunos métodos simplificados incluyendo en algunos casos el factor de importancia. En cuanto al cálculo sísmico de edificios se consideran aparte de las masas correspondientes a la propia estructura, las permanentes y una fracción de aquellas que se corresponden a los tipos de sobrecarga. En la norma se emplea un factor de reducción denominado v el cual permite estimar los desplomes locales para el caso de los sismos frecuentes a partir de los valores obtenidos para el sismo de diseño, se permite además fijar en función de la clase de importancia de la obra e independientemente de esta se tiene en cuenta el menor período de retorno de la acción. También podemos decir en cuanto a esta norma que se permite la reducción de cargas sísmicas a niveles que permiten diseños económicos. (MECÁNICA, 1998)

1.3- Norma Sísmica Cubana. Antecedentes.

Nuestra isla se encuentra situada en la placa tectónica de Norteamérica, la cual presenta un movimiento deslizante respecto a la placa tectónica del Caribe. El contacto entre estas dos placas origina la principal zona sismo-generadora en la región, donde se producen los mayores sismos que han afectado al país. La cercanía de la región suroriental cubana a esa zona sismo-generadora donde se encuentra el sistema de fallas Bartlett-Caimán conocido como “la falla de la costa sur de Oriente” que es lo que hace que se produzcan allí con mayor frecuencia y en mayor magnitud sismos cada un promedio de 70 a 80 años, pudiendo ocurrir un sismo fuerte que afecta mayormente a la ciudad de Santiago de Cuba,

Guantánamo, Bayamo y toda la costa sur de la Sierra Maestra"(Barbat et al., 2005, Calvo and Peregrín, 2014). Sin embargo, la actividad sísmica en la región occidental a pesar de no ser frecuente, no es nula debido a la presencia de zonas sismo-generadoras: zonas que presentan estructuras o fallas tectónicas que pueden generar sismos, siendo entonces como es lógico poder encontrarnos en cualquier zona de la isla con la presencia un sismo ya sea este de poca, mediana o gran intensidad aunque generalmente este último caso está mayormente asociados a la región suroriental y solo en algunos puntos del Occidente y del Centro.

En Cuba contamos hoy con la existencia de una red de estaciones que conforman el Servicio Sismológico Cubano pertenecientes al CENAIIS conformado por ocho estaciones asistidas, de banda ancha, y una red de estaciones sismo-telemétricas localizadas en la región oriental al ser esta la más activa. Mediante este sistema se registran cada año entre 20 y 50 temblores de mediana y moderada intensidad, principalmente en la zona oriental. Son estos datos puntos esenciales de partida para la justificación de la existencia en el país de una norma sísmica que permita que nuestras construcciones estén preparadas ante este tipo de fenómenos.

La primera normativa cubana de sismo data del año 1984 la cual planteaba los requisitos mínimos para que las construcciones pudiesen soportar un temblor en presencia de magnitudes definidas y condiciones específicas, la misma fue conocida como NC 53-114:84 . No fue hasta 1999 que se presenta una actualización de la norma quedando entonces conformada la NC 46:1999: Construcciones sismorresistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción. Dicha norma emplea un único espectro de diseño por tipología de suelo, elemento que no permite que se coincida con la realidad debido a que por todo el archipiélago varían los niveles de peligrosidad sísmica en todos los territorios, asignando a su vez un solo tipo de sismo ante la presencia de cualquiera estructura. La misma plantea además dos tipos de análisis: el análisis estático equivalente y el método de análisis modal y está compuesta por 12 capítulos. Tras estar vigente ya durante un período de 17 años la NC 46:1999 y tras cumplir con el propósito de desarrollar nuevas prácticas constructivas se debatió en la provincia de Santiago de Cuba por un conjunto de profesionales expertos en el tema sobre los cambios que se debían llevar a cabo en dicha norma buscando de esta manera la actualización de la misma surgiendo entonces la NC 46:2017: Construcciones sismorresistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción; la cual se basa

fundamentalmente en la realización de un nuevo mapa de amenazas sísmicas mediante el cual se pueda conocer a nivel de municipio los parámetros correctos para lograr eficiencia y seguridad en las nuevas edificaciones. Este nuevo mapa presenta además los diferentes tipos de construcciones que actualmente se hacen en Cuba: concreto, mampostería y estructuras metálicas, especificando sus peculiaridades mecánicas y los cálculos a realizar para su correcta fabricación entre otros parámetros como son: calidad y cantidad de los materiales y la aceleración del suelo lo cual permite que se logre el cumplimiento de los parámetros económicos y la durabilidad de las estructuras ante la presencia de terremotos de pequeña y gran magnitud.

1.3.1- Contexto sismotectónico en Cuba.

Cuba está ubicada al norte del borde sur de la placa Norteamericana. La parte sur de Cuba bordea la placa del Caribe con influencia desde la estructura principal que rodea el norte de la placa del Caribe según se muestra en la Figura 1.

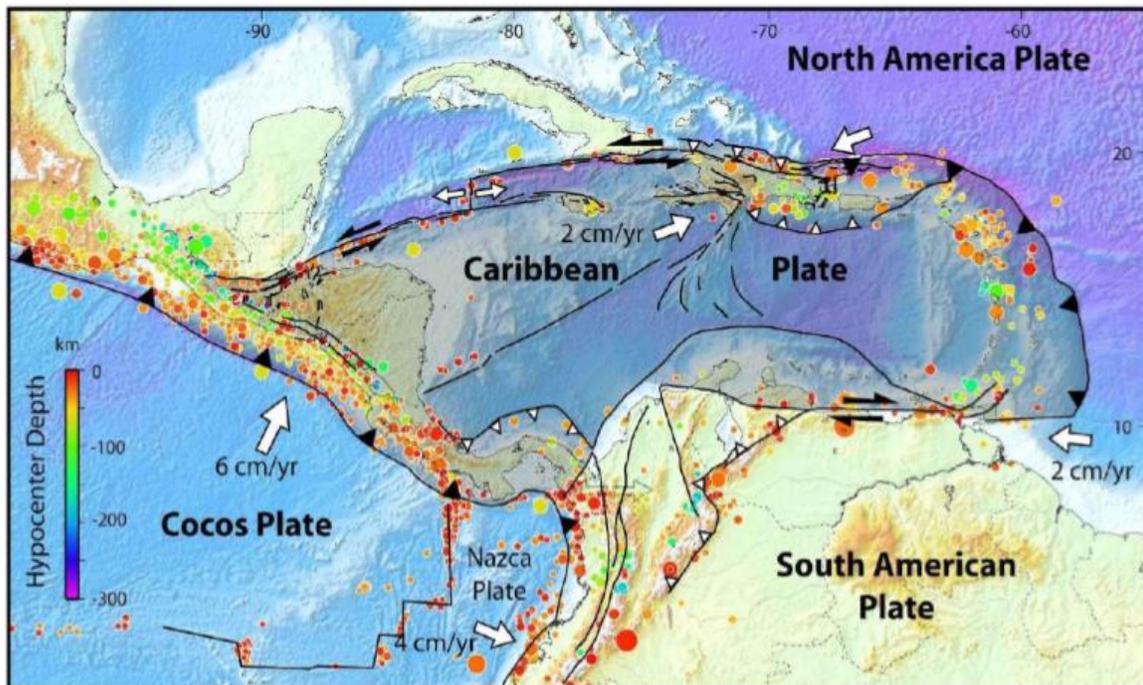


Figura 1: Contexto sismotectónico del Caribe y Cuba.

Fuente:(Alvarez, 2015)

Cuba se caracteriza por presentar una actividad sísmica de baja a moderada, la parte sur se encuentra influenciada por la tectónica que se refleja en la Figura 2. La falla Oriente corre al sur de Cuba y delinea una depresión profunda que puede ser subdividida en 5 segmentos como se indica también en la Figura 2. El tipo de deformación sísmica transita desde inversa/subducción y transpresión en el este, hacia corrimiento por el rumbo y transpresión en el oeste. En este sentido Arango (1996) identifica 4 sectores bien diferenciados al sur de Cuba:

- Cabo Cruz (transtensión)
- Pílon (corrimiento por el rumbo puro)
- Oriente (extensión)
- Santiago (transpresión).

Más específicamente el margen sur de Cuba está en contacto con la microplaca Gonave la cual está limitada por el centro de expansión de Caimán al oeste, la zona de fallas Oriente al norte, las zonas de fallas de Walton y Enriquillo al sur y La Española central al este.

A una escala regional el régimen tectónico al sur de Cuba está gobernado por el movimiento relativo entre las placas de Norteamérica y el Caribe, mientras que a una escala más local la interacción de la microplaca de Gonave entre las placas de Norteamérica y el Caribe influye el régimen tectónico de Cuba, Jamaica y el occidente de La Española.

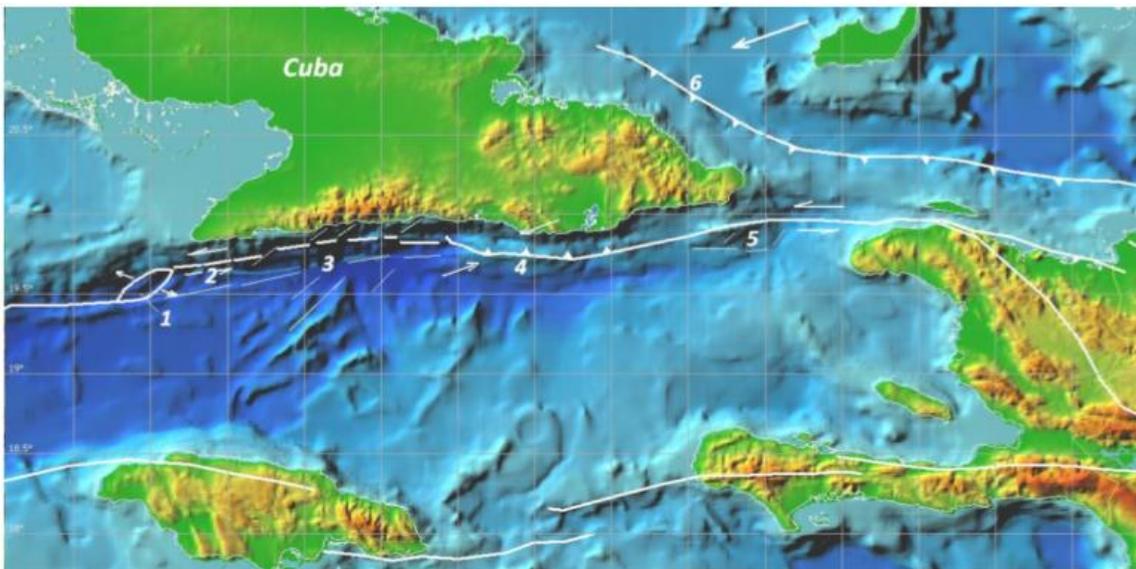


Figura 2: Contexto sismotectónico de Cuba suroriental, La Española y Jamaica: 1 cuenca de pull-apart de Cabo Cruz, 2 Corrimiento por el rumbo puro, 3 Fosa de Oriente, 4 Cinturón Deformado de Santiago (transpresión), 5 Cuenca de San Nicolás (transtensión).

Fuente: (Alvarez et al., 2015)

La característica tectónica fundamental hacia el sur de Cuba suroriental es la falla Oriente (Figura 3); una falla transformante siniestra que domina la actividad sísmica en esa parte del país. La misma tiene una traza discontinua y algunas cuencas de tipo pull-apart se localizan entre los segmentos de falla (cuencas de Cabo Cruz, Chivirico y Baitiquirí).

La cuenca de Cabo Cruz es muy activa, tiene una sismicidad somera pronunciada y está dominada por fallas normales con pequeñas componentes de corrimiento por el rumbo. Otras estructuras que forman la falla Oriente son la Fosa de Oriente y el Cinturón Deformado de Santiago, características de deformación compresiva subparalelas al sur de la estructura fundamental Oriente. El Cinturón Deformado de Santiago es también una estructura tectónica muy activa donde ha sido observada sismicidad profunda. (Alvarez, 2015, Camacho et al., 2014, Arias, 2014, Cotilla and Alvarez, 2010)

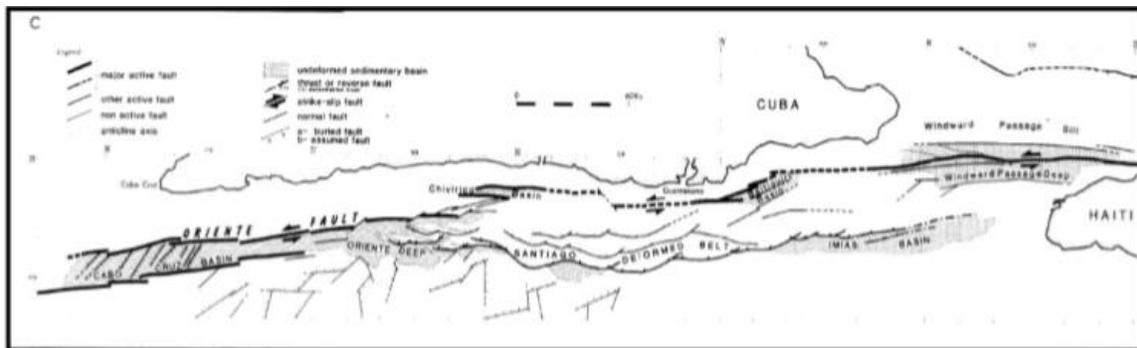


Figura 3: Principales características tectónicas en Cuba suroriental. (Calais y Lepinay, 1991).

Fuente:(Alvarez, 2015)

1.4- Presencia de los terremotos en Matanzas.

A pesar de que en la región Occidental no es común la ocurrencia de sismos no quiere decir que no puedan ocurrir este tipo de fenómeno ya que existen zonas que presentan estructuras o fallas tectónicas conocidas como zonas sismo-generadoras. En el caso específico de la provincia de Matanzas la cual se encuentra situada en la zona inferior a la placa de

Norteamérica al igual que en el resto de la región occidental el riesgo sísmico es bajo y no se prevén terremotos superiores a una magnitud de 7 en la escala Richter. Sin embargo, existen fallas en nuestra provincia como son la de Hicacos y la de Cochinos que dan lugar a la ocurrencia de los temidos terremotos.

1.4.1- Falla Hicacos.

La falla Hicacos constituye una falla que se manifiesta a todo lo largo de la Península de Hicacos y se interna en el territorio por el borde Este de la Bahía de Matanzas. A la falla Hicacos se le puede asociar terremotos en varios lugares. En este caso se hace referencia a los eventos referidos en la ciudad de Matanzas que corresponden a la triple intersección de las fallas Hicacos, Nortecubana y Cochinos. Concretamente, para esta área hay en el período 1800-1900 un total de siete terremotos y en el siglo XX sólo dos. El otro extremo de la falla Hicacos, en las cercanías de la localidad habanera de Batabanó, tiene dos sismos de 4 y 5 grados (MSK) de principios del siglo XX. Entonces, el trazo de la falla Hicacos se puede reconocer con datos de terremotos en los poblados de Batabanó, Madruga y Matanzas. Ciudad de La Habana, Cienfuegos y Matanzas fueron y son en esta región los asentamientos más antiguos de mayor significación desde el punto de vista económico y social, y por consiguiente, donde más atención se debió prestar, históricamente, a la perceptibilidad de un sismo.

1.4.2- Falla de cochinos.

La falla de Cochinos se encuentra cubierta por sedimentos jóvenes de la cuenca asimétrica de Cochinos. Se expresa muy bien al Sur en el relieve de la bahía de igual nombre e intercepta con una de las dos ramas del sistema de fallas Surcubana, donde se produjo el sismo de Girón de 1964. El extremo Norte de la falla está en las inmediaciones de la Bahía de Matanzas (desembocadura fluvial, encajada en paredes verticales de 10-20 m del río Canímar), área donde se intercepta con la falla Hicacos y la rama Oeste del sistema de fallas Nortecubana. Entre algunas de las manifestaciones sísmicas ocurridas que podemos mencionar están:

- En el nudo que incluye las localidades de Torriente-Jagüey Grande y Hato de Jicaritas) se produjo el sismo de 1982 (conocido como el de mayor intensidad sobre el alineamiento Habana-Cienfuegos).
- En las inmediaciones de la falla Cochinos ha ocurrido actividades sísmicas en los poblados de Girón, Perico, Agramonte y La Isabel , han ocurrido cinco sismos, cuatro de ellos con intensidad mayor o igual que 4. (González, 2013)

1.4.3- Terremotos en Varadero.

Estudios precedentes sobre actividad sísmica en Cuba (Rodríguez et al., 2018), permiten conocer aquellos casos más significativos sobre la presencia de terremotos en Varadero como son los que se mencionan a continuación.

1.4.3.1- El terremoto del 8 de octubre del 2000.

En fecha más reciente, el 8 de octubre del 2000, se reportaron 2 eventos perceptibles en la localidad de Varadero, los cuales fueron descritos en un reporte del SSN del CENAIIS. El primero se señala a las 02:48 UTC con una intensidad de III MSK – EMS y el segundo más fuerte a las 03:28 UTC con una intensidad de V MSK – EMS en la localidad de Varadero.

1.4.3.2- El terremoto del 9 de enero del 2014.

El día 9 de enero del 2014 a las 15:57 PM se reportó un sismo perceptible en los 23.39 N y los 80.99 W, con una profundidad de 20 km y una magnitud de 4.9 Richter. Con posterioridad a este se reportaron otros eventos perceptibles en esa zona. En particular en la localidad de Varadero el sismo principal fue reportado perceptible en varios hoteles y otras instituciones (en estas se reportan las mayores intensidades).

1.4.3.3- El terremoto del 29 de julio del 2017.

En el año 2017 se registraron varios sismos en la región de Varadero, el de mayor magnitud fue el registrado el 29 de julio (día 30 a las 03:41 UTC) con una magnitud de 4.5 en la escala de Richter y una intensidad máxima de VI grados en la escala EMS – 98. Este sismo provocó afectaciones leves en viviendas y hoteles de las localidades de Santa Marta y Varadero.

Conclusiones Parciales.

- Los sismos constituyen amenazas de tipo geológicas que afectan de forma severa a las construcciones, debido a las tensiones a las que se someten las estructuras durante la ocurrencia de los movimientos tectónicos.
- Cuba se caracteriza por presentar una actividad sísmica de moderada a baja, lo cual no constituye una característica excluyente para el empleo de Normas Sísmicas en el diseño de sus edificaciones en cualquier zona del país.

CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DE LA NC 46:2017 PARA LA CONFORMACIÓN DE UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA MEDIANTE UNA GUÍA PARA LA APLICACIÓN DE LA NORMA CUBANA DE SISMO.

El presente capítulo estará centrado fundamentalmente en la elaboración de una guía de pasos y su correspondiente flujograma para el cálculo del cortante basal lo cual facilitará la conformación de una hoja de cálculo en Excel que servirá como herramienta informática a los ingenieros siempre que necesiten tener en cuenta el diseño sismorresistente. Para el desarrollo del mismo se hará uso de la NC 46:2017 reorganizando la misma y dejando referenciado mediante el símbolo § los epígrafes correspondientes de la norma con los cuales se trabaja.

2.1- Reseña de la NC 46:2017.

La Norma Cubana establece los requisitos básicos para el diseño y la construcción de obras sismorresistentes ubicadas en zonas de peligro sísmico. Incluye tanto las edificaciones como las obras civiles con el propósito de disminuir o mitigar su grado de vulnerabilidad, excepto en estructuras especiales tales como plantas nucleares, eléctricas, mecánicas y similares. En estos casos se requieren consideraciones específicas para las que estén acorde con lo establecido en esta norma. (NC:46, 2017)

La nueva norma sísmica cubana NC 46:2017 supera en detalles a su antecesora y sigue líneas similares a las de otros países de América a pesar de no presentar en su introducción, aunque sea una breve reseña de los sismos más relevantes que se han registrado en el país con el transcurso de los años, dato que pudiese resultar interesante para algunos usuarios de la norma. Carece además de esquemas o una guía que permita determinar el procedimiento de diseño paso a paso lo cual facilitaría la comprensión de la misma.

Como se ha analizado con anterioridad la nueva norma está basada fundamentalmente en la elaboración de un nuevo mapa de amenazas sísmicas por municipio en todo el territorio nacional lo que permite hacer más certero el diseño. En la misma existen cuatro categorías de sismo a tener en cuenta, según el por ciento de probabilidad de ser excedido en un período de 50 años de vida útil correspondiente a un período de retorno por cada tipo. En dicha norma se

introduce un factor amplificador por la proximidad de las edificaciones a las fallas sísmicas existentes y presenta la incorporación de un listado de símbolos. Esta abarca un análisis mucho más amplio que su antecesora ya que se tienen en cuenta:

- El análisis estático
- El análisis modal
- El análisis no lineal
- El análisis paso a paso
- El análisis por desempeño

Para la conformación de dicha norma se tuvieron en cuenta como referencia diferentes normativas tanto nacionales, además de otras internacionales entre las que se encuentran:

- ISO 3010: 2001 *Basis for design of structures. Seismic action on structures*
- ASTM D 1586 Standard test method for standard penetration test (SPT) and split-barrel sampling of soils.
- ASTM D 2166 Standard test method for unconfined compressive strength of cohesive soils.
- ASTM D 2850 Standard test method for unconsolidated – Untrained triaxial compression test on cohesive soils.
- ASCE 7 Minimum design loads for buildings and other structures.
- ASME B 31 Standard of pressure piping.
- Norma Peruana E.030 Diseño sismorresistente.
- NSE 2010 Normas de seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para la República de Guatemala.

- R - 001: 2011 Reglamento para el análisis y diseño sísmico de estructuras.
- NSR-10: 2010 Reglamento colombiano de construcción sismo-resistente.

2.2- Conceptos fundamentales empleados en la norma.

Para poder llevar a cabo un análisis de la norma es preciso entender una serie de definiciones fundamentales relacionados con los principales parámetros que se tienen en cuenta a la hora del cálculo del cortante basal los cuales serán empleados seguidamente, entre estos podemos destacar:

- **Sa**: aceleración espectral horizontal máxima para el cálculo.
- **Ss**: aceleración espectral horizontal máxima para el cálculo para períodos cortos.
- **S1**: aceleración espectral horizontal máxima para el cálculo para períodos largos.
- **TL**: es el período de transición del período largo.
- **NPS**: Nivel de Protección Sísmica.
- **Scs**: ordenada espectral del sismo extremo en el sitio de interés para estructuras con período de vibración corto para un amortiguamiento de 5 % del crítico.
- **S1s**: ordenada espectral correspondiente a períodos de vibración de 1 segundo; ambos para un amortiguamiento de 5 % del crítico.
- **Fa**: coeficiente de sitio para períodos de vibración cortos.
- **Fv**: coeficiente de sitio para períodos largos.
- **SDS**: Aceleración espectral de diseño para período corto.
- **Scs**: Aceleración espectral para períodos cortos.
- **SD1**: Aceleración espectral de diseño para períodos largos.

- **S_{1s}**: Aceleración espectral para períodos largos.
- **T_o y T_s**: Períodos de esquina del espectro.
- **T_a o T**: Período de vibración empírico.
- **AMSD**: Aceleración Máxima del Suelo del sismo de diseño.
- **W_s**: Parte del peso de la edificación.
- **C_s**: Coeficiente sísmico de diseño.

2.3- Zonificación sísmica.

Para el análisis y aplicación de la norma en todo el territorio nacional se hace uso del anteriormente mencionado Mapa de Zonificación Sísmica (Figura 4) en cual se muestra dividido el país en cinco zonas y al cual asociado a este mapa se encuentra la Tabla 1: Peligro sísmico en las diferentes zonas del territorio nacional por municipios.

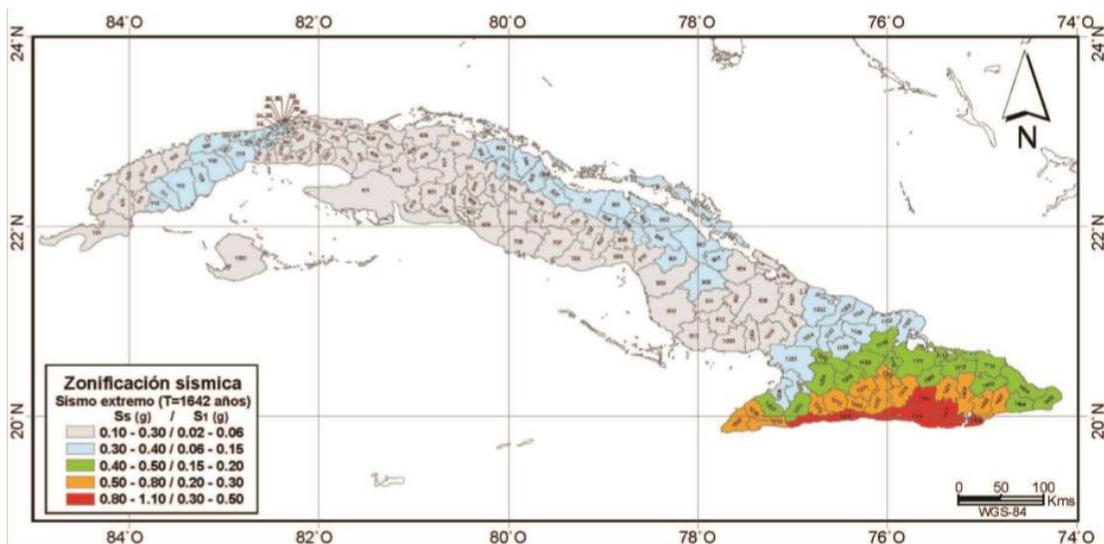


Figura 4: Mapa de Zonificación Sísmica

Fuente: (ONN, 2017)

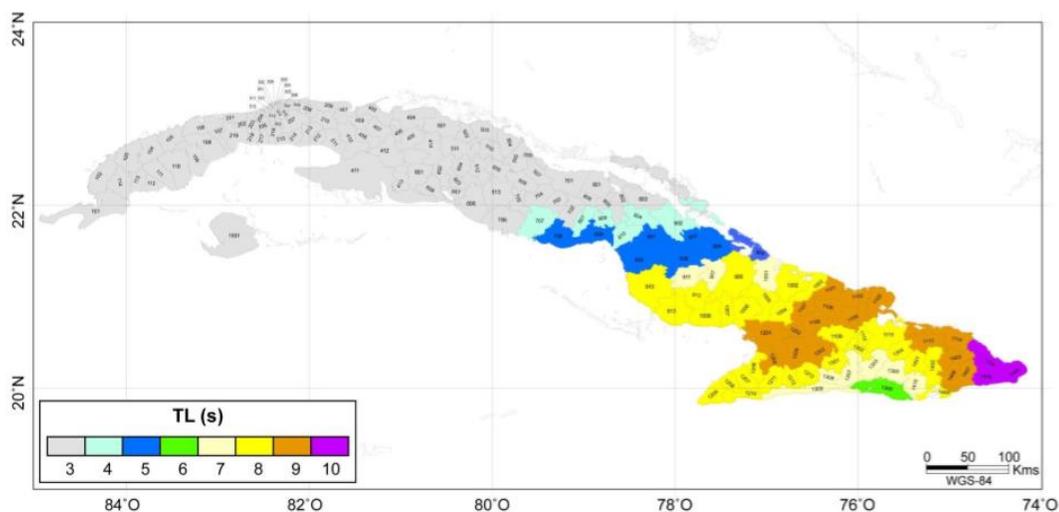


Figura 5: Mapa de TL para la República de Cuba
Fuente: (ONN, 2017)

Tabla 1: Peligro sísmico en las diferentes zonas del territorio nacional por municipios.

No.	Provincia	Municipio	Cod. Munic.	$S_0(g)^1$	$S_s(g)$	$S_l(g)$	$T_L(s)$	Zona
1	P. del Río	Sandino	101	0,085	0,158	0,039	3,0	1
2	P. del Río	Mantua	102	0,120	0,213	0,043	3,0	1
3	P. del Río	Minas de Matahambre	103	0,145	0,258	0,052	3,0	1
4	P. del Río	Viñales	104	0,155	0,283	0,058	3,0	1
5	P. del Río	La Palma	105	0,161	0,297	0,064	3,0	1
6	Artemisa	Bahía Honda	106	0,174	0,323	0,074	3,0	2

Fuente: (ONN, 2017)

Zona 1: De peligro sísmico muy bajo sin efectos dañinos para las construcciones donde por lo general no es necesario tomar medidas sismorresistentes en estructuras y obras. No obstante desde el punto de vista sismológico, no puede decirse que existe sismicidad nula. Los valores de la aceleración espectral horizontal máxima para el cálculo S_a estarán entre (0,10 - 0,30) g para períodos cortos (S_s) y entre (0,02 - 0,06) g para períodos largos (S_l).

Zona 2: De peligro sísmico bajo que puede ocasionar daños en las construcciones debiéndose tomar medidas sismorresistentes en las estructuras y obras en función de la categoría ocupacional de las mismas y el nivel de protección definido según la probabilidad de exceder un sismo de diseño. Los valores de la aceleración espectral horizontal máxima

para el cálculo S_a estarán entre (0,30 - 0,40) g para períodos cortos (S_s) y entre (0,06 - 0,15) g para períodos largos (S_l).

Zona 3: De peligro sísmico moderado que puede ocasionar daños en las construcciones debiéndose tomar medidas sismorresistentes en todas las estructuras y obras en función de la categoría ocupacional de las mismas y el nivel de protección definido según la probabilidad de exceder un sismo de diseño. Los valores de la aceleración espectral horizontal máxima para el cálculo S_a estarán entre (0,40 - 0,50) g para períodos cortos (S_s) y entre (0,15 - 0,20) g para períodos largos (S_l).

Zona 4: De peligro sísmico alto que puede ocasionar daños significativos en las construcciones debiéndose tomar medidas sismorresistentes en las estructuras y obras en función de la categoría ocupacional de las mismas y el nivel de protección definido según la probabilidad de exceder un sismo de diseño. Los valores de la aceleración espectral horizontal máxima para el cálculo S_a estarán entre (0,50 - 0,80) g para períodos cortos (S_s) y entre (0,20 - 0,30) g para períodos largos (S_l).

Zona 5: De peligro sísmico muy alto en el territorio nacional que puede ocasionar daños graves en las construcciones debiéndose tomar medidas sismorresistentes en las estructuras y obras en función de la categoría ocupacional de las mismas y el nivel de protección definido según la probabilidad de exceder un sismo de diseño. Los valores de la aceleración espectral horizontal máxima para el cálculo S_a estarán entre (0,80 - 1,10) g para períodos cortos (S_s) y entre (0,30 - 0,50) g para períodos largos (S_l). (§ 4.1.1)

2.4- Tipos de sismos de diseño.

Para llevar a cabo posteriormente los cálculos pertinentes planteados en la norma se hace necesario definir varios niveles de sismo para el diseño estructural lo cual depende del tipo de clasificación según la categoría a la cual corresponde la obra. Se encuentran especificados entonces cuatro niveles de sismo los cuales se ordenaron por la autora en orden descendente según la probabilidad de ser excedido en un período de 50 años de la vida útil para hacerlo coincidir así con el orden correspondiente establecido en la Tabla 4, estos son:

- **Sismo mínimo o frecuente:** es una reducción del sismo básico que se permite únicamente en casos de excepción específicamente indicados en esta norma, que incluyen las obras utilitarias y algunos casos de readecuación sísmica de obras existentes. Este se ha determinado con una probabilidad del 20 % de ser excedido en un período de 50 años de vida útil correspondiente a un período de retorno de 225 años. (§ 4.2.1.4)
- **Sismo básico u ordinario:** es el que tiene un 10 % de probabilidad de ser excedido en un período de 50 años de vida útil correspondiente a un período de retorno de 475 años. Se utilizará para el diseño estructural de Obras Ordinarias. (§ 4.2.1.1)
- **Sismo severo:** es el que tiene un 5 % de probabilidad de ser excedido en un período de 50 años de vida útil correspondiente a un período de retorno de 808 años. Se utilizará para el diseño estructural de Obras Importantes y de Obras Esenciales. (§ 4.2.1.2)
- **Sismo extremo:** es el que tiene una probabilidad del 3 % de ser excedido en un período de 50 años de vida útil correspondiente a un período de retorno de 1642 años. Para obras que hayan sido calificadas como “críticas” por el ente estatal correspondiente se puede utilizar este como sismo de diseño. Este sismo es la base para el mapa de zonificación sísmica (Figura 4). (§ 4.2.1.3)

La norma está concebida para 50 años de vida útil pero sin embargo pueden existir casos con otras exigencias en cuanto a este valor ya sea por parte de los inversionistas o porque sea mejor para la construcción de las obras con vista futura aspecto sumamente importante de ahí que se haga necesario estudiar este tipo de caso ya que no está contemplado en la norma y no puede entonces utilizarse ante situaciones como esta.

Donde se exija un período de vida útil mayor a los 50 años establecidos en la norma se deberá entonces realizar un ajuste mediante la fórmula que se presentará a continuación en la que se fijará el valor de los años de vida útil según lo establecido por el inversionista y la probabilidad según lo establecido en la norma en cuanto a los tipos de sismo de diseño buscando entonces el correspondiente período de retorno.

$$R_{T,n} = 1 - \left[1 - \frac{1}{1-T}\right]^n$$

Donde:

- **R:** es el riesgo de ocurrencia, es decir: la probabilidad de que SI se produzca alguna vez un suceso sísmico.
- **T:** período de recurrencia o también conocido como período de retorno.
- **n:** años de vida útil.

Es importante destacar que en la norma se presenta un error en cuanto a la relación que se establece entre la probabilidad de ser excedido en un período de 50 años de vida útil y su correspondiente período de retorno. Según un análisis realizado mediante cálculos se detectó que en el caso del sismo severo, de ser el período de retorno correcto el cual se hace corresponder con 808 años entonces la probabilidad de ser excedido en un período de 50 años de vida útil será de un 6 % no de un 5% como se plantea en la norma, esta información está verificada y consultada con los especialistas del CENAIIS, los cuales confirmaron que el período de retorno es de 808 años y la probabilidad es de 6%.

2.5- Especificaciones generales.

2.5.1- Bases del diseño sismorresistente.

La filosofía básica del diseño de estructuras ante los eventos sísmicos es la siguiente:

- a) Proteger la vida de las personas.
- b) Asegurar la continuidad de los servicios vitales.
- c) Minimizar los daños a las construcciones.

Acorde a esta filosofía se establecen los siguientes principios:

- Las estructuras se proyectarán para resistir sismos leves sin daños.
- Las estructuras se proyectarán para resistir sismos moderados, los cuales se espera puedan ocurrir en la zona de ubicación de esta durante su vida de servicio, sin daños estructurales pero con daños económicamente reparables en elementos no estructurales.

- Las estructuras se proyectarán para resistir sismos intensos, los cuales tienen posibilidad de ocurrir en la zona de ubicación de esta, sin colapsar ni causar daños a las vidas humanas aunque con la posibilidad de daños estructurales importantes.

Adicionalmente al diseño y construcción se tomarán las medidas adecuadas para evitar desastres secundarios tales como: fuego, derrame o filtración de materiales peligrosos procedentes de las facilidades industriales o tanques de almacenamiento que sufren averías, escapes de gases por roturas de tuberías y grandes deslizamientos de tierra que pueden ser provocados por el sismo (§ 5.1).

2.6- Clasificación de obras.

2.6.1- Categoría ocupacional.

Las obras se clasifican en categorías ocupacionales para los requisitos de diseño por sismo, viento e inundaciones. Toda obra nueva o existente se clasifica en una de las categorías ocupacionales según el impacto socioeconómico que implique la falla o cesación de funciones de la obra. El propietario podrá requerir al diseñador que clasifique su obra en una categoría más alta que la especificada. (§ 2.7.1.1)

Para efectos de clasificación se considerarán las obras y edificaciones como sistemas o complejos funcionales independientemente del número de unidades estructurales que las constituyan, es decir, la obra se clasificará en su conjunto. Sin embargo, los componentes del conjunto podrán subclasificarse en categorías diferentes. (§ 5.5.1.2)

Tabla 2: Clasificación de las obras.

CATEGORIA DE LAS OBRAS	
Clasificación la categoría de la obra	
Utilitaria	Obras utilitarias
	Construcciones cuyo colapso no induce daños a otras estructuras ni produce pérdidas En caso de duda la obra deberá clasificarse como ordinaria
Ordinaria	Obras ordinarias
	Construcciones de ocupación normal que pueden tolerar daños estructurales que las hagan inoperables como consecuencia de un sismo severo, sin llegar al colapso parcial o desplome, tales como son: bancos, hoteles, edificios de oficinas, apartamentos familiares, edificios públicos y restaurantes, no incluidas en las categorías I, III o IV.
Importante	Obras importantes
	Estas edificaciones no deben sufrir daños en elementos estructurales y no estructurales, durante la ocurrencia de un sismo severo, de manera que se garantice la integridad de la instalación o edificación y la protección de la población y el medio ambiente. Son las que albergan o pueden afectar a más de 300 personas; aquellas donde los ocupantes estén restringidos a desplazarse; en las que se prestan servicios importantes (pero no esenciales después de un desastre) a gran número de personas o entidades, obras que albergan valores culturales reconocidos o equipo de alto costo. En esta categoría están incluidas las siguientes obras, aunque no están limitadas a estas: <ul style="list-style-type: none"> ● Obras y edificaciones gubernamentales que no son esenciales. ● Edificios educativos y guarderías o círculos infantiles. ● Instalaciones de salud que no clasifiquen como esenciales. ● Garajes de vehículos de emergencia ● Prisiones ● Museos ● Todos los edificios de más de 3000 metros cuadrados de área rentable (excluyendo estacionamientos) ● Teatros, cines, templos, auditorios, mercados, restaurantes y similares que alojen más de 300 personas en un mismo salón o más de 3000 personas en la edificación. ● Graderíos al aire libre donde pueda haber más de 3000 personas a la vez. ● Obras de infraestructura que no sean esenciales incluyendo subestaciones eléctricas, líneas de alto voltaje, circuitos principales de agua, drenajes colectores, puentes de carretera, centrales de telecomunicaciones. ● Obras en las que hay fabricación y/o almacenamiento de materiales tóxicos, explosivos o inflamables (productos de la petroquímica, ácido sulfhídrico, amoníaco, entre otros)
Esenciales	Obras esenciales
	Son las que deben permanecer esencialmente operativas durante y después de un desastre o evento. No deben sufrir daños estructurales o de otro tipo que las hagan inoperables; o pongan en riesgo a gran cantidad de personas con la ocurrencia de un sismo severo o extremo. Se incluyen en esta categoría las obras especificadas a continuación, aunque no están limitadas a ellas: <ul style="list-style-type: none"> ● Instalaciones de salud con servicios de emergencia, de cuidados intensivos y quirófanos ● Instalaciones de defensa civil, bomberos, policía y de comunicaciones asociadas con la atención de desastres ● Centrales telefónicas, de telecomunicación y de radiodifusión ● Aeropuertos, hangares de aeronaves, estaciones ferroviarias y sistemas masivos de transportes ● Plantas de energía e instalaciones para la operación continua de las obras de esta categoría ● Líneas troncales de transmisión eléctrica y sus centrales de operación y control ● Instalaciones de captación y tratamiento de agua y sus centrales de operación y control ● Estructuras que formen parte de sus sistemas contra incendio ● Puentes sobre carreteras y ferrocarriles de primer orden ● Instalaciones designadas como refugios para emergencias ● Instalaciones de importancia estratégica ● Aquellas obras que las autoridades nacionales competentes declaren como tales y conste así en la tarea de proyecto y en los documentos contractuales de proyecto

Fuente: (ONN, 2017)

2.7- Nivel de Protección Sísmica.

El Nivel de Protección Sísmica se establece en función de la zona sísmica, la probabilidad de exceder el sismo de diseño y la clasificación de la obra. El valor de este podrá ser cualquiera que corresponda a un nivel de protección más alto que el nivel mínimo especificado en la Tabla 3. (§ 4.2.2.1 y 4.2.2.2)

Se establece además un nivel mínimo de protección sísmica en la Tabla 3, en función de la clasificación de la obra y la zonificación sísmica.

En esta Tabla 3 una obra “esencial” o “importante” tiene la misma probabilidad de excedencia, se diferencian en el Nivel de Protección y en las deformaciones laterales permitidas.

Tabla 3: Nivel mínimo de Protección Sísmica.

Zona Sísmica	Clase de Obra			
	Esenciales	Importante	Ordinaria	Utilitaria
	E	E	D	C
4 y 5	E	D	D	C
3	D	C	C	B
1 y 2	C1	A2	A	A
Probabilidad de exceder un sismo de diseño	3% en 50 años	5% en 50 años	10% en 50 años	20% en 50 años

Fuente: (ONN, 2017)

NOTA: En Zona sísmica 1 no se aplicará el diseño sismorresistente a ninguna obra. En Zona sísmica 2 se aplica el diseño sismorresistente solo a las obras catalogadas como esenciales. Las obras utilitarias, ordinarias e importantes no requerirán la aplicación del diseño sismorresistente en ninguna de las dos Zonas anteriores (1 y 2).

En obras de gran interés económico o de cierta peligrosidad como grandes presas y donde las condiciones sismo tectónicas sean complejas deben realizarse estudios especiales de microzonificación sísmica los cuales serán cumplimentados en la República de Cuba por el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAI). (§4.2.2.3).

2.8- Nivel de desempeño sísmico.

El diseño basado por desempeño no es un nuevo método de diseño, sino una metodología que sirve para evaluar el desempeño sísmico de una estructura ya sea nueva o existente. Lo que hace este método es mejorar y revisar el diseño sismorresistente basado en fuerza o en desplazamiento de cualquier estructura. El diseño por desempeño nace en el año 1995 en la publicación Visión 2000. En sus inicios el procedimiento fue definido por dos normas: el ATC-40 en 1996 y la FEMA 273 en 1997, después fueron mejorados en el año 2000 con la norma FEMA 356 y FEMA 440 en el 2005, en la actualidad se han publicado sustanciales normas como el FEMA P-58-1 en el 2012 y la ASCE / SEI 41-13 en el 2013 hasta su última actualización en el 2017 la ASCE / SEI 41-17.

El nivel de desempeño sísmico no es más que una revisión que es necesaria hacer para verificar si la intensidad del sismo considerada está de acorde con el nivel de demanda sísmica. Esta revisión aparece en la norma posterior al cálculo del cortante basal lo cual trae consigo que se tenga que repetir todo el procedimiento de cálculo siempre que no se cumpla con la condición de diseño sísmico por lo cual sería mejor revisarlo antes de hacer todo el procedimiento de cálculo, razón por la cual se decide insertar previamente el análisis por desempeño sísmico para decidir entonces cual sería el sismo de cálculo ya sea por la categoría de obra o por desempeño.

2.8.1- Niveles de diseño por razones económicas y de seguridad.

En el Método de Diseño por Desempeño se pueden predefinir diversos niveles de diseño motivados por asuntos económicos y de seguridad. Para este reglamento se establecen cuatro niveles de diseño que son: ocupación inmediata, continuidad de operación con daños menores, seguridad de vida y prevención de colapso.

Ocupación Inmediata - Supone que la edificación puede seguir operando luego de ocurrido un sismo y los elementos estructurales se mantendrán trabajando en el rango elástico. Los elementos no estructurales y el equipamiento no sufrirán ningún tipo de daño.

Continuidad de operación con daños menores - Este nivel de diseño supone que la edificación puede seguir operando después de la ocurrencia de un sismo. Los elementos

estructurales y el equipamiento no sufrirán daños, aunque los elementos no estructurales podrán tener daños menores.

Seguridad de vida - Los elementos estructurales pueden sufrir daños localizados en puntos especificados que pueden ser reparables. En todos los casos no se producirán fallas que pongan en el peligro la vida de los ocupantes.

Prevención de colapso - Se refiere al diseño de las edificaciones en las que se permite que los elementos estructurales y no estructurales puedan sufrir daños importantes sin llegar al colapso. En este caso el nivel de daños en los elementos estructurales es tan importante que no es reparable. (§ 6.6.6.2)

Tabla 4: Niveles de Desempeño.

		Nivel de desempeño sísmico			
		Ocupación inmediata	Operativo	Seguridad de vida	Prevención de colapso
Nivel de demanda sísmica	Sismo Frecuente 20 % en 50 años (PR = 225 años)	●	○	○	○
	Sismo Ordinario 10 % en 50 años (PR = 475 años)	●	●	○	○
	Sismo Severo 5 % en 50 años (PR = 808 años)	●	●	●	○
	Sismo Extremo 3 % en 50 años (PR = 1642 años)	○	●	●	●

● Ordinarias o normales
 ● Importantes y esenciales
 ● Críticas
 Desempeño inaceptable

Desempeño no aceptable en construcciones nuevas

Fuente: (ONN, 2017)

2.8.2- Confiabilidad estructural.

La norma actual calcula un valor de esfuerzo basal y ese valor debe ser multiplicado por el coeficiente 1.4 según lo planteado en la norma de combinaciones de carga NC 450: 2006 Edificaciones. Factores de carga o ponderación. Ponderaciones, sin embargo la NC 46:2017 plantea que se multiplicará por el coeficiente 1.0, estableciéndose entonces una diferencia de enfoque entre ambas normas. Esta diferencia está dada porque en la norma cubana actual de

sismo se introducen los conceptos de confiabilidad estructural de distribución de probabilidad teniendo en cuenta los criterios probabilísticos de los estados límites de ahí que ya no se haga necesario multiplicar el cortante basal por el coeficiente 1.4 como establece la NC 450: 2006 Según ((NC), 2006) se plantean las siguientes combinaciones de carga:

1. $1.4 (G + F)$
2. $1.2 (G + F + T) + 1.6 (Q + H) + 0.5 Q_c$
3. $1.2 G + 1.6 Q_c + (0.5 Q \text{ ó } 0.8 W)$
4. $1.2 G + 1.4 W + 0.5 Q + 0.5 Q_c$
5. $1.2 G + 1.4 E + 0.5 Q + 0.2 Q_c$
6. $0.9 G + 1.4 W + 1.6 H$
7. $0.9 G + 1.4 E + 1.6 H$

Donde:

- G: Carga permanente.
- Q: Carga de uso, servicio o función.
- Q_c : Carga de uso de cubierta.
- W: Carga de viento.
- E: Carga sísmica.
- H: Carga lateral del material confinado.
- F: carga de fluido.
- T: Cargas ecológicas y deformacionales.

Teniendo en cuenta el concepto probabilístico de confiabilidad estructural que está presente en la actual norma sísmica, las combinaciones de carga donde este presente la carga sísmica quedarán modificadas de la siguiente forma:

1. $1.4 (G + F)$
2. $1.2 (G + F + T) + 1.6 (Q + H) + 0.5 Q_c$
3. $1.2 G + 1.6 Q_c + (0.5 Q \text{ ó } 0.8 W)$
4. $1.2 G + 1.4 W + 0.5 Q + 0.5 Q_c$
5. $1.2 G + E + 0.5 Q + 0.2 Q_c$
6. $0.9 G + 1.4 W + 1.6 H$
7. $0.9 G + E + 1.6 H$

2.9- Selección de parámetros.

Son los parámetros S_s y S_1 cuyos valores para la República de Cuba están especificados en el Listado de Peligro Sísmico por Municipios en la Tabla 1. La misma información, con menos detalle, puede obtenerse gráficamente del Mapa de Zonificación Sísmica de la República de Cuba (Figura 4) (§4.3.1)

2.9.1- Ajuste por clase de sitio.

El valor de S_s y S_1 deberá ser ajustado a las condiciones en la superficie, según el perfil del suelo que cubra al basamento en el sitio. Esto podrá hacerse de la forma siguiente:

$$S_{cs}=S_s*F_a \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$S_{1s}=S_1*F_v \quad (\text{Ecuación 2})$$

Para desarrollar la siguiente fórmula es importante aclarar de dónde salen los valores de los términos correspondientes al miembro derecho de la misma:

- S_s y S_1 : estos valores salen de la Tabla 1.
- F_a y F_v : estos valores salen de las Tabla 5 y Tabla 6 respectivamente. Para el empleo de estas tablas se hace necesario una caracterización de la clase de sitio, en función del perfil del suelo en el sitio, estableciéndose las clases de sitio: A, B, C, D, E, F.

Tabla 5: Coeficiente de Sitio F_a .

Clase de sitio	Aceleración espectral para periodo corto, S_s (0,2 s)				
	$S_s \leq 0,30$	$S_s = 0,40$	$S_s = 0,50$	$S_s = 0,80$	$S_s \geq 1,00$
A	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
B	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
C	1,20	1,20	1,20	1,10	1,00
D	1,60	1,50	1,40	1,20	1,00
E	2,35	2,00	1,70	1,15	0,90
F	Se requiere evaluación específica				

NOTA: Utilice interpolación lineal para valores intermedios de S_s

Fuente: (ONN, 2017)

Tabla 6: Coeficiente de Sitio Fv.

Clase de sitio	Aceleración espectral para periodo largo, S ₁ (1,0 s)				
	S ₁ ≤ 0,06	S ₁ = 0,15	S ₁ = 0,20	S ₁ = 0,30	S ₁ ≥ 0,50
A	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
B	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
C	1,70	1,65	1,60	1,50	1,30
D	2,40	2,20	2,00	1,80	1,50
E	3,50	3,35	3,20	2,80	2,40
F	Se requiere evaluación específica				

NOTA: Utilice interpolación lineal para valores intermedios de S₁.

Fuente: ((NC), 2017)

2.9.2- Ajuste por intensidades sísmicas especiales.

En algunos casos el valor de S_s y S₁ deberá ser adicionalmente ajustado por la posibilidad de intensidades incrementadas de vibración en el sitio. Estas condiciones son por lo general identificadas por medio de los estudios de microzonificación de amenazas naturales. Cuando estén identificadas en el sitio de proyecto, se tomarán en cuenta en la forma genérica siguiente:

$$S_{cs} = S_s * F_a * N_a \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$S_{1s} = S_1 * F_v * N_v \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

- N_a y N_v son los factores que se aplican por la proximidad de las amenazas especiales indicadas a continuación en las Tabla 6 y Tabla 7 respectivamente (§ 4.3.3).

2.9.3- Proximidad de fallas activas.

En los casos en que el equipo de diseño del proyecto establezca la proximidad de fallas geológicas activas se modificarán las ordenadas espectrales de diseño.

Se calificarán las fallas activas próximas como Fuentes Sísmicas tipo A, B o C conforme a la Tabla 7. Se determinarán los Factores de Falla Cercana N_a y N_v conforme las Tabla 8 y Tabla 9. Se aplicarán los factores N_a y N_v conforme lo indican la ecuación 3 y ecuación 4. (§ 4.3.3.1).

Tabla 7: Tipo de fuente sísmica.

Tipo de fuente	Descripción	Máxima magnitud-momento	Tasa de corrimiento (mm por año)
A	Fallas geológicas capaces de generar eventos de gran magnitud y con alta tasa de sismicidad.	$M_o \geq 7,0$	$TC \geq 5$
B	Fallas geológicas que no son A o C.	$M_o \geq 7,0$ $M_o < 7,0$ $M_o \geq 6,5$	$TC < 5$ $TC > 2$ $TC < 2$
C	Fallas geológicas incapaces de generar eventos de gran magnitud y que tienen baja tasa de sismicidad.	$M_o < 6,5$	$TC < 2$

NOTA: La magnitud M_o y la TC deben concurrir simultáneamente cuando se califique el tipo de fuente sísmica.

Fuente: (ONN, 2017)

Tabla 8: Factor N_a para períodos cortos de vibración.

Tipo de fuente	Distancia horizontal más cercana a fuente sísmica ¹		
	≤ 2 km	5 km	≥ 10 km
A	1,25	1,12	1,0
B	1,12	1,0	1,0
C	1,0	1,0	1,0

NOTA 1: Tomar la distancia horizontal a la proyección horizontal de la fuente sísmica sobre la superficie; no considerar las porciones del plano de falla cuya profundidad exceda 10 km.

NOTA 2: Utilizar el factor N_a que mayor haya salido al cotejar todas las fuentes relevantes.

Fuente: (ONN, 2017)

Tabla 9: Factor N_v para períodos largos de vibración.

Tipo de fuente	Distancia horizontal más cercana a fuente sísmica ¹			
	≤ 2 km	5 km	10 km	≥ 15 km
A	1,4	1,2	1,1	1,0
B	1,2	1,1	1,0	1,0
C	1,0	1,0	1,0	1,0

NOTA 1: Tomar distancia horizontal a la proyección horizontal de la fuente sísmica sobre la superficie; no considerar las porciones del plano de falla cuya profundidad exceda 10 km.

NOTA 2: Utilizar el factor N_v que mayor haya salido al cotejar todas las fuentes relevantes.

Fuente: (ONN, 2017)

2.10- Construcción de los espectros de diseño.

2.10.1- Factores de escala.

Los siguientes factores de escalado determinan los niveles de diseño:

Sismo ordinario: 10 % probabilidad de ser excedido en 50 años; $K_d = 0,66$

Sismo severo: 5 % probabilidad de ser excedido en 50 años; $K_d = 0,80$

Sismo extremo: 3 % probabilidad de ser excedido en 50 años; $K_d = 1,00$

Sismo mínimo: 20 % probabilidad de ser excedido en 50 años; $K_d = 0,50$ (condición de excepción) (§ 4.5.1).

2.10.2- Espectro calibrado al nivel de diseño requerido.

$$S_{DS} = S_{CS} * K_d \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$S_{D1} = S_{1S} * K_d \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

- K_d dependerá del tipo de sismo (2.10.1)

2.10.3- Períodos de esquina.

$$T_o = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$T_s = 5 * T_o \quad (\text{Ecuación 8})$$

T_L : (Se extrae de la Tabla 1)

2.10.3.1- Período de vibración empírico (T_a).

$$T_a = C_T (h_n)^x \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde:

- h_n : Altura total del edificio en metros.
- $C_T = 0,049$, $x = 0,75$ para sistemas estructurales E1, E3, E4 o E5.
- $C_T = 0,047$, $x = 0,90$ solamente para sistemas estructurales E2 de hormigón armado que sean abiertos o con fachadas de vidrio o paneles livianos y pocas particiones rígidas.
- $C_T = 0,047$, $x = 0,85$ para sistemas E2 de hormigón armado con fachadas rígidas o que no cumplan con el párrafo anterior.
- $C_T = 0,072$, $x = 0,80$ solamente para sistemas estructurales E2 de acero que sean abiertos o con fachadas de vidrio o paneles livianos y pocas particiones rígidas.
- $C_T = 0,072$, $x = 0,75$ para sistemas E2 de acero rigidizados.

2.10.4- Ordenadas espectrales $S_a(T)$.

Las ordenadas espectrales $S_a(T)$ para cualquier período de vibración T se definen por las siguientes expresiones.

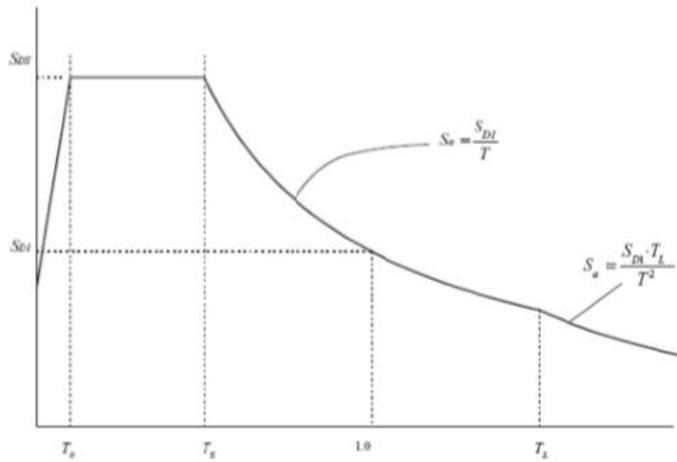
$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_o} \right) \text{ para } T \leq T_o \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$S_a = S_{DS} \text{ para } T_o < T \leq T_s \quad (\text{Ecuación 11})$$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \text{ para } T_s < T \leq T_L \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$S_a = \frac{S_{D1} * T_L}{T^2} \text{ para } T > T_L \quad (\text{Ecuación 13})$$

Aceleración espectral S_a (g)



Periodo en segundos (T)

Figura 6: Espectro de diseño de respuesta sísmica
Fuente: (ONN, 2017)

2.11- Cálculo de las acciones sísmicas.

2.11.1- Sistemas estructurales.

La estructura de una edificación se clasificará conforme a lo especificado a continuación. Cada estructura o cada parte significativa de la misma se clasificarán, en cada dirección de análisis independientemente, en uno de cinco posibles sistemas E1 a E5. (§ 6.1)

Sistema de pórticos (E1)

Es un sistema integrado con pórticos de columnas y vigas que soportan toda la carga vertical y además todas las solicitaciones horizontales. Todos los pórticos deben estar unidos entre sí por diafragmas de piso horizontales. Los pórticos pueden ser de hormigón reforzado o acero estructural. Los pórticos, atendiendo a sus capacidades sismorresistentes, pueden ser especiales, intermedios o, en algunos casos, ordinarios. (§ 6.1.1)

Sistema de muros (E2)

Es un sistema formado por losas actuando como diafragmas en el plano horizontal, sostenidas por muros estructurales. Los muros soportarán todas las solicitaciones horizontales y la parte de las solicitaciones verticales que les correspondan por área tributaria

(que normalmente excederá el 50 % del peso de la estructura). La carga vertical no soportada por los muros podrá ser sostenida por columnas de hormigón armado o acero que no se requiere que tengan la función de resistir solicitaciones horizontales, pero deberán aceptar las acciones inducidas por las derivas laterales de la estructura.

Las losas pueden tener vigas incorporadas o ser planas; las vigas no necesitan tener una función sismorresistente. Los muros estructurales actualmente considerados en esta norma pueden ser de hormigón o mampostería reforzada. Los muros estructurales pueden ser ordinarios o especiales atendiendo a sus capacidades sismorresistentes. (§ 6.1.2)

Sistema combinado de pórticos y muros o pórticos arriostrados (E3)

Es un sistema formado por losas actuando como diafragmas horizontales, sostenidas por una combinación de muros estructurales y pórticos. Las solicitaciones horizontales se reparten entre muros y pórticos en función de sus rigideces en el plano vertical. Las losas pueden tener vigas o ser planas. Las vigas de los pórticos tendrán una función sismorresistente. Algunos pórticos podrán excluirse del sistema sismorresistente pero, deberán aceptar las acciones inducidas por las derivas laterales de la estructura sin menoscabo de su capacidad portante vertical. Los muros estructurales actualmente considerados en esta norma pueden ser de hormigón armado o mampostería reforzada. Los muros estructurales pueden ser ordinarios o especiales atendiendo a sus capacidades sismorresistentes. (§ 6.1.3)

Sistema dual (E4)

El sistema E4 es similar al sistema E3 en todos los aspectos, excepto que deberá contener pórticos especiales cuya capacidad residual será al menos el 25 % de las solicitaciones sísmicas totales considerando el mismo factor R original. La estructura residual tendrá un comportamiento sísmico aceptable. (No excederá las derivas admisibles considerando un factor R para pórtico y un sismo ordinario). Algunos pórticos pueden ser ordinarios, en cuyo caso no se les asigna al sistema sismorresistente. (§ 6.1.4)

Soportes en voladizo (E5-1)

Estructuras de un solo nivel o que constituyen el nivel superior de otras estructuras en las que columnas y/o muros soportan las cargas verticales y también todas las cargas horizontales actuando como voladizos verticales sin acción de pórtico en la dirección de la carga horizontal. La capacidad requerida de momento flector en la cimentación y en la base de la columna de soporte se calculará aplicando el factor de sobre resistencia Ω_r . La demanda axial en la columna, considerando sólo combinaciones de sismo, no excederá 25 % de la resistencia axial concéntrica. (§ 6.1.5)

Péndulo invertido (E5-2)

Es un sistema relativamente esbelto en la dirección de la carga horizontal, que soporta la carga vertical y también las fuerzas horizontales actuando esencialmente como voladizo vertical aislado. Además, más del 50 % de la masa del sistema está concentrada en el extremo superior y la estabilidad lateral de la masa depende de una restricción a momento. La capacidad de momento flector en el extremo del soporte no será menos que 50 % de la capacidad en la base. La capacidad de momento flector en la cimentación y en la base de la columna de soporte se calculará aplicando el factor de sobre resistencia Ω_r . La demanda axial en la columna, considerando sólo combinaciones de sismo, no excederá 15 % de la resistencia axial concéntrica. (§ 6.1.6)

2.12- Parámetros para modelar la respuesta sísmica de los sistemas estructurales.

Las solicitaciones sísmicas para diseñar los elementos de las estructuras y limitar las derivas se calcularán con el auxilio de los factores y coeficientes empíricos que se definen a continuación. (§ 6.2)

Factor R

El Factor Genérico de Reducción de Respuesta Sísmica (R) depende de las características genéricas del sistema estructural seleccionado por los diseñadores. Su valor numérico se especifica en la Tabla 10. (§ 6.2.1)

Factor Ω_r

El Factor de sobre resistencia (Ω_r), se usará para incrementar la resistencia elástica de ciertos componentes críticos de una estructura según se indica en el apartados 6.4.3.2 y el apartado 6.4.3.3. Su valor numérico para cada sistema estructural se especifica en la Tabla 10. (§ 6.2.2)

Factor Cd

El Factor de Amplificación de Desplazamiento Post-elástico (C_d), se utilizará para estimar la máxima deriva elástica que puede incurrir una estructura a partir de la máxima deriva post-elástica admisible por especificación. Su valor numérico para cada sistema estructural se especifica en la Tabla 10 (§ 6.2.3)

Tabla 10: Coeficientes y factores para el diseño de sistemas sismorresistentes

	Sistema estructural	Normas de Referencia	R	Ω_r	C_d	Límite de altura en metros			
						Nivel de Protección Sísmica			
						B	C	D	E
E1	SISTEMA DE PÓRTICOS								
E1- A	Pórticos Tipo A								
	De hormigón armado	NC 207: 2003	6	3	5,5	SL	SL	SL	SL
	De acero estructural	NC 53 - 94: 1983	7	3	5,5	SL	SL	SL	SL

Fuente: (ONN, 2017)

2.12.1- Coeficiente sísmico al límite de cedencia (C_s).

$$C_s = \frac{S_a(T)}{R}$$

Donde:

- $S_a(T)$: Demanda sísmica de diseño para una estructura con período T obtenida del espectro de diseño sísmico y calibrado según la probabilidad de ocurrencia requerida y utilizada aquí como una fracción de g.
- R: Factor de reducción
- T: Período fundamental de vibración de la estructura

2.12.2- Valores mínimos y máximos de Cs.

Se verificará que Cs cumpla con lo siguiente:

Valores mínimos:

$$C_s \geq 0,044 \text{ SDS} \geq 0,01$$

Adicionalmente, para construcciones ubicadas donde S1 es igual o mayor que 0,6 g, el coeficiente Cs no será menor que:

$$C_s \geq 0,5 \text{ S1/R}$$

Valores máximos:

$$C_s \leq \frac{SD1}{T * R}, \text{ para } T \leq T_L$$

$$C_s \leq \frac{SD1}{T^2 * R}, \text{ para } T > T_L$$

(§ 6.7.1.2.1)

2.13- Peso sísmico efectivo (Ws).

El peso Ws incluirá como mínimo la carga permanente (muerta) total de la edificación y el 25 % de la carga de uso (viva) que no califica como reducible. Podrá no incluirse el 25 % de las cargas de uso en estacionamientos, aunque sean no reducibles. Se deberán incluir otras cargas de uso que estén rígidamente ancladas a la estructura (§ 6.6.3)

2.14- Cortante basal al límite de cedencia.

El total de las fuerzas sísmicas equivalentes que actúan sobre la edificación en cada dirección de análisis, se representará por medio del Cortante Estático Equivalente al Límite de Cedencia en la base de la estructura o simplemente Cortante Basal Estático a Cedencia (VB):

$$V_B = C_s * W_s$$

Donde:

- W_s : Parte del peso de la edificación.
- C_s : Coeficiente sísmico de diseño.

2.15- Aceleración Máxima del Suelo (AMS).

Para los casos en que sea necesario estimar la Aceleración Máxima del Suelo del sismo de diseño se utiliza:

$$AMS_D = 0.40 * SDS \quad \text{(Ecuación 13)}$$

2.15.1- Componente vertical del suelo de diseño.

$$S_{vD} = 0.20 * SDS \quad \text{(Ecuación 14)}$$

CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DE LA DE HOJAS DE CÁLCULO DE EXCEL COMO HERRAMIENTA INFORMÁTICA MEDIANTE UN EJEMPLO DE CÁLCULO DONDE SE HACE NECESARIA LA APLICACIÓN DE LA NC 46:2017.

En el presente capítulo se pondrá en práctica mediante un ejemplo de cálculo la herramienta informática para la determinación del cortante basal para la obra caso de estudio: Hotel Chapelín-Taínos en la Península de Hicacos.

Dicha herramienta está conformada por un conjunto de pestañas las cuales están estrechamente relacionadas y en algunos casos existe dependencia entre ellas como se mostró en el flujo del capítulo anterior.

El método de cálculo empleado para el desarrollo de dicha herramienta es el Método de la Carga Sísmica Estática Equivalente que permite que las solicitaciones sísmicas sean modeladas como fuerzas estáticas horizontales (y también verticales) aplicadas externamente a lo alto y ancho de la edificación. La cuantificación de la fuerza equivalente es semi - empírica. Está basada en un espectro de diseño sísmico definido en el Capítulo 4 de la NC 46:2017, la masa "efectiva" de la edificación, las propiedades elásticas de la estructura y el cálculo empírico del período fundamental de vibración de la edificación, según lo definido en este Capítulo. Este método también será un instrumento de calibración. Sus principales resultados se utilizarán como valores de comparación al aplicar cualquiera de los demás métodos para cuantificar las solicitaciones sísmicas. (NC, 2017)

3.1- Microlocalización de la obra caso de estudio.

El área objeto de estudio se encuentra se encuentra situada al noreste de la Cueva del Pirata en Varadero, provincia Matanzas. El Hotel Chapelín-Taínos, pertenece a la llanura sumergida e islas del archipiélago de Sabana ubicada en el litoral norte de la provincia de Matanzas y al Norte se encuentra el Canal Viejo de Bahamas.

Desde el punto de vista de la geología y la tectónica regional, el área se encuentra sobre la plataforma marina cubana emergida, específicamente en la península de Hicacos que estructuralmente pertenece al neoaútctono y que a su vez yace sobre el substrato plegado cubano. (Rodríguez et al., Mayo , 2018)

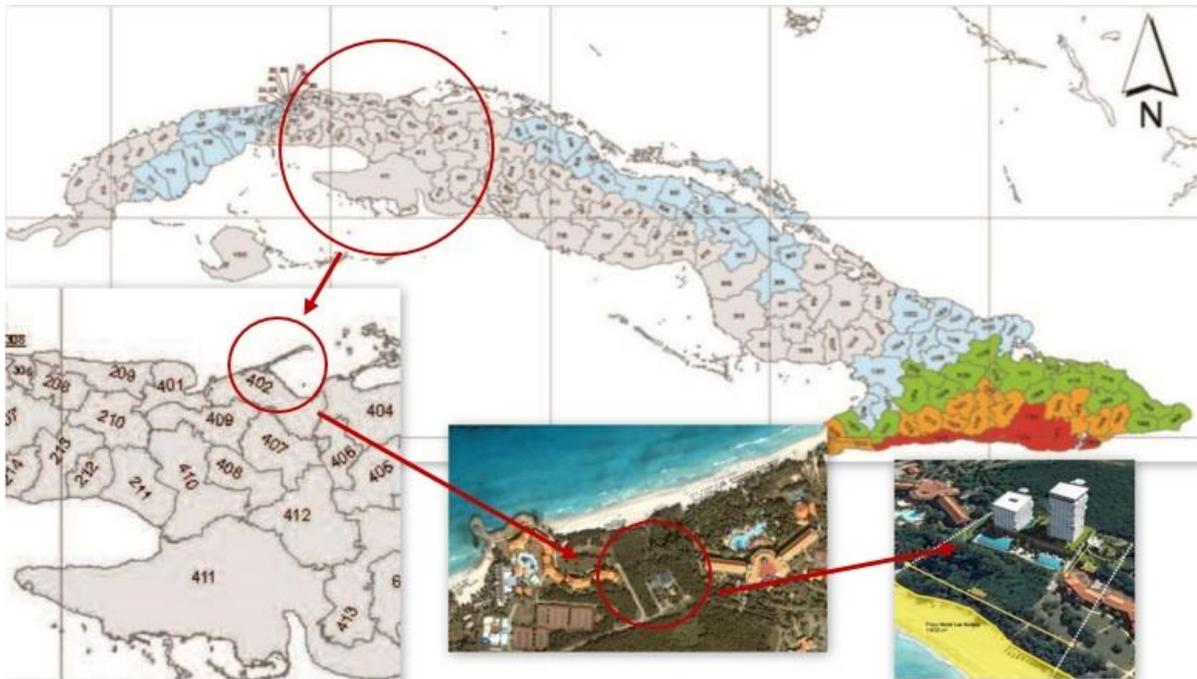


Figura 8: Microlocalización de la Obra Caso de Estudio

Fuente: elaboración propia.

3.2- Procedimiento de Cálculo.

A partir de la creación de la guía y el flujograma realizado en el Capítulo anterior se conformó por parte del tutor y la autora de una Hoja de Excel como herramienta informática que facilitará a los ingenieros el cálculo para la determinación del cortante basal en aquellas obras donde se exija por parte de los inversionista tener en cuenta la NC 46:2017 como lo es el presente caso de estudio en el cual se aplicará dicha herramienta. Todas la tablas que se muestran a continuación son creadas por el autor.

3.3- Determinación de la Zonificación Sísmica.

Para determinar la ubicación de la zona sísmica donde se encuentra la obra podemos ir al Mapa de Zonificación Sísmica (Figura 4) o a la Tabla 1: Peligro sísmico en las diferentes zonas del territorio nacional por municipios. De forma automatizada tras la selección de la provincia y el correspondiente municipio se mostrarán los valores de S_0 , S_s , S_1 t T_L como se muestra a continuación.

Tabla 11: Determinación de Parámetros Iniciales.

Determinación de los Parámetros Iniciales					
Seleccione la Provincia:	Municipios de la provincia seleccionada	Seleccione el Municipio:	Parametros Iniciales		
Matanzas	Matanzas	Varadero	Aceler. Pico p/ T=0 (PGA)	$S_0(g)1 =$	0,145
	Cárdenas		Aceler. espectral horiz. Máx. p/ periodo corto	$S_s(g) =$	0,246
	Varadero		Aceler. espectral horiz. Máx. p/ periodo largo	$S_1(g) =$	0,042
	Martí		Período de transición del período largo	$TL(s) =$	3
	Colón		Zona Sísmica	Zona =	1
	Perico				
	Jovellanos				
	Pedro Betancourt				
	Limonar				
	Unión de Reyes				
	Ciénaga de Zapata				
	Jagüey Grande				
	Calimete				
	Los Arabos				

Fuente: elaboración propia.

3.4- Tipos de sismos de diseño.

Según los datos obtenidos sobre de las características de la obra se plantea que la misma tiene una probabilidad de 10% de ser excedido en un período de 50 años de vida útil correspondiente a un período de retorno de 475 años lo cual según la norma corresponde al sismo básico u ordinario y se plantea que se utiliza para el diseño estructural de Obras Ordinarias pero analizando las características de la obra lo cual se realizará posteriormente se clasifica esta como una Obra Importante de ahí se tome como sismo de diseño el sismo severo el cual tiene un 5 % de probabilidad de ser excedido en un período de 50 años de vida útil correspondiente a un período de retorno de 808 años.

3.5- Determinación de la Categoría Ocupacional de la Obra.

Para determinar la Categoría de la Obra es importante analizar las especificaciones del proyecto y analizar además cual creemos que sea la correcta. En este caso podemos decir que se encuentra en Obras Importante ya que estaríamos en una edificación que cumple con los siguientes aspectos, como se plantea dicha categoría:

- No deben sufrir daños en elementos estructurales y no estructurales, durante la ocurrencia de un sismo severo, de manera que se garantice la integridad de la instalación o edificación y la protección de la población y el medio ambiente.

- Son las que albergan o pueden afectar a más de 300 personas; aquellas donde los ocupantes estén restringidos a desplazarse; en las que se prestan servicios importantes (pero no esenciales después de un desastre) a gran número de personas.
- Se alojen más 300 personas en un mismo salón o más de 3000 personas en la edificación.

Tabla 12: Selección de la Categoría de la Obra.

CATEGORIA DE LAS OBRAS	
Clasificación la categoría de la obra	Importante
Utilitaria	Obras utilitarias
	Construcciones cuyo colapso no induce daños a otras estructuras ni produce pérdidas En caso de duda la obra deberá clasificarse como ordinaria
Ordinaria	Obras ordinarias
	Construcciones de ocupación normal que pueden tolerar daños estructurales que las hagan inoperables como consecuencia de un sismo severo, sin llegar al colapso parcial o desplome, tales como son: bancos, hoteles, edificios de oficinas, apartamentos familiares, edificios públicos y restaurantes, no incluidas en las categorías I, III o IV.
Importante	Obras importantes
	Estas edificaciones no deben sufrir daños en elementos estructurales y no estructurales, durante la ocurrencia de un sismo severo, de manera que se garantice la integridad de la instalación o edificación y la protección de la población y el medio ambiente. Son las que albergan o pueden afectar a más de 300 personas; aquellas donde los ocupantes estén restringidos a desplazarse; en las que se prestan servicios importantes (pero no esenciales después de un desastre) a gran número de personas o entidades, obras que albergan valores culturales reconocidos o equipo de alto costo. En esta categoría están incluidas las siguientes obras, aunque no están limitadas a estas: <ul style="list-style-type: none"> ● Obras y edificaciones gubernamentales que no son esenciales. ● Edificios educativos y guarderías o círculos infantiles. ● Instalaciones de salud que no clasifiquen como esenciales. ● Garajes de vehículos de emergencia ● Prisiones ● Museos ● Todos los edificios de más de 3000 metros cuadrados de área rentable (excluyendo estacionamientos) ● Teatros, cines, templos, auditorios, mercados, restaurantes y similares que alojen más 300 personas en un mismo salón o más de 3000 personas en la edificación. ● Graderíos al aire libre donde pueda haber más de 3000 personas a la vez. ● Obras de infraestructura que no sean esenciales incluyendo subestaciones eléctricas, líneas de alto voltaje, circuitos principales de agua, drenajes colectores, puentes de carretera, centrales de telecomunicaciones. ● Obras en las que hay fabricación y/o almacenamiento de materiales tóxicos, explosivos o inflamables (productos de la petroquímica, ácido sulfhídrico, amoníaco, entre otros)
Esenciales	Obras esenciales
	Son las que deben permanecer esencialmente operativas durante y después de un desastre o evento. No deben sufrir daños estructurales o de otro tipo que las hagan inoperables; o pongan en riesgo a gran cantidad de personas con la ocurrencia de un sismo severo o extremo. Se incluyen en esta categoría las obras especificadas a continuación, aunque no están limitadas a ellas: <ul style="list-style-type: none"> ● Instalaciones de salud con servicios de emergencia, de cuidados intensivos y quirófanos ● Instalaciones de defensa civil, bomberos, policía y de comunicaciones asociadas con la atención de desastres ● Centrales telefónicas, de telecomunicación y de radiodifusión ● Aeropuertos, hangares de aeronaves, estaciones ferroviarias y sistemas masivos de transportes ● Plantas de energía e instalaciones para la operación continua de las obras de esta categoría ● Líneas troncales de transmisión eléctrica y sus centrales de operación y control ● Instalaciones de captación y tratamiento de agua y sus centrales de operación y control ● Estructuras que formen parte de sus sistemas contra incendio ● Puentes sobre carreteras y ferrocarriles de primer orden ● Instalaciones designadas como refugios para emergencias ● Instalaciones de importancia estratégica ● Aquellas obras que las autoridades nacionales competentes declaren como tales y conste así en la tarea de proyecto y en los documentos contractuales de proyecto

Fuente: elaboración propia.

3.6- Nivel de Protección Sísmica.

Para la determinación del NPS basta con entrar a la tabla siguiente facilitando los datos de Clase de Obra y Zona Sísmica definidos anteriormente los cuales se encuentran en color gris, al igual que la Probabilidad de Excedencia en 50 años y el otro color naranja el resultado como que se muestra a continuación.

Tabla 13: Resultados de la selección del Nivel Mínimo de Protección Sísmica.

Zona Sísmica	1	Según hoja de CAT OBRA
Clase de Obra	Importante	Según hoja de PARAM INIC
Nivel Mínimo de Protección Sísmica	A2	Según Tabla 2
Sismo de Diseño (Prob de Excedencia en 50 años)	5	Según Tabla 3

Fuente: elaboración propia.

Tabla 14: Nivel Mínimo de Protección Sísmica.

Zona Sísmica	Clase de Obra			
	Esenciales	Importante	Ordinaria	Utilitaria
	E	E	D	C
4 y 5	E	D	D	C
3	D	C	C	B
1 y 2	C1	A2	A	A
Probabilidad de exceder un sismo de diseño	3% en 50 años	5% en 50 años	10% en 50 años	20% en 50 años

Fuente: elaboración propia.

3.7- Nivel de desempeño sísmico.

Para la determinación del Nivel de desempeño sísmico basta con determinar el nivel de diseño motivados por asuntos económicos y de seguridad entre los que se establecen cuatro niveles: ocupación inmediata, continuidad de operación con daños menores, seguridad de vida y prevención de colapso. En este caso se escogió el Nivel de continuidad de operaciones con daños menores (Operativo) debido a las características de la obra del caso de estudio. Seguidamente se pasa hacer la comprobación en la Tabla de Nivel de Desempeño Sísmico

para realizar la verificación correspondiente de cuál será el sismo de cálculo, ya sea por la categoría de obra o por desempeño.

Tabla 15: Selección del Nivel de Desempeño.

Nivel de Desempeño:	Operativo
Ocupación Inmediata: Supone que la edificación puede seguir operando luego de ocurrido un sismo y los elementos estructurales se mantendrán trabajando en el rango elástico. Los elementos no estructurales y el equipamiento no sufrirán ningún tipo de daño.	
Continuidad de operación con daños menores: Este nivel de diseño supone que la edificación puede seguir operando después de la ocurrencia de un sismo. Los elementos estructurales y el equipamiento no sufrirán daños, aunque los elementos no estructurales podrán tener daños menores.	
Seguridad de vida: Los elementos estructurales pueden sufrir daños localizados en puntos especificados que pueden ser reparables. En todos los casos no se producirán fallas que pongan en el peligro la vida de los ocupantes.	
Prevención de colapso: Se refiere al diseño de las edificaciones en las que se permite que los elementos estructurales y no estructurales puedan sufrir daños importantes sin llegar al colapso. En este caso el nivel de daños en los elementos estructurales es tan importante que no es reparable.	

Fuente: elaboración propia.

Tabla 16: Determinación del Nivel de Desempeño.

Tabla 14 - Niveles de Diseño				
Tipos de sismos de diseño	Nivel de Desempeño Sísmico			
	Ocupación Inmediata	Operativo	Seguridad de vida	Prevención del Colapso
Sismo frecuente 20% en 50 años (PR = 225 Años)	1	4	4	4
Sismo Ordinario 10% en 50 años (PR = 475 Años)	2	1	4	4
Sismo Severo 5% en 50 años (PR = 808 Años)	3	2	1	4
Sismo Extremo 3% en 50 años (PR = 1642 Años)	4	3	2	1

Fuente: elaboración propia.

Tabla 17: Verificación del Nivel de Desempeño.

Sismo de Diseño	5%	Segun Hoja NPS
Categoría de la obra	Importante	Segun Hoja Cat Obra
Verificación	OK	Verificacion segun tabla 14 [NC 46 2017]
Si el desempeño es no aceptable en construcciones nuevas es necesario incrementar el nivel del sismo o la categoria de la obra en la celda de sismo de diseno (3%, 5%, 10% y 20%).		
Criterio de Diseño Sísmico	Por Peligro Sísmico	

Fuente: elaboración propia.

3.8- Selección de parámetros.

3.8.1- Ajuste por clase de sitio y por intensidades sísmicas especiales.

Se determinan los coeficientes S_s y S_1 los cuales se encuentran en la Tabla 1, estos valores salen de forma automática al seleccionar la provincia y el municipio anteriormente, se selecciona el tipo de perfil de suelo en este caso es de tipo C según la información de los estudios de suelo y así, obtendremos los coeficientes F_a y F_v .

Tabla 18: Ajuste por clase de Sitio.

Fa =	1,2				
Clase de sitio	C				
Ss =	0,246				
A	0,8				
B	1				
C	1,20				
D	1,70				
E	2,60				
F	Se requiere evaluacion especifica				

Fuente: elaboración propia.

Tabla 19: Determinación de Parámetros Iniciales.

Fv =	1,56				
Clase de sitio	C				
Ss =	0,246				
A	0,80				
B	1				
C	1,56				
D	1,90				
E	3,02				
F	Se requiere evaluación específica				

Fuente: elaboración propia.

Tabla 20: Cálculo de Ajuste por Clase de Sitio.

4.3.2 Ajuste por clase de sitio				
Coefficiente de sitio para periodos de vibración cortos y se obtiene de la Tabla 3	$F_a =$	1,2	s/d	Segun Hoja SITIO [Tabla 3 NC 46.2017]
S_{cs} es la ordenada espectral del sismo extremo en el sitio de interés para estructuras con periodo de vibración corto.	$S_{cs} = S_s \times F_a =$	0,2952	g	Ec. 1
Coefficiente de sitio para periodos largos y se obtiene de la Tabla 4	$F_v =$	1,56	s/d	Segun Hoja SITIO [Tabla 3 NC 46.2017]
S_{1s} es la ordenada espectral correspondiente a periodos de vibración de 1 segundo	$S_{1s} = S_1 \times F_v =$	0,065357721	g	Ec. 2

Fuente: elaboración propia.

3.8.2- Ajuste por intensidades sísmicas especiales.

En el caso específico de la obra caso de estudio la misma se encuentra próxima a la Falla Hicacos, considerando que el tipo de fuente sísmica es C: Fallas geológicas incapaces de generar eventos de gran magnitud y que tienen baja tasa de sismicidad y se tendrá en cuenta que la distancia a la que se encuentra será ≤ 2 Km.

Tabla 21: Selección del Tipo de Fuente Sísmica.

Tabla 5 — Tipo de fuente sísmica			
Seleccione el tipo de fuente :		C	
Tipo de fuente	Descripción	Máxima magnitud - momento	Tasa de corrimiento (mm por año)
A	Fallas geológicas capaces de generar eventos de gran magnitud y con alta tasa de sismicidad	$M_o \geq 7,0$	$TC \geq 5$
B	Fallas geológicas que no son A o C.	$M_o \geq 7,0$ $M_o < 7,0$ $M_o \geq 6,5$	$TC < 5$ $TC > 2$ $TC < 2$
C	Fallas geológicas incapaces de generar eventos de gran magnitud y que tienen baja tasa de sismicidad.	$M_o < 6,5$	$TC < 2$

Fuente: elaboración propia.

Tabla 22: Selección de Parámetros para la determinación de N_a .

Tabla 6 — Factor N_a para periodos cortos de vibración			
Seleccione la Distancia:		≤ 2 km	
Factor $N_a =$		1,00	
Tipo de fuente =		C	
Tipo de fuente	Distancia horizontal más cercana a fuente sísmica ¹		
	≤ 2 km	5 km	≥ 10 km
A	1,25	1,12	1,00
B	1,12	1,00	1,00
C	1,00	1,00	1,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla 23: : Selección de Parámetros para la determinación de N_v .

Tabla 7 — Factor N_v para periodos largos de vibración				
Seleccione la Distancia:		≤ 2 km		
Factor N_v =		1,00		
Tipo de fuente =		C		
Tipo de fuente	Distancia horizontal más cercana a fuente sísmica ¹			
	≤ 2 km	5 km	10 km	≥ 15 km
A	1,40	1,20	1,10	1,00
B	1,20	1,10	1,00	1,00
C	1,00	1,00	1,00	1,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla 24: Cálculo de Ajuste por Proximidad a Fallas Activas.

4.3.3.1 Proximidad de fallas activas				
Factor N_a para periodos cortos de vibración	$N_a =$	1,00	s/d	Segun Hoja Aj Sism [Tabla 6 NC 46.2017]
S _{cs} : ordenada espectral del sismo extremo en el sitio de interés para estructuras con período de vibración corto	$S_{cs} = S_s \times F_a \times N_a =$	0,2952	g	Ec. 3
Factor N_v para periodos largos de vibración	$N_v =$	1,00	s/d	Segun Hoja Aj Sism [Tabla 7 NC 46.2017]
S _{1s} : ordenada espectral correspondiente a periodos de vibración de 1 segundo.	$S_{1s} = S_1 \times F_v \times N_v =$	0,065357721	g	Ec. 4

Fuente: elaboración propia.

3.9- Construcción de los espectros de diseño.

3.9.1- Factores de escala.

Al estar en el caso específico de un sismo severo: 5 % probabilidad de ser excedido en 50 años el valor correspondiente a K_d es 0,80 según establece la norma.

Tabla 25: Selección del Factor de Escala.

4.5 Construcción de los espectros de diseño $S_a(T)$				
4.5.1 Factores de escala				
5.5 Clasificación de obras	Importante			Segun Hoja Cat Obra [§5.5 NC 46.2017]
4.2.1 Tipos de sismos de diseño	Sismo Severo			Segun Hoja NPS [Tabla 2 NC 46.2017]
Sismo ordinario – 10 % probabilidad de ser excedido en 50 años; $K_d = 0.66$	$K_d = 0,8$		s/d	Segun [§4.2.1 NC 46.2017]
Sismo severo – 5 % probabilidad de ser excedido en 50 años; $K_d = 0.80$				
Sismo extremo – 3 % probabilidad de ser excedido en 50 años; $K_d = 1.00$				
Sismo mínimo – 20 % probabilidad de ser excedido en 50 años; $K_d = 0.50$. (condición de excepción)				

Fuente: elaboración propia.

3.9.2- Espectro calibrado al nivel de diseño requerido.

Tras haber seleccionado el valor de K_d y haber obtenido anteriormente los valores de S_{CS} y S_{IS} mediante esta tabla se obtendrán los valores de S_{DS} y S_{D1} .

Tabla 26: Cálculo del Espectro Calibrado al Nivel de Diseño Requerido.

4.5.2 Espectro calibrado al nivel de diseño requerido				
Aceleración espectral de diseño para periodo corto	$S_{DS} = S_{CS} \times K_d =$	0,236	g	Ec. 9
Aceleración espectral para periodos largo	$S_{D1} = S_{IS} \times K_d =$	0,052	g	Ec. 10

Fuente: elaboración propia.

3.9.3- Períodos de esquina.

La próxima tabla permitirá obtener los valores de los períodos de esquina del espectro obtenidos a partir de los valores obtenidos de la aceleración espectral de diseño para períodos corto y largo y muestra el valor del período de transición del período largo.

Tabla 27: Cálculo de los Períodos de Esquina.

4.5.2.1 Períodos de esquina				
T_o y T_s : Períodos de esquina del espectro	$T_o = 0.2 S_{D1} / S_{DS} =$	0,044	seg	Ec. 11
	$T_s = S_{D1} / S_{DS} = 5T_o =$	0,221	seg	Ec. 12
Periodo de transición del periodo largo	$T_L =$	3	seg	Segun Hoja PARAM INIC [Tabla 1 NC 46.2017]

Fuente: elaboración propia.

3.9.3.1- Período de vibración empírico (Ta).

Para el cálculo del período de vibración empírico (Ta) se necesita la altura de la edificación, que en el caso de la obra objeto de estudio es 59 metros, el tipo de estructura: E1-A1 (Sistema de pórtico de hormigón armado) y el valor de Ct y x serán establecidos según el sistema estructural.

Tabla 28: Cálculo del Período de vibración Empírico.

6.7.1.4 Período de vibración empírico (Ta)				
Altura del edificio	$h_{ed} =$	59	m	Segun datos de portada
Tipo de Estructura		E1	s/d	Segun hoja EST
Coeficientes de la ecuacion 22	$C_T =$	0,049	s/d	Segun §6.7.1.4.1
	$x =$	0,75	s/d	
Periodo de vibración empírico	$T_a = C_T(h_{ed})^x =$	1,04	seg	Ec. 21

Fuente: elaboración propia.

3.9.4- Ordenadas espectrales Sa (T).

Luego de establecer las comparaciones entre los períodos de vibración finalmente obtenemos el valor de la ordenada espectral y se pudo determinar el comportamiento del gráfico del espectro de diseño de respuesta sísmica como se muestra a continuación.

Tabla 29: Cálculo de las Ordenadas Espectrales.

4.5.2.2 Ordenadas espectrales				
Las ordenadas espectrales Sa (T) para cualquier periodo de vibración T se definen por las siguientes expresiones:				
$T \leq T_0 =$	$s_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) =$	3,43	g	Ec. 13
$T_0 < T \leq T_S =$	$S_a = S_{DS} =$	0,24		Ec. 14
$T_S < T \leq T_L =$	$S_a = S_{D1} / T =$	0,05		Ec. 15
$T > T_L =$	$S_a = S_{D1} T_L / T^2 =$	0,14		Ec. 16
Periodo de vibración empírico	$T =$	1,04	seg	Ec.21
Ordenada Espectral	$S_a(T)$	0,050	g	Ec. 15

Fuente: elaboración propia.

3.10- Coeficiente sísmico al límite de cedencia (Cs).

$$C_s = \frac{S_a(T)}{R}$$

Para la determinación de este coeficiente se hace necesario la determinación del valor de R el cual se encuentra tabulado en dependencia del sistema estructural y así finalmente se podrá obtener el coeficiente sísmico al límite de cedencia.

Tabla 30: Selección de coeficientes y factores para el diseño de sistemas sismorresistentes.

6.2 Parámetros para modelar la respuesta sísmica de los sistemas estructurales				
Las solicitaciones sísmicas para diseñar los elementos de las estructuras y limitar las derivas se calcularán con el auxilio de los factores y coeficientes empíricos que se definen en esta sección				
Coeficientes y factores para el diseño de sistemas sismos resistentes				
SISTEMA DE PÓRTICOS			E1	
De hormigón armado			E1-A1	Tabla 10
Norma de Referencia	NC-207:2003			Tabla 10
6.2.1 Factor Genérico de Reducción de Respuesta Sísmica	R =	6,00	s/d	Tabla 10
6.2.2 Factor de sobre resistencia	$\Omega_r =$	3,00	s/d	Tabla 10
6.2.3 Factor de Amplificación de Desplazamiento Post-elástico	$C_d =$	5,50	s/d	Tabla 10
6.2.4 Factor de Redundancia	$\rho =$	1,00	s/d	6.5.1
Limite de altura	Sin Limite de Altura =	SL	s/d	Tabla 10

Fuente: elaboración propia.

Tabla 31: Cálculo del Coeficiente Sísmico al límite de Cedencia.

6.7.1.2	Coef. sísmico al límite de cedencia	$C_s = S_a(T) / R =$	0,008354	s/d
---------	-------------------------------------	----------------------	----------	-----

Fuente: elaboración propia.

3.10.1- Valores mínimos y máximos de Cs.

Se verificará que Cs cumpla con lo siguiente:

Valores mínimos:

$$C_s \geq 0,044 \text{ SDS} \geq 0,01$$

$$0,0083 \leq 0,01038 \geq 0,01$$

Al no cumplirse la condición se tomará entonces como valor de Cs 0.01.

Valores máximos:

$$C_s \leq \frac{SD1}{T * R}, \text{ para } T \leq T_L$$

$$C_s \leq \frac{SD1}{T^2 * R}, \text{ para } T > T_L$$

Como $T_L = 3$ y $T = 1.04$ se tomará:

$$C_s \leq \frac{SD1}{T * R}, \text{ para } T \leq T_L$$

$0.0083 \leq 0.008333$ Cumple

3.11- Peso sísmico efectivo (W_s).

El peso de la estructura según los datos de la obra es 18750 T.

3.12- Cortante basal al límite de cedencia.

Tabla 32: Cálculo del Cortante Basal al Límite de Cedencia

Cortante basal al límite de cedencia	$V_B = C_s W_s =$ 156,640
--------------------------------------	---------------------------

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones Parciales

- Se aplica la herramienta informática para la determinación del cálculo correspondiente al cortante basal en el proyecto Hotel Chapelín-Taínos llevado a cabo por la EMPAI.
- Se empleó el análisis por desempeño y se verificó el correcto funcionamiento de la herramienta.

CONCLUSIONES

1. Se realizó un análisis de las principales normas sísmicas internacionales que sirvieron como base para la elaboración de la actualización de la norma de sismo cubana NC 46:2017 la cual sigue fundamentalmente similares pasos a norma sísmica americana ASCE 7-10.
2. Se confeccionó un flujo permitiendo determinar una secuencia organizada de pasos para poder desarrollar la herramienta informática que permite la obtención del cortante basal teniendo en cuenta el análisis por desempeño.
3. Se aplicó la herramienta de cálculo al proyecto Hotel Chapelín-Taínos el cual se realiza en la EMPAI teniendo en cuenta las características sismológicas de la zona donde se encuentra enclavada dicha obra.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a la EMPAI y al resto de las empresas de proyecto el empleo de la herramienta para facilitar el trabajo de los ingenieros ante el análisis y el cálculo de la carga sísmica.
2. La divulgación de este trabajo con el fin de que se conozcan la necesidad de tener en cuenta este tipo de fenómeno sobre todo en aquellas zonas en que estén presentes fallas activas o zonas sismogeneradoras.

BIBLIOGRAFÍA

(NC), O. N. D. N. 2006. NC 450:2006. Edificaciones. Factores de carga o ponderación. Combinaciones. Calle E No. 261 El Vedado, La Habana. Cuba: Comité Técnico de Normalización.

Alvarez, L., Villalón, M. & Lindholm, C. 2015. “Peligrosidad y riesgo sísmicos en Cuba y las regiones circundantes”.

Architects, G. L. & Group, L. 2008. Seismic Design Principles.

Arias, M. C. 2014. Sismos en el Centro-Occidente cubano: poco frecuentes, pero ciertos.

Barbat Barbat, H. A., Oller Martínez, S. H. & Vielma, C. C. 2005. Cálculo y diseño sismorresistente de edificios: aplicación de la norma NCSE-02, Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria (CIMNE).

Based on ASCE 7-05. 2007. Determination of seismic design category.

Calvo, O. & Peregrín, M. 2014 Sismos de enero, ¿luz roja para Cuba?.

Camacho, H., Ronquillo, R. & Orta, y. 2014. Reportan primer sismo perceptible del 2014 en Cuba.

Cotilla, M. O. & Alvarez, J. L. 2010. Regularidades sismogénicas de la unidad neotectónica occidental de Cuba.

Crouse, C. B., Leyendecker, E. V., Power, P. G. S. & Silva, W. J. 2006. Development of seismic ground-motion criteria for the ASCE 7 standard.

Engineers, A. S. O. C. 2010. ASCE/SEI 7–10. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers.

González, L. A. 2013 Caracterización sismológica de la provincia de Matanzas. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.

Llanos, M. P. C. 2000. Métodos para la inversión del tensor momento sísmico. Terremotos del sur de España. Fundación J. García-Siñeriz [online].

Mecánica, c. D. M. E. I. 1998. EUROCÓDIGO 8. C/ José Gutiérrez Abascal, 2; 28006 – Madrid.

Mestre, I. F. C. 2010. Metodología para la evaluación de la seguridad sísmica de los edificios de hormigón armado.

NC:46, O. N. D. N. 2017. NC 46:2017. Construcciones sismorresistentes — requisitos básicos para el diseño y construcción.

P. Fajfar. 1993. Seismic demand in short-period structures.

Rodríguez, D. C. T. J. C., Cornier, I. L. F. C. & Verdeja, L. R. O. 2018. Evaluación de la peligrosidad sísmica para la zona de emplazamiento del hotel Chapelín, en Varadero, Matanzas.

Rodríguez, L. D. L. C. M. & Burón, C. L. 2016 algunos comentarios con relación a la nueva propuesta de norma sismorresistente. Revista de arquitectura e ingeniería.

Sánchez, F. V. 2010. Los terremotos y sus causas.

Urbanismo, M. D. V. Y. 2017. Normativa antisísmica en Chile reglamentación y normas.