

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE
INGENIERÍA CIVIL



TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Análisis y Diseño de Edificios Resistentes a Fuerzas de Tsunamis Generados por Eventos Sismicos, Aplicación de Normas U.S. y Japonesas

Presentado por:

Bach. Oscar DIAZ YARANGA

Dirigido por:

Msc. Ing. Rubén Américo Yachapa Condeña

AYACUCHO - PERÚ

Octubre 2018

PRESENTACIÓN

La presentación de la tesis lleva por título *Análisis y Diseño de Edificios Resistentes a Fuerzas de Tsunamis generados por eventos Sísmicos, Aplicación de las Normas U.S. y Japonesas* como una Contribución en la Investigación de la Ingeniería Estructural, a la vez forma parte de los requisitos para optar el título académico de Ingeniero Civil, el mismo que fue desarrollado entre el periodo de los años 2017-2018.

Diaz Yaranga, Oscar

wody0827@hotmail.com

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

Ayacucho, Septiembre 2018

DEDICATORIA

A mi madre María YARANGA AQUISE, a mis mellizos Zhamir y Adehir, y a mi amor Haydee PEREZ GAMBOA.

EPÍGRAFE

El agua es la cosa más suave, y aun así puede penetrar montañas y tierra. Esto muestra claramente el principio de que la suavidad supera a la dureza. Lao Tsé

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi madre MARÍA YARANGA DOLORES por su incansable labor y lucha por forjar mi desarrollo personal y formación profesional.

A Haydee PEREZ GAMBOA por su apoyo incondicional, y sugerencias ya que sin su insistente presión no hubiera sido posible el inicio de la tesis y su desarrollo.

A mis suegros BRAULIO y LUCILA por el apoyo brindado en momentos en que cursaba ciclos en la Universidad.

A mis hermanos DENIR Y JESUS por su apoyo incondicional.

Al MSc. Ing. Rubén YACHAPA CONDEÑA, por sus apreciadas sugerencias y recomendaciones en el desarrollo de la tesis.

Al MSc. Ing. Jorge Morales Tovar del CISMID, por su gran apoyo en compartir información valiosa, recomendaciones y sugerencias para el desarrollo de la tesis.

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, alma máter, del cual me siento muy orgulloso por la estadía durante mis años de formación universitaria.

RESUMEN

La presente tesis desarrolla el análisis y diseño de edificios de concreto armado resistentes a fuerzas de Tsunamis en la región del Perú, el desarrollo comprende el estudio del fenómeno Tsunami en sus tres fases (generación, propagación e inundación), definición de cargas y consideraciones estructurales por efectos de Tsunami las cuales se sustentan en normativas y manuales de instituciones de los Estados Unidos, tal es el caso del FEMA-P646 (Federal Emergency management Agency), los Standares del ASCE (American Society Civil Engineers, ASCE24-14 y ASCE 7-16) y organismos del Japón como: el BRI (Building Research Institute), NILIM (National Institute Land and Infraestructure Management), IIS (Institute Industrial Sciencie) asi como programas de cooperación como el UJNR (US/Japan Cooperative Program in Natural Resources); finalmente se desarrolla la aplicación del análisis y diseño completo de un edificio de evacuación vertical ubicado en el distrito de Chorrillos, Lima-Perú.

Para la obtención de las cargas del Tsunami, fue necesario contar con parámetros físicos de un Tsunami como la velocidad de onda, altura máxima de inundación, entre otros, para ello se recurrió a los estudios realizados del Peligro de Tsunami en el PROYECTO JAPON-PERU-SATREPS (Fortalecimiento de Tecnología para mitigación de desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú-PREVAED-PP068) de la Asociación de Investigación en ciencia y tecnología para el desarrollo Sostenible por sus siglas en ingles SATREPS(2013-2014) (Science and Tecnology Research Partnership for Sustainable Development), la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN) del Perú.

Palabras claves Tsunami, Evento Sísmico, Altura de Ola, velocidad de Ola.

ABSTRACT

This thesis develops the analysis and design of reinforced concrete buildings resistant to tsunamis in the region of Peru, the development includes the study of the Tsunami phenomenon in its three phases (generation, propagation and flooding), definition of loads and structural structures by effects of Tsunami which are based on the regulations and manuals of the United States, such as the FEMA-P646 (Federal Agency for Emergency Management), the Standards of the ASCE (American Society of Civil Engineers, ASCE24-14 and ASCE 7 -16) and organisms from Japan such as: the BRI (Building Research Institute), NILIM (National Institute of Land and Infrastructure Management), IIS (Institute of Industrial Sciences) as well as cooperation programs such as the UJNR (Program United States / Japan Cooperative on Natural Resources); Finally, the application of the analysis and design of the vertical evacuation unit was developed in the district of Chorrillos, Lima-Perú.

To obtain the Tsunami loads, it was necessary to have physical parameters of a Tsunami such as wave speed, maximum flood height, among others, for this, the studies carried out on the Tsunami Hazard in the JAPAN-PERU PROJECT were used. -SATREPS (Strengthening of Technology for Earthquake and Tsunami Disaster Mitigation in Peru-PREVAED-PP068) of the Science and Technology Research Association for Sustainable Development (SATREPS) (2013-2014) (Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development), the Directorate of Hydrography and Navigation (DHN).

Keywords Tsunami, Seismic Event, Wave Height, Wave speed.

Índice general

ÍNDICE GENERAL

PRESENTACIÓN	I
DEDICATORIA	II
EPÍGRAFE	III
AGRADECIMIENTOS	IV
RESUMEN	V
Lista de Siglas	XV
Unidades	XVII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Justificación	2
1.2.1. Justificación Teórica	2
1.2.2. Justificación Práctica	2
1.3. Importancia	2
1.4. Objetivos de la tesis	3
1.4.1. Objetivo general	3

1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Organización de la tesis	3
2. ESTADO DEL ARTE	5
2.1. Introducción	5
2.2. Definición de Tsunami	5
2.2.1. Distribución Global y fuentes de generación de Tsunamis	6
2.3. Clasificación de los Tsunamis	7
2.3.1. Tsunami de origen cercano	8
2.3.2. Tsunami de Origen Lejano	8
2.4. Condiciones para la generación de Tsunamis	8
2.5. Parámetros Hidrodinámicos de un Tsunami	9
2.6. Fases de un Tsunami	13
2.6.1. Generación	14
2.6.2. Propagación	16
2.6.3. Inundación	16
3. EVALUACIÓN DE PELIGRO DE TSUNAMIS	18
3.1. Introducción	18
3.2. Modelaje de Tsunamis y modelaje actual	18
3.3. Procesos para la evaluación de Peligro de Tsunamis	20
3.4. Trabajo Previo y Recolección de Antecedentes Topobatimétricos.	20
3.5. Determinación del Evento Tsunamigénico.	21
3.6. Modelado Numérico y Postproceso,	22
3.6.1. Teoría de Aguas Someras	22
3.6.2. Simulación numérica de Tsunami	23
3.6.3. Propagación e Inundación de Tsunami	24
4. REQUISITOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL PARA EDIFICIOS DE EVA- CUACIÓN DE TSUNAMIS EN EL JAPÓN	27
4.1. Introducción	27
4.2. Principios de Diseño y Directrices Intermedias	27

4.3. Principales Problemas para el Diseño Estructural de Edificios de Evacuación de Tsunami	30
4.3.1. La presión de las olas del tsunami y su perfil	30
4.3.2. La Fuerza de Tsunamis Actúa sobre Componentes	33
4.3.3. Efectos de Flotabilidad	35
4.3.4. Diseño de componentes	36
4.3.5. Impacto de Escombros	37
4.3.6. Efectos de Socavación	38
4.4. Dimensión Estructural y Resistencia Necesaria para Edificios de Tsunami . .	38
5. EL ASCE 7 ESTANDAR DE DISEÑO EFECTOS Y CARGAS DE TSUNAMI PARA LOS EE.UU.	41
5.1. Introducción	41
5.2. Organización de los efectos y cargas de Tsunamis-Capítulo 6 ASCE7-16 . . .	42
5.3. Categorías de Riesgo de Tsunami	42
5.4. Análisis Probabilístico de Tsunami	44
5.5. Análisis de la Velocidad y Profundidad de Diseño	45
5.6. Procedimientos de Diseño para efectos de Tsunami	46
5.6.1. Combinaciones de Carga	47
5.6.2. Cargas y Efectos Estructurales	48
5.6.3. Cargas Hidrostáticas	48
5.6.4. Cargas Hidrodinámicas	48
5.6.5. Regiones de Peligro de Impacto de escombros	49
5.6.6. Diseño de Fundaciones	50
5.6.7. Fundación y Contramedidas Estructurales para las Cargas y los Efectos del Tsunami	52
5.6.8. Estructuras Verticales de Refugio de Evacuación	52
5.6.9. Diseño de Componentes y Sistemas no Estructurales	53
5.6.10. Estructuras no Edificables	53

6. EJEMPLO DE APLICACIÓN: ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN EDIFICIO ANTE FUERZAS DE TSUNAMIS	55
6.1. Introducción	55
6.2. Información General	56
6.3. Configuración Estructural	57
6.4. Características de los Materiales	58
6.5. Cargas Unitarias y Sobrecargas	58
6.6. Cálculo Sísmico de la Estructura	59
6.6.1. Parámetros de diseño sísmico	59
6.6.2. Modelado de la Estructura	59
6.6.3. Resultados del Análisis Estático y Dinámico	60
6.7. Análisis ante cargas de tsunamis	64
6.7.1. Determinación de la Altura de Inundación de Diseño de Tsunami	65
6.7.2. Cálculo de la Presión y Cargas de Tsunami	66
6.7.3. Resultados de cargas de Tsunami	69
6.7.4. Esfuerzos generados en la Estructura	70
6.8. Diseño de Elementos	72
6.8.1. Combinaciones de cargas	72
6.8.2. Diseño por flexo compresión	74
6.8.3. Diseño por flexocompresión	74
6.8.4. Diseño por corte	75
7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	76
7.1. Conclusiones	76
7.1.1. Sobre el análisis de Diseño Sísmico	76
7.1.2. Sobre el análisis de efectos y cargas de Tsunami	76
7.1.3. Sobre el Diseño de los elementos de la Superestructura	77
7.1.4. Sobre el Diseño de los elementos de la Sub-estructura	77
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
8.1. Conclusiones	78

8.2. Recomendaciones 78

Bibliografía **87**

Índice de figuras

2.1. Distribucion Global de Tsunamis.Fuente: NOAA,2017	7
2.2. Distribucion de Tsunamis por mecanismo de generacion. Fuente NOAA,2017	7
2.3. Definición de variables hidrodinámicas relevantes en la inundación.Fuente: satreps Chile, Vol 1.	9
2.4. Definición de parámetros que definen una onda de tsunami (Mareógrafo de Coquimbo, 16 de Septiembre de 2015.Fuente: satreps Chile, Vol 1.	10
2.5. Parámetros de la fuente sísmica. Adaptado de AKI (2002)	15
3.1. Parametros necesarios para el modelo de Okada. Figura original de Seth and Wyssession (2002) (Fuente: Morales,2008)	24
3.2. a) Inundación por Tsunami usando la primera fuente de escenario sísmico. b) Inundación por Tsunami usando la segunda fuente de escenario sísmico Fuente: Adriano et al.,2012)	25
4.1. Procedimiento general de diseño estructural. (Fuente de NILIM 2012)	29
4.2. Distribución de presiones de diseño. (Fuente de NILIM 2012)	31
4.3. Coeficiente de profundidad del agua a considerando las estructuras de disi- pación de energía y la distancia desde la costa o ribera. (Fuente IIS UTokyo 2011)	33
4.4. Relación entre la fuerza de corte de la base y la relación de área de las aber- turas. (Fuente: Okuda et al. 2008)	34
4.5. Supuestos de flotabilidad en las Directrices 2011. (después de NILIM 2012) .	36

5.1. Ilustración de las definiciones clave a lo largo de un trayecto de flujo en una zona de diseño de tsunami.Fuente ASCE 7-16	46
5.2. Ilustración de Determinación de la Región de Peligro de Impacto de Escombros Flotantes. Fuente ASCE 7-16	50
5.3. Esquema de la condición de carga de tsunami para una fundación o elemento de cimentación. Fuente ASCE 7-16	52
5.4. Mínima Elevación de Refugio y Inundación de Diseño. Fuente ASCE 7-16	53
6.1. Ubicación y Localización del Proyecto. Fuente: Elaboración Propia	56
6.2. Planta de Edificio sujeto de cargas de tsunami	57
6.3. Muestra Planta y 3D del modelado de la Estructura en el ETABS	60
6.4. Procedimiento general de diseño estructural. (Fuente de NILIM 2012)	64
6.5. Mapa de Inundación para la Zona de Villa Chorrillos y Lurín. Fuente DHN	65
6.6. Imagen satelital para la zona de Villa - Chorrillos. La inundación máxima está en color azul para el evento sísmico de 9.0 Mw.Fuente.DHN	66
6.7. Cuadro Muestra fuerzas de Tsunami para altura de Inundación de $h=10m$ y $a=3$	68
6.9. Distribución de Cargas de Tsunami para altura de Inundación de $h=10m$ y $a=3$	68
6.8. Distribución de presiones de Tsunami para altura de Inundación de $h=10m$ y $a=3$	69
6.10. Fuerzas cortantes por pisos	71
6.11. Momentos de Volteo en la Base.	71
6.12. Combinaciones de Carga para el caso sísmico	73
6.13. Combinaciones de Carga para caso de Tsunami	74

Índice de cuadros

4.1. Coeficiente de profundidad del agua a.	32
4.2. Coeficiente de corte en la base requerido CBY en dirección corta y longitud de construcción en dirección larga bajo diferentes combinaciones de coeficiente de profundidad de agua a y profundidad de inundación h.	40
5.1. Temas de sección y materias de Chapter 6 Cargas y efectos de Tsunami. Adaptado de ASCE 7-16	43
6.1. Muestra Peso del edificio y cortante basal Mínimo del Análisis Estático	60
6.2. Muestra Peso del edificio y cortante basal del Análisis Dinámico	60
6.3. Muestra relación entre $Drift_{Max}/Drift_{CM}$ X-X para el control de la irregularidad Torsional	61
6.4. Muestra relación entre $Drift_{Max}/Drift_{CM}$ Y-Y para el control de la irregularidad Torsional	62
6.5. Muestra la deriva máxima de entrepiso en X-X del análisis Dinámico	63
6.6. Muestra la deriva máxima de entrepiso en Y-Y del análisis Dinámico	63
6.7. Muestra el cortante basal para las alturas 5m, 7m y 10m.y $a=2$, $a=3$	69
6.8. Muestra los coeficientes sísmicos C_{by}	70
8.1. Fuente: 1) Silgado, E. (1978); Dorbath, L., Cisternas, A. (1990); 2) Lockridge, 1985; 3) Historical Tsunami Data Base (HTDB/NOAA), 2001; 4) Burgeois et al., 1999, 5) Lomnitz y Cabre, 1968, 6) NEIC, 1996, 7) Okal et al., (2002). 8) Fritz et al., (2008). (*) Datos (i) instrumentados; (r) referenciales.	81

Lista de Siglas

Sigla	Descripción
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
DART	Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis
FEMA	Federal Emergency Management Agency
PAMEL	Pacific Marine Environmental Laboratory
NTHMP	National Tsunami Hazard Mitigation Program
NEHRP	National Earthquake Hazards Reduction Program
NEIC	National Earthquake Information Center
USGS	United States Geological Survey)
GEBCO	General Bathymetric Chart of the Oceans
ASCE	American Society Civil Engineers
SATREPS	Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development
J-SHIS	Japan Seismic Hazard Information Station
BRI	National Institute for Land and Infraestructure Management
IIS	Institute Industrial Science
UJNR	Unit States/Japan Cooperative Program Natural Research
JST	Japan Science Tecnology
JICA	Japan International Cooperation Agency
IGP	Instituto Geofísico del Perú.
CISMID	Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación

de Desastres.

DHN

Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú.

CENEPRED

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres.

APCI

Agencia Peruana de Cooperación Internacional

Unidades

Unidad	Descripción
mm	Milimetro
cm	Centimetro
m	Metro
s	Segundo
min	Minuto
kg	kilogramo
Tn	Tonelada
N	Newton
KN	Kilo Newton (10^3 N)
KPa	Kilo-Pascal (10^3 Pa)
GPa	Giga-Pascal (10^9 Pa)
MPa	Mega-Pascal (10^6 Pa)
h	hora
°C	Grado Centígrado.

INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

En la actualidad y en tiempos remotos la tierra no ha dejado de estar en constante actividad interna, debido a ello y por la presencia de fracturas de la corteza terrestre denominadas placas tectónicas estas están en constante movimiento y ello genera la colisión, subducción, divergencia o fractura entre estas mismas, dando como consecuencia el origen de los temblores, terremotos y consecuentes a estos últimos se generan los tsunamis.

El Perú por pertenecer a unas de las zonas de mayor sismicidad denominada Cinturón Circumpacífico y por estar cerca de la interacción de las placas Nazca y Sudamericana, está en constante peligro sísmico debido a que durante la historia sísmica fue sometida a sismos de grandes magnitudes siendo estos superiores a los 7.5 Mw.

Históricamente los sismos ocurridos en el Perú y específicamente la costa limeña han estado en un silencio sísmico y por ello en la actualidad se espera un evento sísmico de grandes magnitudes que desate grandes desastres en la población y consecuentemente existe la posibilidad de que se generen Tsunamis de olas de gran altura.

Los tsunamis como evento consecuente de un sismo es un fenómeno complejo pues entraña la dinámica de varios elementos, tal es el caso de las fuerzas hidrodinámicas de las olas, los escombros que acarrea el flujo y la variabilidad de fenómenos que trascienden cuando una estructura se encuentra frente a fuerzas de esta naturaleza.

Tal vez la poca frecuencia ocurrida de estos fenómenos haya hecho que no existan grandes avances en la literatura normativa peruana para poder abordar puntualmente el tema y tener consideraciones para el análisis de edificios costero y evitar posibles tragedias en nuestras

costas.

1.2. Justificación

1.2.1. Justificación Teórica

En la actualidad debido al crecimiento poblacional en el litoral peruano se han edificado construcciones ya sean estos de viviendas, clubes, centros de esparcimiento entre otros que albergan gran cantidad de personas y por otro lado la Normativa Peruana especialmente la norma E-030 no contempla en ninguno de sus artículos las consideraciones que se debería tener para el buen análisis y diseño de las edificaciones en el litoral que sean capaces de resistir las distintas fuerzas de un tsunami.

1.2.2. Justificación Práctica

Debido a la precariedad de una reglamentación en el Perú acerca de eventos de tsunamis, se hace necesario dar un vistazo a las normativas de los U.S. y del Japón para tomar las consideraciones que estas tienen para el análisis de las edificaciones y dependiendo de las factores tomados según las condiciones de sitio, peligro sísmico y condiciones topográficas conseguir similitudes de estas condiciones para luego poder aplicarlas en el análisis de edificaciones Peruanas y ver la posibilidad de parametrizar estos factores para futuras aplicaciones en el análisis de edificios costeros.

1.3. Importancia

Debido al relevante crecimiento de construcciones en el litoral, la gran afluencia de personas, así mismo las poblaciones que están asentadas y la vulnerabilidad de estas frente a eventos de tsunamis es de importancia realizar un estudio de las normativas de países desarrollados para luego evaluarlos y aplicarlos en nuestro medio para reducir los riesgos y salvaguardar la seguridad de la población frente a desastres de esta naturaleza que en el mundo ha cobrado muchas pérdidas de vidas ya sea por la falta de lugares de evacuación o por la falta de las previsiones que se debería tomar en caso de eventuales riesgos de tsunamis.

1.4. Objetivos de la tesis

1.4.1. Objetivo general

- ① Desarrollar el Análisis y Diseño de edificios resistentes a fuerzas de Tsunamis generados por eventos sísmicos, aplicando las normas de los U.S. y el Japón.

1.4.2. Objetivos específicos

- ⇨ Investigar las normas de los U.S. y el Japón para realizar el análisis de edificios ante fuerzas de tsunamis.
- ⇨ Cuantificar las fuerzas que actúan en las estructuras debido a la ocurrencia de un Tsunami.
- ⇨ Determinar los requerimientos de diseño estructural para el análisis de edificios de evacuación de Tsunamis.

1.5. Organización de la tesis

La estructura de la presente tesis mantiene una organización de un orden lógico y secuencial distribuido en 7 capítulos, las cuales se detallan:

Capítulo 1, *Introducción.* describe en forma general la tesis, la justificación de la tesis, objetivos que se busca, importancia y la organización de la presente investigación.

Capítulo 2, *Estado del Arte.* Hace referencia a la revisión de la bibliografía con respecto al tema de Tsunamis, la actividad histórica que estos presentan, sus conductas, características y los efectos que estos presentan sobre los edificios afectados por este fenómeno.

Capítulo 3, *Evaluación de Peligro de Tsunamis.* presenta el mapa de peligro de Tsunamis, así como la aplicación de estas para determinar las alturas de olas en los tsunamis.

Capítulo 4, *Requisitos de diseño estructural para Edificios de evacuación de tsunamis en el Japón* Se presentan las consideraciones que deben cumplir los edificios para ser resistentes a las fuerzas de tsunamis.

Capítulo 5, *El ASCE 7 Estandar de Diseño Efectos y cargas de Tsunamis para los EE.UU.* Se desarrolla casi una transcripción de las consideraciones de cargas y efectos de los Tsunamis de la norma ASCE 7-16, las cuales son tomados en cuenta para el análisis y diseño de edificios de evacuación de Tsunamis en los EE.UU.

Capítulo 6, *Ejemplo de aplicación a Edificio Tipo*. Se presenta la aplicación de las consideraciones, criterios estructurales y obtención de cargas definidas en el capítulo 04 y 05 para luego emplearlo en el análisis y diseño de una edificación particular en la costa limeña (chorrillos).

Capítulo 7, *Análisis y Discusión de Resultados*. Se presenta apreciaciones, juicios críticos, los aciertos encontrados y deficiencias obtenidas en la aplicación realización del modelo tipo.

Capítulo 8, *Conclusiones y Recomendaciones*. Se presenta apreciaciones, juicios críticos, los aciertos encontrados y deficiencias obtenidas en la investigación. Se da recomendaciones y temas futuros a tratar con la ayuda de esta tesis.

Bibliografía, ofrece una amplia relación de bibliografía consultada para la realización de la investigación, entre los componentes tenemos libros, artículos de investigación, tesis de pre grado, maestrías y tesis doctorales, también la revisión de normas tanto japonesas como las U.S.

ESTADO DEL ARTE

2.1. Introducción

Desde tiempos muy remotos la tierra se encuentra en constante actividad interna, debido a ello y por la presencia de las placas tectónicas denominada corteza terrestre, estas últimas se encuentran en constante movimiento, dicha dinámica hace que se generen los sismos y en algunas ocasiones se han generado Tsunamis a consecuencia de los sismos, causando grandes desastres y pérdidas de vidas humanas a nivel mundial, tales como los eventos de Sumatra 2004, Perú 2007, Chile 2010 y el más catastrófico en lo que va del siglo XXI: Japón 2011.

El nombre utilizado para la identificación de estos eventos en los medios de comunicación masiva y en la mayor parte del mundo es el término japonés tsunami, a pesar que en el idioma español se cuenta con el término maremoto, el cual etimológica-mente y por definición describe muy bien la física y consecuencias de este fenómeno (Ocola y Huaco, 2006).

2.2. Definición de Tsunami

Tsunami es una palabra de origen japonés compuesta de tsu (puerto) y nami (ola) o sea “ola de puerto”. El término fue creado por pescadores que regresaban a puerto para encontrar la zona portuaria devastada. Un tsunami es una serie de olas de ocurrencia natural resultado de un disturbio rápido y de gran escala en un cuerpo de agua (FEMA-P646, 2008).

En cuanto a la definición física, un Tsunami es una serie de ondas gravitacionales de período largo y de longitudes de ondas extremadamente largas que se propagan cerca de la superficie del océano, generadas por una perturbación impulsiva que desplaza grandes

cantidades de volúmenes de agua. Estos impulsos pueden originarse por una variedad de procesos geológicos tales como: deslizamientos submarinos de tierra, explosiones volcánicas submarinas, o impactos de objetos provenientes del espacio exterior (como meteoritos, asteroides y/o cometas), pero en su gran mayoría, se originan por sismos tectónicos submarinos (Moggiano,2013)

La característica principal de los tsunamis es su gran longitud de onda L la cual puede alcanzar las decenas de kilómetros (en comparación con longitudes de onda de decenas de metros del oleaje de viento). Esto se traduce además en períodos largos, de 5 minutos o más. Esto favorece su propagación transoceánica con una mínima disipación de energía, pudiendo así alcanzar costas muy alejadas de la zona de generación. Por otra parte, su gran longitud de onda relativa a la profundidad local h , les hace desempeñarse como ondas en aguas someras, en el cual, la distribución vertical de la velocidad orbital es prácticamente constante. Más aun, para tsunamis de longitudes de onda muy largas, la profundidad relativa h/L es muy pequeña los efectos de dispersión de frecuencias pueden ser considerados despreciables, lo que favorece el uso de las ecuaciones no lineales de aguas someras para su modelado matemático (SATREPS Chile Tsunami,2016).

De acuerdo a la información de la base de datos de National Geophysical Data Center (NGDC/NOAA), se ha reportado hasta la actualidad 2 530 eventos (NOAA, 2017). Gran parte de la ocurrencia de este fenómeno se debe a la gran actividad sísmica en los países que bordean la cuenca del pacifico puesto que debido a la presencia de la interacción de las placas Nazca y Sudamericana donde la primera sude en la segunda, se han generado sismos de gran magnitud superior a 8.0 Mw, siendo la causa principal de la generación de los Tsunamis.

2.2.1. Distribución Global y fuentes de generación de Tsunamis

El análisis estadístico de la distribución de tsunamis a nivel mundial causados por diversos mecanismos de generación ha sido compilado por *Global Historical Tsunami Database, NOAA's National Geophysical Data Center (NGDC/NOAA)*, la cual mantiene una base de datos desde el año 2000 A.C hasta la actualidad (NOAA, 2017), ver Fig. 2.1 y 2.2.

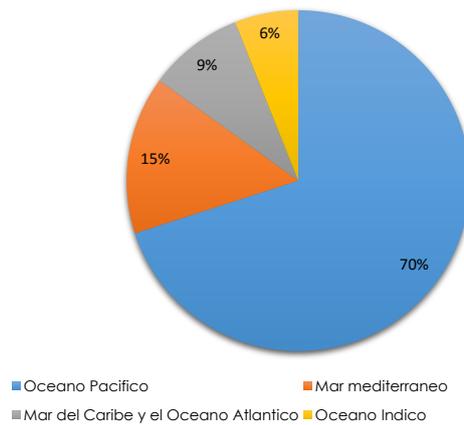


Figura 2.1: Distribucion Global de Tsunamis.Fuente: NOAA,2017



Figura 2.2: Distribucion de Tsunamis por mecanismo de generacion. Fuente NOAA,2017

De la estadística mostrada se puede ver que la causa principal de la generación de los tsunamis son los sismos de subducción y estas se presentan en gran porcentaje en el océano pacífico por ser esta zona altamente sísmica.

2.3. Clasificación de los Tsunamis

Los Tsunamis se clasifican de acuerdo a la distancia que se encuentran las zonas inundadas respecto a la fuente donde se generó el Tsunami, siendo estos de origen cercano o lejano.

2.3.1. Tsunami de origen cercano

Un Tsunami de origen cercano se generan a distancias menores de 100 km de la costa y puede llegar a esta en menos de 30 minutos. Las áreas que experimentan este clase de Tsunamis pueden sentir el efecto del evento que lo causa.

Por ejemplo, el maremoto de Camaná del 23 de junio 2001 (8,4 Mw y profundidad de 30 km) generó olas que arribaron a los 20 minutos de ocurrido el sismo y alturas de inundación entre 3 a 7 m. El maremoto de Pisco 2007 (8,0 Mw y profundidad de 39 km) produjo olas que arribaron entre 15 a 20 minutos después del sismo, se caracterizó por manifestarse lentamente, primero con un retiro del mar entre 150 y 200 m aproximadamente y luego incrementándose, causando inundación en las zonas costeras bajas de Pisco. En el Callao, la primera onda del maremoto arribó 54 minutos luego de producido el sismo, alcanzando una altura con respecto al nivel medio del mar de 1,04 m, que luego de reducir el efecto de la marea decreció a 0,74 m (DHN, 2007).

2.3.2. Tsunami de Origen Lejano

Un Tsunami de origen lejano se generan a distancias mayores de 1000 Km y pueden tardar en llegar a la costa en 2 horas o mas luego del evento que lo causa. Por ejemplo, el gran sismo de Japón (9,0 Mw y profundidad de 24 km) ocurrido el 11 de marzo de 2011, generó un maremoto de origen cercano y destructivo a sus costas, pero de origen lejano para las costas peruanas debido a que se encuentra en otro continente (Moggiano, 2013).

2.4. Condiciones para la generación de Tsunamis

En la actualidad no se tiene la entera certeza de que factores influyen directamente para que se genere un Tsunami, puesto que sigue habiendo preguntas acerca de la ocurrencia de un tsunami que no tienen respuesta clara o satisfactoria y aunque se han obtenido resultados muy importantes no es del todo claro que es lo que sucede exactamente en el océano en el área de ruptura de un terremoto submarino y cuándo este provoca un tsunami. Como consecuencia, se sigue presentando un alto índice de falsa alarma y a la fecha no existe una respuesta convincente para la pregunta *¿Por qué algunos terremotos producen tsunamis,*

mientras que otros que se esperaba que lo hicieran no?

Sin embargo acuerdo a estudios y evaluaciones realizadas de las condiciones que originan los tsunamis se ha visto que muchos de ellos tienen mucha similitud en algunos aspectos de mucha relevancia y podrían ser la causa de como se genera un tsunami, las cuales se detalla a continuación:

- ⇨ Que el epicentro del sismo, o una parte mayoritaria de su área de ruptura, esté bajo el lecho marino a una profundidad focal menor a 60 Km.
- ⇨ Que ocurra en una zona de hundimiento de borde de placas tectónicas, es decir que la falla tenga movimiento vertical.
- ⇨ Que el sismo libere suficiente energía en un cierto lapso de tiempo, y que ésta sea eficientemente transmitida.

Aún así queda decir que bajo las condiciones que se menciona no siempre se originó un Tsunami por lo tanto queda un vacío por descubrir y definir cuales son las condiciones necesarias para dar señales de alarma para este tipo de evento.

2.5. Parámetros Hidrodinámicos de un Tsunami

Los parámetros que se detallan a continuación se presentan esquemáticamente en la Figura 2.3 y Figura 2.4.

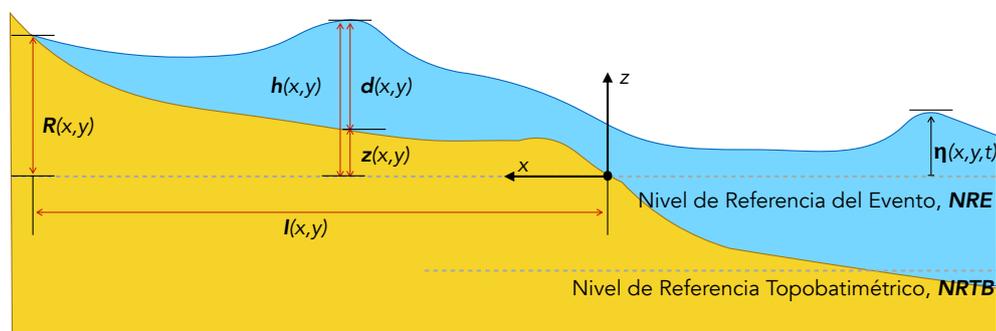


Figura 2.3: Definición de variables hidrodinámicas relevantes en la inundación. Fuente: satreps Chile, Vol 1.

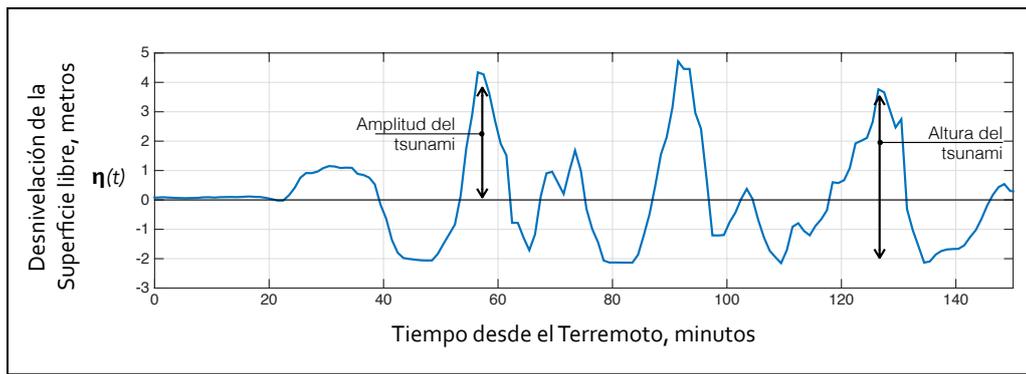


Figura 2.4: Definición de parámetros que definen una onda de tsunami (Mareógrafo de Coquimbo, 16 de Septiembre de 2015. Fuente: satreps Chile, Vol 1.

Altura de Inundación $h(x, y)$: Elevación alcanzada por el agua del mar en el lado tierra medida respecto a un datum dado por el nivel de referencia del evento (NRE) en una distancia de inundación específica. La altura de inundación es la suma de la profundidad de inundación y la cota de elevación del terreno local. Su unidad de medida es el metro (m)

Altura de tsunami: Valor absoluto de la diferencia entre una cresta y un valle consecutivos o de la diferencia entre un valle y una cresta consecutivos. Su unidad de medida es el metro (m). **Amplitud del tsunami:** Normalmente determinada por un registro de nivel del mar, es: 1) el valor absoluto de la diferencia entre un seno o un valle particular del tsunami y el nivel normal del mar en reposo a la hora indicada, 2) la mitad de la diferencia entre un seno y un valle sucesivos, corregida por el cambio de marea entre ellos. Representa la verdadera amplitud de la onda del tsunami en algún punto del océano. Sin embargo, es a menudo modificada de alguna forma por la respuesta del mareógrafo. Su unidad de medida es el metro (m).

Amplitud máxima del tsunami: Máxima amplitud de onda alcanzada durante un tsunami. Su unidad de medida es el metro (m). **Área de Inundación:** Superficie total inundada por los eventos de tsunami.

Área de Inundación: Superficie total inundada por los eventos de tsunami.

Cota de terreno, $z(x, y)$: Cota de terreno, $z(x, y)$ Cota de elevación del terreno, referida al Nivel de Referencia Topobatimétric (NRTB). Su unidad de medida es el metro (m).

Cota batimétrica: Profundidad del fondo marino, referida al Nivel de Referencia Topobatimétrico (NRTB). Su unidad de medida es el metro (m).

Desnivelación, $\eta(x, y, t)$: Distancia vertical entre el Nivel de Referencia del Evento (NRE) y la superficie de agua en cada instante y punto del dominio. Puede adoptar valores tanto positivos como negativos. Su unidad de medida es el metro (m).

Inundación horizontal o distancia de inundación, $I(x, y)$: Distancia horizontal inundada, medida desde la línea de costa hasta el límite tierra adentro de penetración del tsunami (runup). Generalmente medida en forma perpendicular a la costa. Línea de Inundación, Lugar geométrico de todos los puntos correspondientes a la máxima penetración horizontal del tsunami y que delimita el área de inundación. Es posible que su determinación considere más de un evento de tsunami, en cuyo caso corresponderá a la envolvente de las Líneas de Inundación de eventos individuales.

Longitud de ondas de un tsunami: Distancia horizontal entre puntos similares en dos ondas sucesivas medidas perpendicularmente a la cresta. La longitud de onda de tsunamis generados por terremotos se encuentra en el rango entre 20- y 300 Km.

Nivel Medio del Mar: Corresponde al plano en torno al cual oscila la marea y calcula mediante promedio aritmético de observaciones horarias de altura de la marea y puede ser diario, semanal, mensual y anual. Métodos más sofisticados utilizan filtros numéricos de paso bajo para eliminar las mareas y oleajes antes de obtener el promedio.

Nivel de Reducción de Sonda: corresponde al plano donde están referidas las sondas o profundidades de una localidad, el cual representa la mínima profundidad que se puede encontrar en un punto, a partir de un análisis armónico de la señal de marea del lugar. Por consiguiente, el NRS es un valor local, no siendo a priori extrapolable ni interpolable entre localidades contiguas.

Nivel de Referencia Topobatimétrico, NRTB: Nivel vertical único al cual deben estar referidas las cotas topográficas y batimétricas en la zona de estudio, el cual debe ser un valor común, que garantice la congruencia entre cotas topográficas y batimétricas. Este nivel puede ser el NRS o el NMM.

Nivel de Referencia del Evento, NRE: Nivel vertical único referido al NRTB, que representa el nivel del mar al momento del evento. De modo conservador, se sugiere utilizar el nivel de la pleamar máximo en sicigias, la cual puede ser estimada a partir de las Tablas de Marea Astronómica, provistas por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile.

Período del tsunami: Tiempo en que una onda de tsunami completa un ciclo. Dada la dificultad de su medición, el período predominante del tsunamis generalmente se mide como la diferencia de tiempo entre el tiempo de arribo de la onda de tsunami de mayor amplitud y el siguiente pico, medida en un mareograma. Los periodos típicos de tsunamis varían entre 5 y 60 minutos.

Profundidad de Inundación $d(x, y)$: también llamada profundidad de flujo, es la profundidad del agua del tsunami sobre la cota del terreno medido en un sitio específico. Su unidad de medida es el metro (m). De acuerdo a las definiciones anteriores, se puede establecer la siguiente relación:

$$h(x, y) = d(x, y) + z(x, y) \quad (2.1)$$

Runup $R(x, y)$: Diferencia entre la cota de terreno en el punto de máxima inundación horizontal alcanzado por el tsunami y el nivel de referencia del tsunami NRE. Se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$R(x, y) = z(I(x, y)) - NRE \quad (2.2)$$

Se debe notar que para una zona de estudio dada, el valor de runup no es único, ya que es función de la topografía. Su unidad de medida es el metro (m).

Tiempo de arribo del tsunami: Tiempo de llegada del primer tren de ondas a un determinado sitio. Corresponde al tiempo transcurrido entre el inicio del sismo y el comienzo de la desnivelación $\eta(x, y, t)$ descontando la marea.

Velocidad orbital , $U(x, y, t)$: Vector de velocidad en cada punto del dominio. Es una cantidad variable en el tiempo, tanto en sentido dirección como en magnitud. Su unidad de medida es el metro por segundo (m/s).

Velocidad de propagación o celeridad del tsunami : Velocidad de propagación de una onda de tsunami en el océano, cuya longitud de onda es suficientemente grande en comparación con la profundidad del mar. Para casos donde la longitud de onda es 20 o más veces la profundidad, se puede usar la Ec. 2.3 para el cálculo de la velocidad de propagación.

$$C = \sqrt{gh} \quad (2.3)$$

Donde g es la aceleración de gravedad y h es la profundidad del mar a la cual se propaga el tsunami. Esta dependencia directa condiciona la evolución del tsunami de varias maneras.

2.6. Fases de un Tsunami

Durante el desarrollo del evento Tsunami, este presenta 3 fases o procesos físicos:

- ⇔ Generación: Proceso por el cual se da inicio a la ruptura de la fuente sísmica que da origen a un tsunami.
- ⇔ Propagación: Proceso de avance de ola después de haberse generado el Tsunami.
- ⇔ Inundación: Proceso mediante el cual las ondas incursionan tierra adentro.

El estado actual del conocimiento científico acerca de las fases del Tsunami aun se encuentran en desarrollo uno mas que otro, debido a la complejidad del fenómeno, puesto que para cada uno de ellos se plantean formulaciones numéricas para poder describir el comportamiento del fenómeno y así poder cuantificar el daño que ocasionaría.

2.6.1. Generación

Se origina debido a una perturbación en el fondo oceánico ocasionado en su gran mayoría por sismos submarinos, cuya componente vertical de la deformación del fondo oceánico altera el equilibrio de la superficie libre del agua. Como el agua es un fluido incompresible, la superficie del mar se deforma al instante y es similar al desplazamiento del fondo marino. Esto es debido a que un sismo ocurre generalmente en segundos y la columna de agua sobre el suelo no puede escaparse dentro de este periodo corto. Esta hipótesis puede asumirse siempre y cuando el movimiento del levantamiento del mar sea mucho más rápido que la propagación de la onda, de lo contrario deberá suponerse que el mecanismo de generación es un deslizamiento submarino.

Existen dos modelos de falla o fuente sísmica para modelar el proceso de generación, el primero, se basa en la teoría de Mansinha y Smylie (1971) y el segundo se basa en la teoría de Okada (1985 y 1992) el cual es una extensión del modelo de Mansinha. En ambos modelos se considera la deformación instantánea, asumiendo una fuente estática y no dinámica, además, ambos se desarrollaron asumiendo que la falla es un plano rectangular que está situada en el espacio de un medio elástico, homogéneo y semi-infinito. El plano de falla se define como la interfaz de colisión entre placas, donde se encuentra el área de ruptura. Para modelar la fuente sísmica, se necesitan conocer 9 parámetros: latitud ($^{\circ}$), longitud ($^{\circ}$), profundidad del extremo superior de la falla o sub-falla (km); las dimensiones del plano de falla: largo (L), ancho (W), dislocación (\vec{u}) o slip; y el mecanismo focal o los ángulos de orientación del plano de falla: azimut (Φ) o strike, buzamiento (δ) o dip, deslizamiento (λ) o rake. Estos parámetros están representados en la Fig. 2.5.

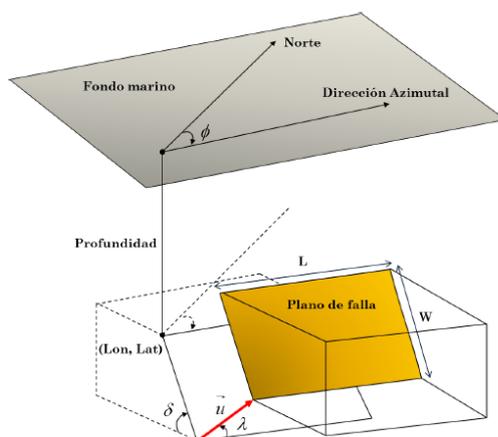


Figura 2.5: Parámetros de la fuente sísmica. Adaptado de AKI (2002)

Se define el azimut (Φ), rumbo o strike como el ángulo de orientación del plano de falla respecto al norte medido en sentido horario ($0^\circ \leq \Phi \leq 360^\circ$). El buzamiento o dip (δ) es el ángulo entre la horizontal y el plano de la falla comprendido entre 0° y 90° . El ángulo de deslizamiento (λ) o rake es el ángulo que hace el vector de deslizamiento con el azimuth, éste determina el mecanismo de falla del sismo: si $\lambda = 0^\circ$ ó $\lambda = 180^\circ$ es una falla lateral, si $\lambda = -90^\circ$ es una falla inversa, y si $\lambda = 90^\circ$ es una falla normal (Aki and Richards, 2002). La longitud de ruptura se define como la longitud del plano de falla en la dirección del rumbo. Otros parámetros de la fuente sísmica que son importantes, aunque no se requiera en el modelo de forma directa, son: el momento sísmico y la magnitud del terremoto. El momento sísmico (M_0), parámetro introducido por K. Aki en 1966, es muy importante en el estudio del tamaño de un terremoto y representa el producto del desplazamiento relativo de la fractura por su área y el coeficiente de rigidez del medio en que se ha producido. Está definido por:

$$M_0 = \mu \overline{\Delta u} S \quad (2.4)$$

Donde (μ) es el módulo de la rigidez propia del material del medio elástico, $\overline{\Delta u}$ es el valor medio de la dislocación de la falla (S) es el área de falla. Las unidades de M_0 son Nm en el Sistema Internacional de Unidades (SI). Cuanto mayor sea el momento sísmico del terremoto, mayor será la energía del maremoto. A partir del momento sísmico es posible obtener la

magnitud de momento, el cual es una escala de magnitud introducida por Kanamori (1977) y Hans and Kanamori (1979) con el objetivo de evitar el problema de saturación para eventos sísmicos de larga duración. La magnitud de momento (M_w) es una medida de la energía liberada por el sismo, está definido por:

$$M_w = \frac{2}{3} [\log_{10} M_0 - 9,1] \quad (2.5)$$

2.6.2. Propagación

Una vez generado el maremoto, la fuerza de gravedad contribuye para que se formen olas que se propagan en todas las direcciones. La variable que determina la propagación de estas olas es la profundidad del océano: a mayor profundidad mayor velocidad y mayor longitud de onda. En el océano abierto, con profundidades medias del orden de los 5000 m, las olas son imperceptibles; pero cuando se acercan a la costa, la velocidad disminuye y por el principio de conservación de energía la altura de las olas aumenta (Levin and Nosov, 2009). Para simular la propagación se debe contar con un modelo de fuente sísmica con los parámetros del mecanismo del plano de falla. Esto forma parte de la condición inicial para la fase de propagación de maremoto donde se genera principalmente por el movimiento súbito del fondo oceánico debido a la ocurrencia de sismos submarinos.

La teoría de aguas someras, describe el movimiento de ondas cuya longitud es mucho mayor que la profundidad del agua en donde se propaga (Pedlosky, 1987). En la teoría clásica de este tipo de ondas, la aceleración vertical es despreciable comparada con la aceleración gravitacional y como consecuencia, el movimiento vertical de las partículas de agua no tienen un efecto total sobre la distribución de la presión, por tanto, una buena aproximación es asumir que la presión sea hidrostática (Koshimura, 2009; Ward, 2010). Esto ha permitido estudiar la propagación de maremotos empleando ecuaciones que representen la propagación de ondas en aguas someras.

2.6.3. Inundación

Cuando el maremoto se aproxima a la costa, la energía de las ondas es concentrada en volúmenes de menor tamaño. Debido a que estas ondas no son disipadas a medida que se

propagan a través del océano, su energía se conserva debido a su movimiento en aguas poco profundas o someras. Las ondas dispersivas resultan de la transformación en la perturbación inicial de un paquete de ondas, y se dirigen con una longitud de onda más rápida. A consecuencias de esta propiedad (dispersión), la energía amplifica las alturas de las ondas del maremoto. Si hay energía suficiente, el maremoto llega la costa, proceso denominado inundación (Bernard and Robinson, 2009; Levin and Nosov 2009).

El fenómeno de dispersión, las propiedades de resonancia del relieve costero, así como fenómenos como la reverberación (es decir, cuando la perturbación de onda llega a un determinado lugar costero a través de diferentes rutas) y las peculiaridades de formación de onda en la fuente, desencadenan que el maremoto se manifieste no como una onda solitaria, sino como una serie o conjunto de ondas con un período del valor de decenas de minutos. En este caso, la primera ola no suele ser la más fuerte (Levin and Nosov, 2009).

EVALUACIÓN DE PELIGRO DE TSUNAMIS

3.1. Introducción

Este capítulo detalla de manera general los aspectos relevantes de la evaluación del peligro de tsunami en un área de estudio, puesto que no es objetivo del presente trabajo, sin embargo es de vital importancia conocer los resultados de este análisis como son los mapas de inundación de Tsunami que son la fuente necesaria para el calculo de los efectos y cargas de los tsunamis a partir del Tsunami Máximo Considerado de diseño.

Se puede considerar un estudio de peligro de tsunami como:

El peligro de tsunami en una región en particular es una combinación de la presencia de un origen geofísico de tsunamis, la exposición a tsunamis de ese origen, y el grado de inundación que puede esperarse en caso de tsunami. Las consecuencias de este peligro para la población de la comunidad costera son una función del tiempo que tarda el tsunami en propagarse desde su origen hasta el lugar, la profundidad máxima de la inundación, la velocidad máxima de la corriente, la integridad del ambiente construido, y la habilidad de evacuar hacia áreas de refugio, (FEMA P646, 2008).

3.2. Modelaje de Tsunamis y modelaje actual

Actualmente debido a los últimos eventos de tsunamis del Océano Indico (2004), y del Japón (2011), Instituciones gubernamentales de los Estados Unidos y el Japón han desa-

rollado investigaciones de Análisis de Evaluación de Peligro de Tsunamis, recurriendo a tecnologías avanzadas en modelado numérico para la estimación del Tsunami Máximo considerado por sus siglas en inglés MTC (Maximum Considered Tsunami), dentro de las cuales se puede mencionar:

Por parte de los Estados unidos:

El Programa de Tsunamis de NOAA y el NTHMP están trabajando en esfuerzos de modelaje similares. El Programa de Tsunamis de NOAA está enfocado en el desarrollo del Sistema de Pronóstico de Tsunamis de NOAA (Titov y Synolakis, 2005). El NTHMP trabaja en el desarrollo de mapas de inundación para programas de manejo de emergencias (González, et al., 2005). Ambos esfuerzos dependen fundamentalmente de la tecnología de modelaje numérico.

El Centro Nacional para la Investigación de Tsunamis (NTRC) en el Laboratorio Ambiental Marino del Pacífico (PMEL) en Seattle, WA, tiene la responsabilidad principal de este esfuerzo de modelaje y mapeo de pronóstico.

El NCTR emplea una variedad de códigos de generación, propagación, e inundación desarrollados por V. V. Titov (1997). En las escalas de espacio locales, las ecuaciones de aguas llanas no lineales (NSW, en inglés) se resuelven numéricamente. La propagación en escalas de espacio regionales o transoceánicas requiere ecuaciones expresadas en coordenadas esféricas. Las soluciones de propagación se obtienen mediante una técnica numérica que conlleva una transformación matemática conocida como splitting (Titov, 1997). Por consecuencia esta variedad de modelos se conoce como el Método de Splitting de Tsunamis (MOST, en inglés), (FEMA P646, 2008)

Por parte del Japón

La parte Japonesa ha desarrollado TUNAMI-N2 (Análisis Numérico de la Universidad de Tohoku Modelo para la Investigación de campo cercano Tsunami No.2) código basado en la teoría de aguas poco profundas, desarrollado por el Centro de Control de Desastres de Investigación (DCRC) de la Universidad de Tohoku, Japón (Morales, 2014).

3.3. Procesos para la evaluación de Peligro de Tsunamis

El proceso para determinar la inundación potencial por tsunami se puede separar en tres etapas principales. Éstas son:

1. Trabajo Previo y Recolección de Antecedentes Topobatimétricos.
2. Determinación del Evento Tsunamigénico.
3. Modelado Numérico y Postproceso.

3.4. Trabajo Previo y Recolección de Antecedentes Topobatimétricos.

Etapas en el cual se va recabar la información necesaria de fuentes, registros, levantamientos topobatimétricos, topográficos de la zona de estudio, pudiendo ser estos los siguientes:

- ⇨ **Extensión del dominio de cálculo;** un estudio de peligro de tsunami deberá identificar, definir y considerar, la extensión geográfica de interés para estimar el peligro de tsunami en una localidad en particular.
- ⇨ **Fuentes de Información;** constituye la información topobatimétrica disponible, ya que determina la configuración y dominio geográfico sobre el cual se propaga el evento de tsunami. A continuación se ofrece una breve revisión de algunas de las fuentes de datos batimétricos disponibles:
 - General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO).
 - Cartas Náuticas (CN).
 - Planos de Borde Costero (PBC).
 - Información topográfica y batimétrica de detalle.

⇔ **Estandarización de datos batimétricos**; consiste en confeccionar la grilla de modelación para integrar las diferentes bases de datos batimétricas, de forma tal de unificar la referencia vertical y horizontal de cada una de ellas.

Por lo tanto un estudio de peligro de tsunami deberá especificar lo siguiente:

- La definición y justificación del dominio de cálculo.
- Las fuentes topo-batimétricas utilizadas.
- La metodología de estandarización e integración vertical.
- La metodología de estandarización e integración horizontal.
- La topobatimetría resultante.

3.5. Determinación del Evento Tsunamigénico.

La determinación del peligro por tsunami recomendado se enmarca bajo el concepto de evento de tsunami máximo considerado por sus siglas en inglés MCT (Maximum Considered Tsunami), sujeto a la premisa de que el objetivo principal del estudio de peligro es salvaguardar la vida humana. El evento de diseño puede ser adaptado en caso de tener el estudio otra finalidad, como por ejemplo, una obra de ingeniería específica, debiendo quedar la definición del evento de diseño claramente justificada y respaldada por el conocimiento existente. Por ejemplo, podrán usarse eventos o combinación de ellos asociados a diferentes periodos de retorno, si la duración de los registros así lo permite. Para efectos de esta metodología, el evento de tsunami máximo considerado es aquel que determina el peligro máximo asociado a eventos de tsunami en una localidad en estudio. Este será determinado teniendo en cuenta el conocimiento existente para la localidad en estudio, considerando aspectos hidrodinámicos, sísmicos, históricos, geofísicos, geológicos y otros.

Asimismo, la determinación del evento de tsunami máximo considerado deberá considerar los resguardos necesarios para reducir el impacto de las limitaciones en precisión, calidad y duración de los datos, así como de la incertidumbre aleatoria y epistémica asociada a los procesos relevantes. De esta manera, podrá ser necesario el estudio de sensibilidad en los parámetros y la consideración de múltiples escenarios en la determinación del MCT. Final-

mente, se debe considerar que el evento de tsunami máximo considerado no necesariamente estará asociado al evento de terremoto máximo considerado. Puesto que el comportamiento del tsunami depende de gran manera de la distribución del deslizamiento en la zona de ruptura. Este es un proceso que presenta características de aleatoriedad y que no puede ser determinado a priori de manera exacta. Por consiguiente, un estudio de peligro de tsunami debe considerar la revisión y modelado de un número de escenarios determinísticos que permitan una adecuada estimación del evento de tsunami máximo creíble.

3.6. Modelado Numérico y Postproceso,

Esta etapa comprende la simulación numérica del tsunami, dicha simulación se sustenta en modelos matemáticos de la teoría de aguas someras basados en ecuaciones no lineales de continuidad, dicha modelo numérico se describe en los párrafos siguientes:

3.6.1. Teoría de Aguas Someras

La teoría agua somera, supone de que la profundidad es mucho menor que el componente horizontal de la longitud de onda. Las ecuaciones de continuidad no lineales bidimensional de aguas someras, Ecs. 3.1 a 3.3, son discretizados por el esquema de diferencias finitas LeapFrog escalonada (Imamura, 1995) utilizando una tamaño de la cuadrícula constante para cada región con coordenadas cartesianas. Las dos últimas expresiones básicas de la teoría aguas poco profundas se muestran abajo (Morales, 2014).

La ecuación de continuidad puede ser escrito como:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (3.1)$$

Donde,

η : Amplitud de onda.

M y N : Flujo de descarga en la dirección X e Y.

t : Tiempo

Las ecuaciones de momento con términos de fricción del fondo se pueden escribir como:

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) = -gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) = -gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} \quad (3.3)$$

$$M = \int_{-h}^{\eta} u dz = \bar{u} (\eta + h) \quad (3.4)$$

$$N = \int_{-h}^{\eta} v dz = \bar{v} (\eta + h) \quad (3.5)$$

$$D = \eta + h \quad (3.6)$$

Donde,

$\frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2}$, $\frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2}$: Condiciones de Fricción inferior.

D : Profundidad total del agua

n : Coeficiente de Rugosidad de Maning

u y v : Vectores de velocidad en la dirección X e Y

\bar{u} y \bar{v} : Velocidad promedio en la dirección X e Y

g : Aceleración gravitacional

h : Profundidad del mar

3.6.2. Simulación numérica de Tsunami

La deformación de la superficie del mar se asume en el instante de la deformación sísmica del lecho marino, por lo que las características de la deformación del fondo marino reflejan la elevación inicial de la superficie del agua y se supone que es la condición inicial de la simulación del tsunami. Esta condición inicial se estima utilizando el modelo de Okada (1985), derivado de la solución de función de Green para el problema del espacio medio

elástico. La Fig. 3.1 muestra un plano de fallas con los parámetros necesarios para ejecutar el código de deformación por Okada (Morales,2014).

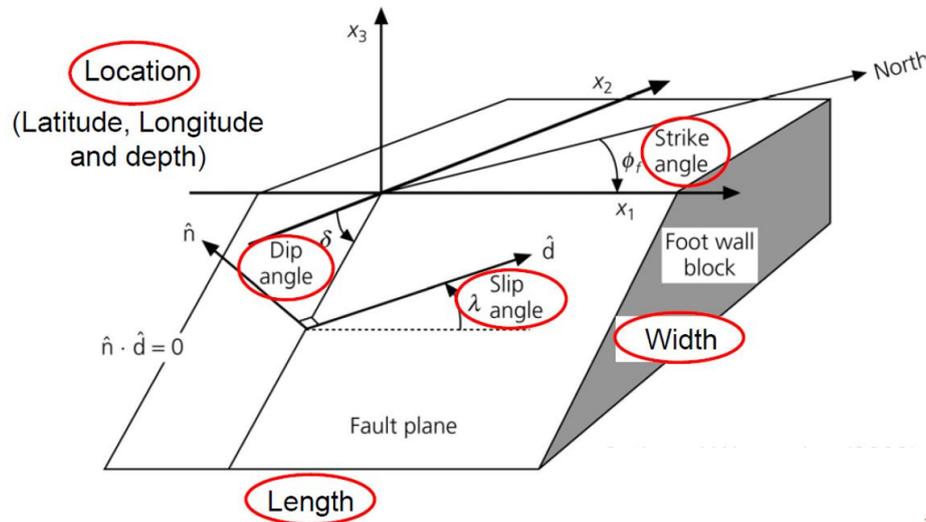


Figura 3.1: Parámetros necesarios para el modelo de Okada. Figura original de Seth and Wyession (2002) (Fuente: Morales,2008)

3.6.3. Propagación e Inundación de Tsunami

Para modelar las fases de propagación e Inundación actualmente se cuenta con códigos tanto para los Estados Unidos como para el Japón siendo estos el modelo MOST Y TUNAMI-N2 respectivamente, a partir de estos y contando con información de fuente Tsunamigénica y la batimetría se determinan la propagación e inundación de una determinada área

En la costa Limeña (La punta-Callao) se han desarrollado evaluaciones de peligro de Tsunami y uno de ellos fue desarrollado por (Adriano, et al,2013) determinándose el mapa de Inundación del callao para dos fuentes sísmicas , para dicha evaluación de hizo uso de código TUNAMI-N2, obteniéndose la carta de Inundación con alturas de 6 y 15.87 m respectivamente, como detalla la fig. 3.2

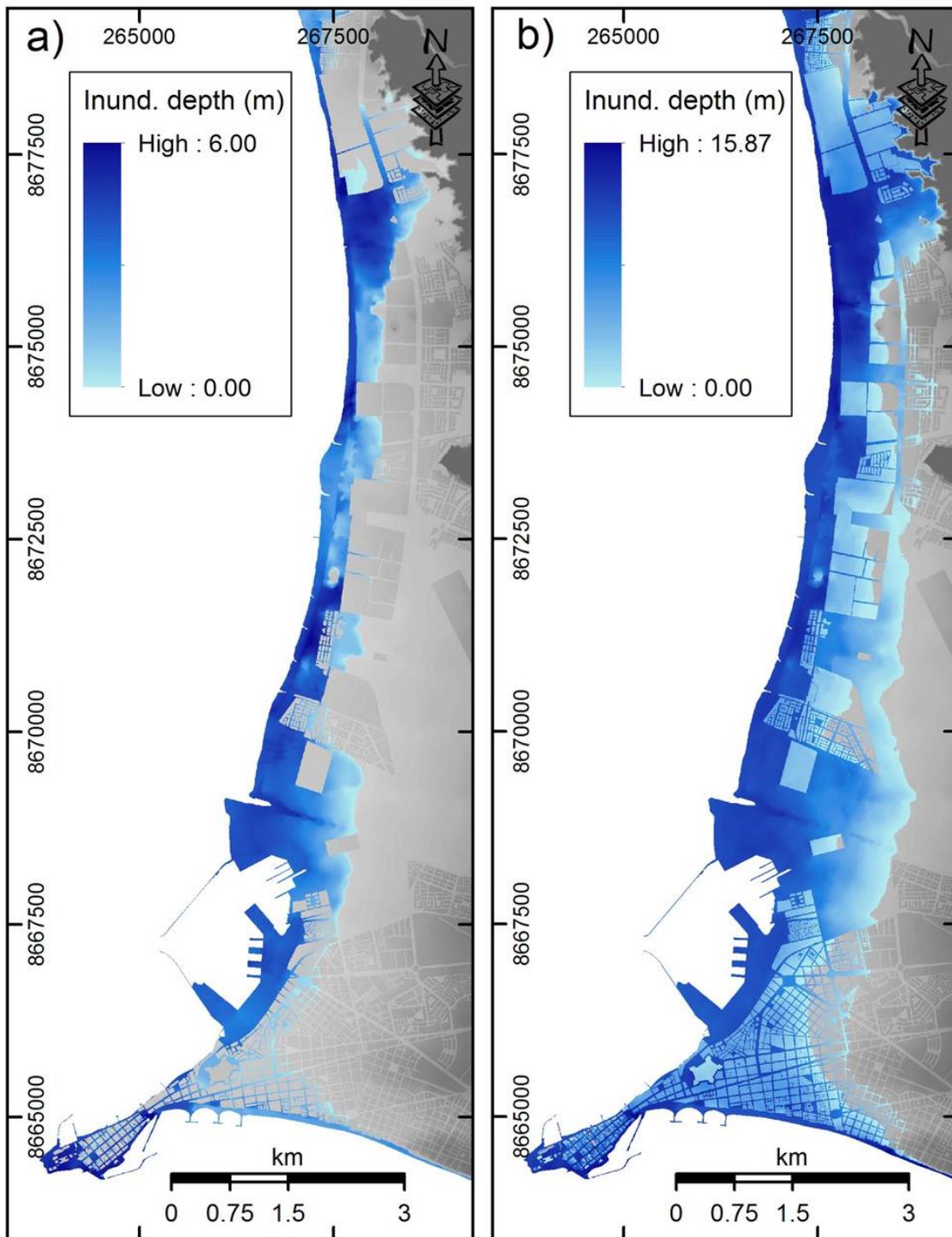


Figura 3.2: a) Inundación por Tsunami usando la primera fuente de escenario sísmico. b) Inundación por Tsunami usando la segunda fuente de escenario sísmico Fuente: Adriano et al.,2012)

Para el presente trabajo se tendrá en cuenta dichas alturas de inundación como referentes

para el calculo de los efectos y cargas del edificio analizado puesto que la estructura a analizar se encuentra en el distrito Limeño de Chorrillos, aunque cabe mencionar que los parámetros del peligro de Tsunami dependen de las condiciones de sitio como la batimetria, topografía, pendientes del terreno tierra adentro, geometría de la costa entre otros factores, sin embargo es posible tomar dichos valores para realizar el análisis de un edificio, con la intención de cuantificar y comparar los esfuerzos de la estructura frente a eventos sísmicos los cuales preceden a los Tsunamis.

REQUISITOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL PARA EDIFICIOS DE EVACUACIÓN DE TSUNAMIS EN EL JAPÓN

4.1. Introducción

El gran terremoto de Japón oriental que asoló el norte de Japón en marzo de 2011 causó daños devastadores en el tsunami, tanto para la propiedad como para la vida humana. Evaluar el terreno tierra adentro o elevado es la acción primaria que se debe realizar inmediatamente en las zonas costeras después de un terremoto. Pero hay muchas comunidades donde la gente simplemente no puede evacuar a tiempo, y la construcción de edificios de evacuación de tsunamis en lugares estratégicos es por lo tanto un medio vital para mitigar eficazmente el daño humano.

4.2. Principios de Diseño y Directrices Intermedias

Los edificios de evacuación de tsunamis pueden verse afectados por tsunamis de dos fuentes, es decir, tsunamis cercanos a la fuente generada y tsunamis de origen lejano. La primera fuente de tsunami sería la que ocurre después de los llamados terremotos de campo cercano, que también crearían sacudidas de tierra severas y dañinas. La segunda fuente sería un te-

rrremoto distante que ocurre lejos de las áreas costeras sin ningún efecto sísmico local. Tras el evento de 2011, los gobiernos centrales y locales japoneses realizaron extensas simulaciones de tsunamis utilizando datos y métodos científicos mejorados, así como considerar las áreas inundadas debido a eventos recientes e históricos de tsunamis, para proporcionar mapas de riesgos de tsunamis que son de ayuda primaria para el terremoto y la planificación de mitigación del desastre del tsunami. Como se describirá más adelante, las cargas de tsunami se dan en general teniendo en cuenta la profundidad de inundación del tsunami que aparece en los mapas de peligros regionales provistos por el gobierno local. (Yoshiaki Nakano, 2013) Se requiere que los edificios de evacuación de tsunamis tengan la capacidad de resistir las cargas de tsunami anticipadas sin colapso, vuelco o movimiento lateral para la seguridad de la vida de los evacuados. La Figura 4.1 muestra un flujo básico de procedimiento de diseño estructural. Como se descubrió a menudo después del desastre del tsunami de 2011, el rendimiento de un edificio durante la inundación del tsunami se ve significativamente afectado por la flotabilidad además del flujo del tsunami, y el levantamiento debido a la flotabilidad debe tenerse cuidadosamente en cuenta en el diseño. La seguridad e integridad estructural es la principal preocupación para la construcción de evacuación de tsunamis, pero también debe tenerse en cuenta que las áreas de refugio deben estar ubicadas muy por encima de la elevación, considerando posibles salpicaduras durante el impacto del tsunami y la incertidumbre inherente al estimar la elevación de tsunami. (Yoshiaki Nakano, 2013) Al diseñar miembros individuales, primero se clasifica como componentes de separación o sin ruptura. Los componentes Breakaway pueden fallar bajo una carga específica de tsunami y causar daños al sistema de construcción. Este concepto se puede utilizar porque se considera poco práctico y todos los elementos y sus conexiones son lo suficientemente fuertes como para resistir el evento de tsunami más considerado desde el punto de vista técnico y económico. Los componentes estructurales, sin embargo, deben diseñarse como no separables para resistir y transferir las fuerzas que actúan sobre ellos.

Los impactos y la erosión de los desechos del tsunami también son cuestiones esenciales para diseñar edificios de evacuación de tsunamis. Cuando los tsunamis se propagan hacia el interior, las ondas destructivas pueden transportar desechos creando cargas de alto impacto y causando daños extensos a las casas de madera, aunque en general pueden causar daños

locales a los edificios de concreto reforzado. Debido a las incertidumbres involucradas en la estimación de las fuerzas de impacto asociadas con desechos transmitidos por el agua, las Pautas 2011 incorporan consideraciones de la estrategia de columna faltante, que también aparece en el Estándar de Evaluación sísmica japonesa (JBDPA 1977), para reducir el potencial de colapso progresivo si una columna está severamente dañado y pierde su capacidad de carga vertical. La profundidad de socavación del tsunami es generalmente difícil de predecir debido a las muchas variables que gobiernan el mecanismo de socavación. Se deben proporcionar cimientos de concreto profundo (cimentaciones de pilotes) para los edificios de evacuación de tsunamis en lugar de cimientos poco profundos, como cimientos de esteras, debido al potencial de socavación que puede ocurrir durante un tsunami.

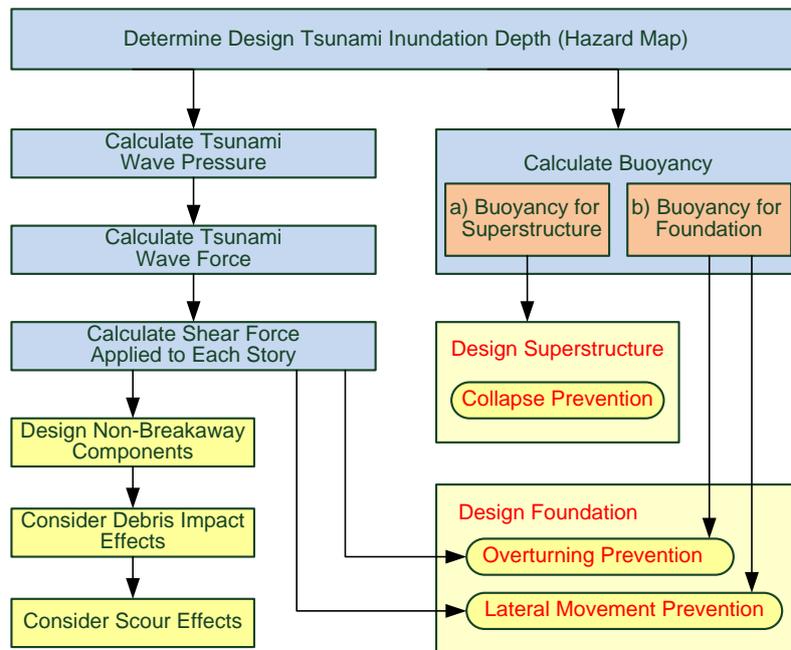


Figura 4.1: Procedimiento general de diseño estructural. (Fuente de NILIM 2012)

4.3. Principales Problemas para el Diseño Estructural de Edificios de Evacuación de Tsunami

4.3.1. La presión de las olas del tsunami y su perfil

Está bien aceptado que la presión de las olas del tsunami que actúa sobre las estructuras y su perfil depende de manera complicada de la profundidad de inundación del tsunami, la velocidad, el flujo de agua hacia y alrededor de las estructuras, etc. Los edificios de evacuación de tsunamis a menudo pueden construirse tierra adentro donde los efectos complicados en los edificios pueden ser causados por estructuras existentes, y la velocidad del tsunami en cada sitio de construcción, por lo tanto, no necesariamente se predice con un valor confiable debido a los efectos locales. Además, la profundidad de la inundación del tsunami que se muestra en los mapas de riesgo de tsunami proporcionados por los gobiernos locales es la principal y, en general, la única fuente actualmente disponible para determinar las cargas de tsunami en Japón. Teniendo en cuenta el estado actual de la práctica y el punto de vista de la simplicidad, el perfil de presión del tsunami se define tentativamente en forma de presión hidrostática equivalente, como se muestra en la ecuación. (4.1), que está en la forma análoga mostrada en las Pautas previas de BCJ 2004 y las Directrices de JCO 2005. En Eq. (4.1), se emplea un coeficiente de profundidad de agua a y su valor puede ser cualquiera de 1.5, 2.0 o 3.0. El valor del coeficiente a es principalmente 3.0 a menos que se espere la disipación de energía del tsunami, que se basa en los resultados de prueba hidráulica bidimensional del modelo escalado (Asakura et al., 2000) para simular y evaluar las cargas de tsunami que actúan en los edificios interiores. La Figura 4.2 ilustra el concepto de fondo empleado en la Ec. (4.1) La distribución de presión de tsunami de diseño que actúa a lo largo de la estructura se asume de forma triangular con una altura que alcanza 3 veces la profundidad de inundación de diseño tsunami h (es decir, $a = 3.0$ en la ecuación (4.1)) y se supone la presión en el fondo 3 tiempos de la presión hidrostática. La forma de ecuación muestra que la influencia de la velocidad del agua se incorpora implícitamente en el coeficiente a más grande que 1.0. El coeficiente a también se investiga a través de la relación entre el daño observado y la resistencia estructural encontrada en las áreas costeras después del tsunami del Océano Índico en 2004, y el valor de 3.0 se considera racional para evitar daños graves a

las estructuras a menos que sean golpeadas por los restos del tsunami.

$$q_z = \rho g (ah - z) \quad (4.1)$$

Donde:

a: coeficiente de profundidad del agua. El valor de a es principalmente 3.0, pero se puede reducir si el edificio está ubicado en la condición que se muestra en la Tabla 4.1 y la Figura 4.3. Deflexión total de la pantalla de concreto (m).

h: profundidad de inundación de diseño (m)

z: ubicación de la presión actuante medida desde el suelo ($0 \leq z \leq ah$) (m).

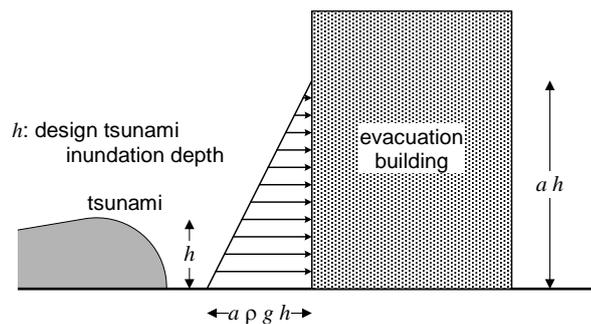


Figura 4.2: Distribución de presiones de diseño. (Fuente de NILIM 2012)

Tras el evento de 2011, diversos institutos e investigaciones han realizado encuestas de daños. organizaciones. IIS UTokyo y BRI, incluido el autor, también realizaron extensas investigaciones de daños para verificar el valor de a en la forma análoga empleada en las encuestas posteriores al tsunami del Océano Índico 2004 (Nakano, 2007 y 2008), y se encontró que el valor es menor que los obtenidos después del tsunami del Océano Índico. Probablemente esto se deba a que las estructuras investigadas después del tsunami del Océano Índico estaban ubicadas cerca de las costas sin estructuras costeras como muros de contención, mamparos y revestimientos para disipar la energía del tsunami y las olas altas del tsunami atacaron directamente las estructuras. Sin embargo, al determinar los valores de diseño también es esencial considerar cuidadosamente las incertidumbres asociadas con el peligro

natural, los efectos locales debidos a la ubicación del edificio así como las evidencias encontradas en los experimentos (Asakura, 2000) y las encuestas de campo como el Tsunami del Océano Índico (Nakano 2007 y 2008) . El valor primario del coeficiente a en la Guía 2011 se determina por lo tanto 3.0 mientras que se puede reducir a 2.0 o 1.5 debido a la presencia de estructuras de desviación o desviación de energía del tsunami y la distancia desde la costa. Al reducir el coeficiente a , se consideran las siguientes dos evidencias encontradas después del evento de 2011.

1. El coeficiente a para edificios con estructuras de disipación o desviación de energía (ya sea estructura costa fuera o en tierra) podría ser aproximadamente $1 / 1.5$ de eso para aquellos sin tales estructuras.
2. En áreas donde la distancia desde una orilla o ribera de un río está a más de 500 m, el coeficiente a podría ser de alrededor de 1 o menor, a pesar del número limitado de datos. También se debe tener en cuenta que la profundidad de inundación de tsunamis observada tiene una gran dispersión alrededor de los valores simulados y suele ser tan alta como 1,5 veces de simulaciones.

En las Directrices 2011, el valor primario de 3.0 para el coeficiente a se reduce a 2.0 ($= 3.0 / 1.5$) cuando se proporcionan estructuras de desviación o desviación de energía del tsunami frente al océano y 1.5 ($= 1.0 \times 1.5$) cuando el edificio está ubicado 500 metros o más lejos de la costa o ribera. La Tabla 1 y la Figura 3 resumen el valor propuesto del coeficiente a en la ecuación de diseño Eq. (4.1)

Cuadro 4.1: Coeficiente de profundidad del agua a .

Estructuras de disipación de energía proporcionadas		Sin estructuras de disipación de energía(a cualquier distancia de la costa o ribera)
Distancia de la costa o ribera		
Distancia $\geq 500\text{m}$	Distancia $< 500\text{m}$	
1.5	2.0	3.0

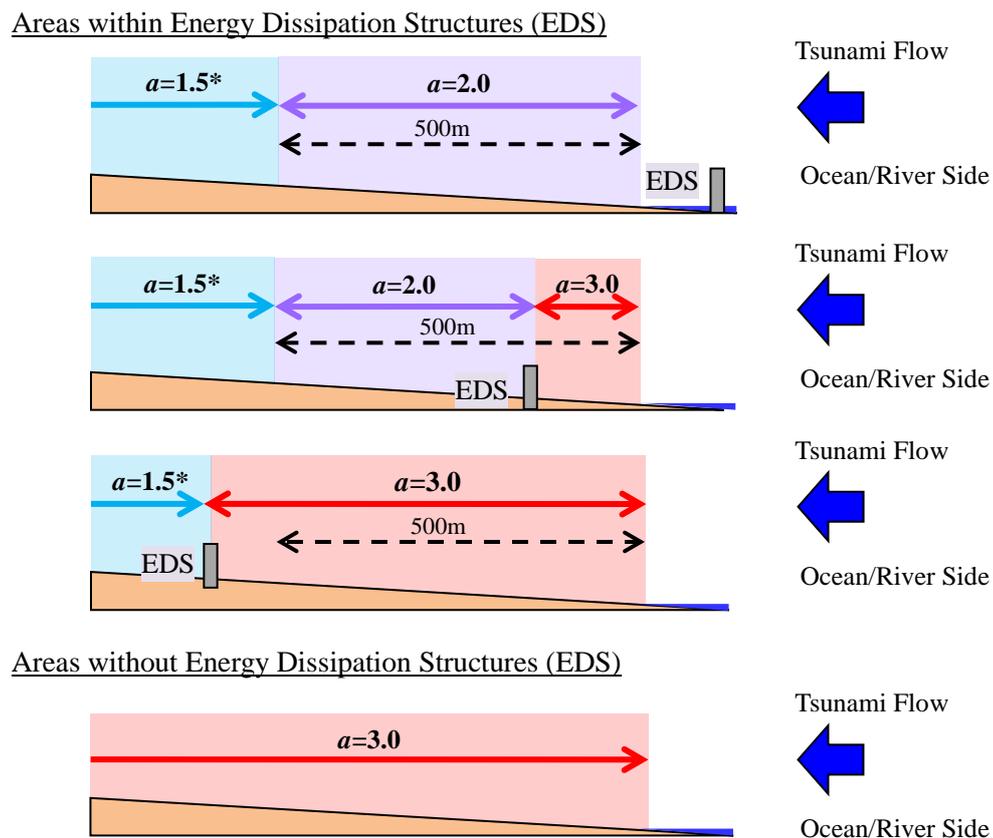


Figura 4.3: Coeficiente de profundidad del agua a considerando las estructuras de disipación de energía y la distancia desde la costa o ribera. (Fuente IIS UTokyo 2011)

4.3.2. La Fuerza de Tsunamis Actúa sobre Componentes

La fuerza de la onda del tsunami se puede calcular integrando su presión de actuación que se muestra en la ecuación. (4.2) considerando el área superficial expuesta a presión y la distribución de presión a lo largo de la altura del edificio en cuestión. En el cálculo de la fuerza que actúa sobre un edificio, la contribución de los componentes no estructurales, tales como puertas estándar residenciales principales, las puertas del obturador, ventanas en un marco exterior, que se espera a fallar durante la fase temprana de la exposición tsunami y aberturas, por lo tanto considerados, puede despreciarse. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la fuerza reducida que actúa sobre un marco exterior no debe ser inferior al 70% sin aberturas, ya que la presencia de muros estructurales interiores y otros elementos puede causar una respuesta menos efectiva para reducir la fuerza del tsunami en un edificio. La

Figura 4 muestra los resultados de la simulación numérica sobre la relación entre la reducción de la fuerza y la relación de apertura. Muestra que la fuerza que actúa sobre las estructuras del modelo se puede reducir con un aumento en su relación de apertura, pero la reducción puede tener un valor límite inferior de alrededor del 70 % debido a la contribución del muro interior, excepto en un edificio elevado.

$$Q_z = \rho g \int_{z_1}^{z_2} (ah - z) B dz \tag{4.2}$$

Dónde:

Qz: diseñar la fuerza de la onda del tsunami (kN),

B: ancho de la superficie expuesta a la presión (m), profundidad de inundación de diseño (m)

z1: altura mínima de la superficie expuesta a la presión ($0 \leq z_1 \leq z_2$) (m),

z2: altura máxima de la superficie expuesta a la presión ($z_1 \leq z_2 \leq ah$) (m).

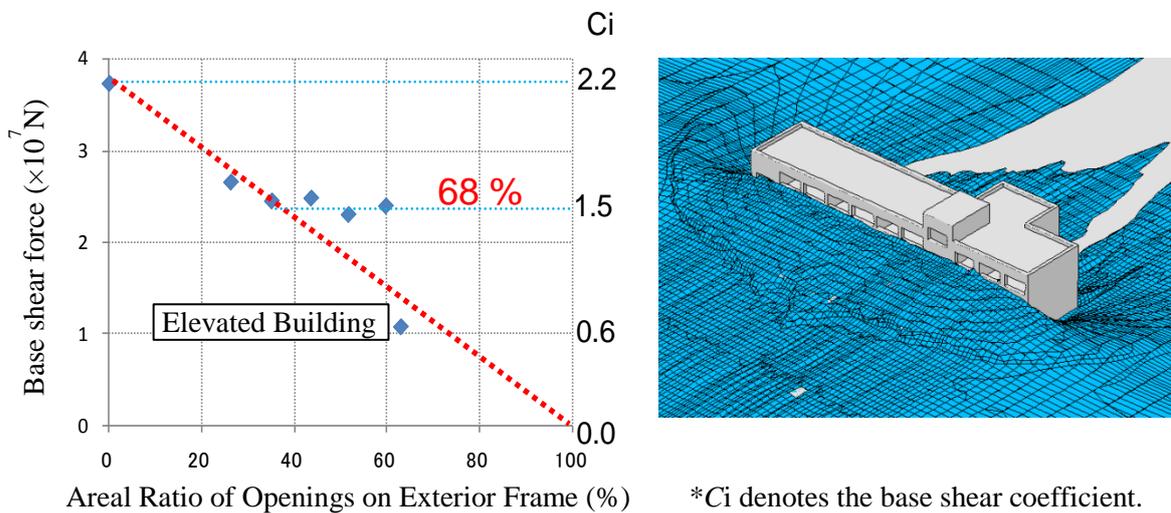


Figura 4.4: Relación entre la fuerza de corte de la base y la relación de área de las aberturas. (Fuente: Okuda et al. 2008)

Este límite del 70 %, por lo tanto, no se aplica a las columnas provistas en el espacio abierto de un edificio de estilo piloto, es decir, un edificio levantado en columnas, para

permitir el paso del tsunami debajo del edificio. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que un edificio tan elevado puede aumentar significativamente el potencial de daños por sacudidas del suelo, y debe diseñarse y construirse con el mayor cuidado para resistir de forma adecuada las sacudidas dañinas del terreno. La fuerza calculada anteriormente se aplica para confirmar la seguridad de todo un edificio contra el colapso, el vuelco y el movimiento lateral, así como de los componentes que no se separan. Para examinar el rendimiento de la fuerza frente al desplazamiento de un edificio

4.3.3. Efectos de Flotabilidad

El levantamiento debido a la flotabilidad tiene el efecto de reducir el peso total de un edificio, lo que puede afectar significativamente la resistencia al vuelco y al movimiento lateral. Después del evento de tsunami de 2011, se investigaron 8 edificios volcados y se descubrió que tenían un índice de apertura pequeño de menos de 0.3. El aumento de agua tendrá efectos significativos sobre la elevación y el vuelco de dicho edificio durante la inundación rápida. Además, la reducción del peso también conduce a la reducción de la resistencia lateral de los miembros estructurales.

La flotabilidad se ve afectada por el volumen de agua que fluye a un edificio, pero en general puede ser difícil predecir con precisión el flujo de agua durante una inundación de tsunami en la etapa de diseño. Además del volumen de agua desplazada de un edificio sumergido y sus componentes, el volumen adicional de agua desplazada por el aire atrapado debajo del sistema de armazón del piso, que a menudo se encontraba en los edificios inundados después del evento de 2011, puede contribuir significativamente a la flotabilidad. Considerando que los pesos unitarios promedio de cada piso en edificios de acero y concreto reforzado en Japón son $8 \text{ kN} / \text{m}^2$ y $13 \text{ kN} / \text{m}^2$, respectivamente, la altura de agua excluida de 0.8 m y 1.3 m en cada planta de un edificio tipo caja puede perder la resistencia a la baja por el peso propio, y las fuerzas de elevación de la flotabilidad, por lo tanto, deben tenerse cuidadosamente en cuenta. En las Pautas 2011, las siguientes suposiciones, como se muestra en la Figura 4.4, se emplean para el diseño del lado seguro.

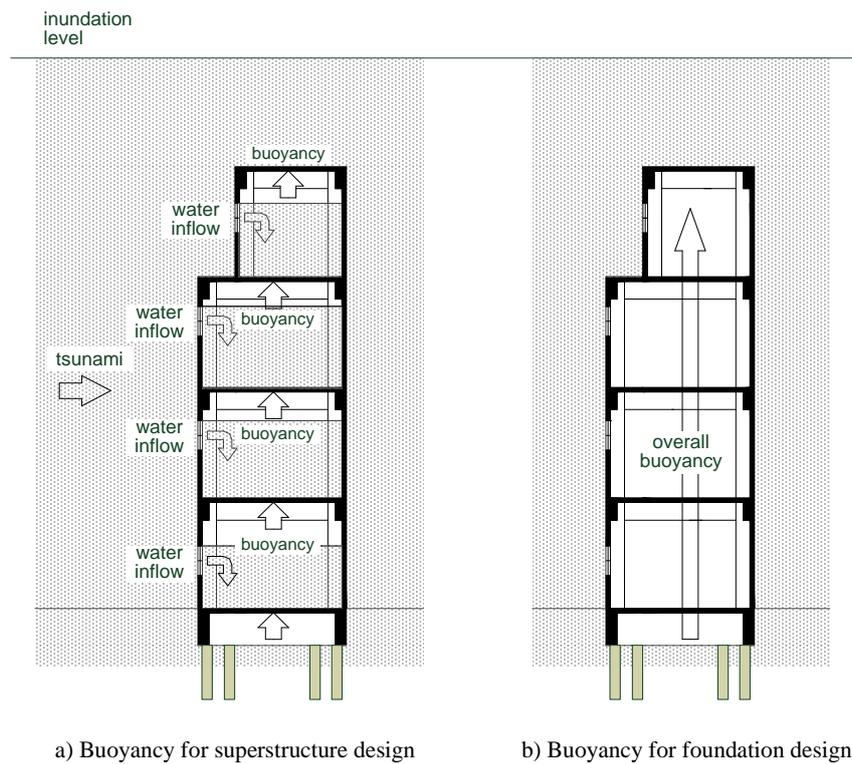


Figure 6. Buoyancy assumptions in the Guidelines 2011. (after NILIM 2012)

Figura 4.5: Supuestos de flotabilidad en las Directrices 2011. (después de NILIM 2012)

1. Al calcular la resistencia lateral de los miembros estructurales para la prevención del colapso, se debe considerar que la flotabilidad debida al volumen de agua desplazado por los miembros y la flotabilidad adicional debido al aire atrapado debajo del piso asumen una fuerza axial mínima que contribuye a la resistencia del miembro. (Figura 6 a)
2. Al calcular las fuerzas axiales que actúan sobre las pilas de cimentación contra el vuelco y la resistencia a la fricción entre la cimentación y la superestructura contra el movimiento lateral, se debe considerar que el levantamiento potencial de la flotabilidad total asume las fuerzas máximas de elevación para el diseño de la cimentación. (Figura 6 b).

4.3.4. Diseño de componentes

Los componentes en los marcos exteriores están expuestos directamente a la presión del tsunami, y se clasifican como elementos de ruptura o no de ruptura. Un componente de rup-

tura no es parte del soporte estructural de un edificio y su diseño y construcción pretende derrumbarse bajo una carga de tsunami específica sin causar daños al sistema de construcción. Los componentes no estructurales en los marcos exteriores que están directamente expuestos a la presión de las olas del tsunami se consideran paneles disidentes y las cargas de tsunami que actúan sobre ellos pueden reducirse si la resistencia de carga permitida de los componentes puede ser menor que las cargas del tsunami. En particular, la contribución de las puertas de entrada residenciales estándar, puertas de persiana, ventanas en un marco exterior que se espera que fallen durante la fase temprana del ataque del tsunami puede despreciarse al calcular las cargas de tsunami que actúan sobre una estructura. Otros componentes no estructurales se pueden considerar paneles disidentes y no necesitan diseñarse para resistir las cargas de tsunami anticipadas, pero los componentes estructurales (y por lo tanto toda la estructura) que los soporta deben diseñarse para resistir eficazmente las cargas transferidas por dichos componentes no estructurales antes de que fallen. Los componentes estructurales son componentes que no se separan y deben estar diseñados adecuadamente para resistir la carga de tsunami de diseño.

4.3.5. Impacto de Escombros

Cuando los tsunamis se propagan tierra adentro, las ondas destructivas pueden transportar desechos como troncos, vehículos, barcos, embarcaciones, contenedores de envío, etc., creando cargas de alto impacto. Diversos tipos de escombros impulsados por el tsunami impactan en las estructuras durante la inundación del tsunami. Se proponen varias fórmulas diferentes para calcular las fuerzas de impacto. Sin embargo, los valores calculados son en general altamente dependientes de cada propuesta. Debido a las incertidumbres involucradas en la estimación de las fuerzas de impacto asociadas con los desechos transportados por el agua, la estrategia de columna faltante se emplea en las Directrices 2011 para minimizar la posibilidad de un colapso progresivo del sistema estructural. Debido a que la estrategia de columna faltante también se ha empleado en el Estándar japonés para evaluación sísmica de edificios RC existentes desde su publicación (JBDPA 1977) y se ha aplicado ampliamente para evaluar edificios en todo Japón, el concepto de prevención de colapso progresivo y sus criterios son por lo tanto bien aceptados construyendo ingenieros en Japón.

4.3.6. Efectos de Socavación

La limpieza alrededor de cimientos poco profundos puede provocar la falla de la estructura o elemento estructural soportado. En general, la profundidad de socavación de tsunami es difícil de predecir debido a las muchas variables que rigen el mecanismo de socavación. Las actuales Directrices 2011 consideran la socavación, pero no proporcionan una guía para calcular la profundidad de socavación. Para minimizar los efectos indeseados del fregado en el sistema estructural, así como del asentamiento diferencial inducido por licuefacción, se deben proporcionar cimientos de concreto profundo (pilotes) para los edificios de evacuación de tsunamis en lugar de cimientos superficiales como cimientos de esteras, debido al potencial de erosión. Eso puede ocurrir durante un tsunami. Los cimientos de concreto profundo extendidos muy por debajo de la profundidad de socavación prevista serían el método de apoyo al edificio más apropiado. Los edificios de concreto sobrevivieron mejor a la inundación del tsunami como se observó en el Gran Terremoto de Japón del 2011.

4.4. Dimensión Estructural y Resistencia Necesaria para Edificios de Tsunami

Las Directrices se aplican para estimar aproximadamente las dimensiones estructurales y la resistencia requerida para los edificios de evacuación de tsunamis. En este estudio de ejemplo, una casa de apartamentos RC de varios pisos con 3,5 m de altura en cada piso, que tiene un sistema de marco de pared de 12 m de largo y un sistema de marco con una resistencia CBX de 0.3 en términos de coeficiente de corte de base en dirección larga, respectivamente, se investiga. Los parámetros son 1.5, 2.0 y 3.0 para el coeficiente de profundidad del agua a y 5 m, 10 m y 15 m para las profundidades de inundación h , respectivamente. Considerando las diferentes combinaciones del coeficiente de profundidad del agua a y la profundidad de inundación h , la carga del tsunami de diseño se calcula de acuerdo con las Directrices 2011, donde se supone que el edificio de ejemplo tiene una relación de apertura de 0.3 (es decir, la reducción de la carga del tsunami es 0.7). A continuación, la resistencia CBY requerida en términos de coeficiente de cortante de base en la dirección corta y la longitud de la construcción en la dirección larga, respectivamente, se calculan, suponiendo que la

construcción es lo suficientemente resistente al vuelco y al movimiento lateral. Dado que los ingenieros de construcción en general están familiarizados con el diseño sísmico pero no con el diseño de tsunamis, los resultados se comparan con el procedimiento de diseño sísmico convencional. La Tabla 2 resume los resultados. Cabe señalar que el número mínimo de pisos para el edificio de evacuación (o la elevación de áreas de refugio de tsunamis) se determina a partir de la siguiente ecuación considerando posibles salpicaduras y una altura de pisos para una asignación adicional para francobordo ya que la mayor acumulación en la fachada de un edificio durante el impacto del tsunami fue de 4 m en la encuesta de campo después del evento de 2011 (IIS UTokyo 2011). En Eq. (4.2), la altura de cada piso se supone 3.5 m.

$$N_{\min} = \text{roundup} [(h + 4,0 (m)) / H] + 1 \quad (4.3)$$

Donde:

N_{\min} : cantidad de pisos requeridas para el edificio en cuestión.

h : profundidad de inundación de diseño (m).

H : Altura de entrepiso (m).

El coeficiente de cortante de base requerido CBY en dirección corta es 0.97 al máximo para $h = 5\text{m}$ (es decir, 5m de profundidad de inundación) y es 0.78 para $h = 10\text{m}$ y $a = 1.5$, respectivamente, y el edificio puede diseñarse de la manera análoga de estándar práctica de diseño sísmico bajo estas cargas de diseño. Sin embargo, el CBY aumenta a 1.44 y el edificio debe tener 60 m de largo para $a = 2.0$, y la resistencia debe ser mayor que la requerida en la práctica estándar de diseño sísmico. Además, el CBY es 2.83 para $a = 3.0$, y las estructuras de los cimientos requerirían una resistencia significativamente alta así como también una superestructura. El edificio requiere una resistencia mucho mayor para $h = 15\text{ m}$, como se muestra en la tabla.

En el estudio de caso anterior, se supone que el edificio tiene la seguridad adecuada para volcar y desplazar lateralmente. Una investigación reciente (Ohta et al., 2013) propone un procedimiento simplificado para identificar rápidamente la condición de diseño más crítica entre la resistencia de la superestructura, el vuelco y el movimiento lateral. El procedimiento se aplica a los edificios RC existentes y los resultados indican que la resistencia al vuelco o

Cuadro 4.2: Coeficiente de corte en la base requerido C_{BY} en dirección corta y longitud de construcción en dirección larga bajo diferentes combinaciones de coeficiente de profundidad de agua a y profundidad de inundación h.

(after Fukuyama and Nakano 2013)

	Inundation depth <i>h</i> (required minimal number of stories)		
	5m (4F)	10m (5F)	15m (7F)
<u>a=3.0</u> Short direction (12m long) Long direction (C _{BX} =0.3)	⊙ C_{BY}=0.97 40m long	△ C_{BY}=2.83 36m long (if C _{BX} =1.0 provided)	△ C_{BY}=4.56 54m long (if C _{BX} =1.0 provided)
<u>a=2.0</u> Short direction (12m long) Long direction (C _{BX} =0.3)	⊙ C_{BY}=0.38 15m long	○ C_{BY}=1.44 60m long	△ C_{BY}=2.42 54m long (if C _{BX} =0.55 provided)
<u>a=1.5</u> Short direction (12m long) Long direction (C _{BX} =0.3)	⊙ C_{BY}=0.30 9m long	⊙ C_{BY}=0.78 33m long	○ C_{BY}=1.36 54m long

*Each symbol denotes;

⊙: Standard seismic design practice can apply,

○ : Standard seismic design practice can apply but supplemental considerations are needed to increase strength, and

△: Special considerations are needed to provide enough strength to foundation structure and superstructure.

movimiento lateral es generalmente menor que la resistencia de la superestructura, y que es necesario desarrollar esquemas racionales para mejorar efectivamente su resistencia al vuelco y movimiento lateral.

EL ASCE 7 ESTANDAR DE DISEÑO EFECTOS Y CARGAS DE TSUNAMI PARA LOS EE.UU.

5.1. Introducción

El Subcomité de Cargas y Efectos del Tsunami del Comité de Normas ASCE / SEI 7 ha desarrollado un nuevo Capítulo 6 - Cargas y Efectos del Tsunami para la edición 2016 del Estándar ASCE 7, Cargas Mínimas de Diseño para Edificios y Otras Estructuras. El Capítulo 6 proporciona cargas y otros requisitos para tsunami y sus efectos. La edición 2016 del capítulo ASCE 7-16 Tsunami Loads and Effects se aplicará inicialmente a los estados de Alaska, Washington, Oregón, California y Hawaii, que son regiones propensas a tsunamis que tienen peligros probabilísticamente cuantificables como resultado de los terremotos tsunamigénicos de mecanismo de subducción.

El Código de Construcción Internacional (IBC) hace referencia a las disposiciones de diseño que figuran en la Norma 7 de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles. El estándar ASCE 7 se convierte en parte de una ley promulgada de código de construcción mediante la adopción del modelo de Código de Construcción Internacional por la autoridad local competente (tales como un estado, condado o ciudad). El IBC incorporaría ASCE 7-16 en 2018. Por lo tanto, se prevé que las primeras disposiciones nacionales de diseño de tsunamis de la ASCE 7-16 se utilizarían como parte de los códigos de construcción obligatorios de las jurisdicciones de EE. UU. Después de 2020. En estos cinco estados occidentales, los

gobiernos federales, estatales y locales reconocen que la mitigación del riesgo de tsunami para la seguridad pública requiere una preparación de emergencia para la evacuación, además de la resiliencia estructural de las instalaciones críticas necesarias para la respuesta inmediata y la recuperación económica y social. El riesgo de seguridad pública ha sido parcialmente mitigado a través de la advertencia y la preparación de la evacuación; hay muchas áreas donde no se puede garantizar la evacuación completa. La lección del reciente tsunami catastrófico es que los registros históricos por sí solos no proporcionan una medida suficiente de las alturas potenciales de futuros tsunamis. El diseño de ingeniería debe considerar la ocurrencia de eventos mayores que los escenarios en el registro histórico, con base en la sismicidad subyacente de las zonas de subducción. Para que las disposiciones de diseño de tsunamis nacionales de EE. UU. Consigan un estándar de fiabilidad consistente de rendimiento estructural para la resiliencia de la comunidad, se lleva a cabo un análisis probabilístico del peligro de tsunami (PTHA) coherente con la sismicidad de origen además de la consideración de escenarios de sucesos históricos.

5.2. Organización de los efectos y cargas de Tsunamis- Capítulo 6 ASCE7-16

El Capítulo 6 de la ASCE 7-16 (ASCE, 2016) está organizado para proporcionar, en orden general, sus requisitos de alcance, métodos para determinar el diseño de profundidad de inundación y las velocidades de flujo en un sitio, las cargas de tsunami para el diseño estructural y los criterios asociados para fundaciones, otros sistemas y estructuras de refugios de evacuación vertical de tsunamis (la tabla 1 enumera las secciones en detalle).

5.3. Categorías de Riesgo de Tsunami

El Estándar ASCE 7 clasifica las instalaciones de acuerdo con las Categorías de Riesgo que reconocen la importancia o criticidad de la instalación. Los requisitos de diseño de tsunamis en el estándar ASCE 7 varían según la categoría de riesgo y la altura. Las estructuras de categoría de riesgo III y Categoría de riesgo IV en la zona de diseño de tsunami están sujetas

Cuadro 5.1: Temas de sección y materias de Chapter 6 Cargas y efectos de Tsunami. Adaptado de ASCE 7-16

Sección	Sección Materia
6.1 Requerimiento General	Alcances
6.2 Definiciones	Terminología
6.3 Símbolos y notación	
6.4 Categoría de Riesgo de Tsunami	Categorías de Riesgo
6.5 Análisis de velocidad y profundidad de Inundación de Diseño	Determinación de Velocidad y Profundidad
6.6 Profundidad y Velocidad de Flujo basado en Run-up	
6.7 Velocidad y profundidad de Flujo Basado en sitio específicos Análisis Probabilístico de riesgo de Tsunami.	
6.8 Procedimientos de Diseño estructural para Efectos de Tsunami.	Bases de carga de fluido de diseño
6.9 Cargas Hidrostáticas	
6.10 Cargas Hidrodinámicas	
6.11 Cargas de Impacto de escombros.	Cargas de Impacto
6.12 Diseño de Fundaciones	Fundación
6.13 Contramedidas Estructurales para cargas de Tsunami.	Mitigación
6.14 Estructuras de Refugio de Evacuación Vertical de Tsunami	Evacuación
6.15 Componentes y sistemas no estructurales Diseñados.	Otros sistemas
6.16 Estructuras no constructivas	
6.17 Estándares de consenso y otros documentos de referencia	Estándares de referencia

a las disposiciones de tsunami de ASCE. Se requiere que las fuerzas hidrodinámicas y de impacto aumenten según un factor de importancia según la categoría de riesgo de tsunami. Las disposiciones no se aplican a viviendas unifamiliares y otras estructuras de armazón ligero, ni se aplican a estructuras de Categoría II de Riesgo de una sola planta o baja altura. Cuando las comunidades con conciencia pública están habilitadas con sistemas de alerta de tsunami con planes de operaciones de emergencia para la evacuación, los edificios de Categoría II de bajo riesgo no están destinados a ser ocupados durante un tsunami.

Las disposiciones no se aplican a viviendas unifamiliares y otras estructuras de armazón ligero, ni se aplican a estructuras de Categoría II de Riesgo de una sola planta o baja altura. Cuando las comunidades con conciencia pública están habilitadas con sistemas de alerta de tsunami con planes de operaciones de emergencia para la evacuación, los edificios de Categoría II de bajo riesgo no están destinados a ser ocupados durante un tsunami. Por el

contrario, siempre que no sea posible la evacuación de la zona de inundación dentro del tiempo disponible, el público intentará utilizar edificios más altos para escapar de la inundación del tsunami, e inherentemente esperan que tales estructuras más altas no colapsen durante el tsunami. Bajo tales circunstancias, la disponibilidad de edificios más altos que son resistentes a los tsunamis es un beneficio directo para la seguridad pública (Fraser, et al., 2012). Por estas razones, se recomienda que el código de construcción de una jurisdicción local también haga que la ASCE 7-16 sea aplicable a edificios de varios pisos al menos una planta más altos que la profundidad de inundación máxima esperada dentro de su zona de diseño de Tsunami. Cuando un estatuto de código de construcción estatal o local requiera incluir el diseño de tsunamis de los edificios de categoría II de riesgo de tsunami, se debe designar una altura media umbral superior al plano de nivelación (la altura tal vez combinada con la clasificación de ocupación) para los criterios de aplicabilidad. La altura del umbral dependerá del peligro de tsunami de su comunidad, sus procedimientos de respuesta al tsunami, los objetivos de recuperación de desastres de toda la comunidad y las reglamentaciones de zonificación. El tiempo de salida de evacuación de una comunidad local también sería una consideración.

5.4. Análisis Probabilístico de Tsunami

Para que las disposiciones de diseño de tsunamis nacionales de EE. UU. Consigan un estándar de fiabilidad consistente de rendimiento estructural para la resiliencia de la comunidad, se lleva a cabo un análisis probabilístico del peligro de tsunami (PTHA) coherente con la sismicidad de origen además de la consideración de escenarios de sucesos históricos. PTHA genera grandes catálogos probabilísticos de formas de onda de tsunami directamente de los mecanismos fuente de acuerdo con las probabilidades de árbol lógico para cada posible mecanismo fuente de subducción (p. Ej., Distribución de deslizamiento y grado de ruptura) consistente con sus tasas de convergencia de placas estimadas, y propaga estas formas de onda a la costa regímenes de las costas. El proceso de PTHA se refinó de acuerdo con un estudio de revisión por pares patrocinado por el Programa Nacional de Mitigación de Riesgos de Tsunami (Estudio Geológico de California, 2015). Los resultados de PTHA se incorporaron por primera vez en los mapas de Amplitud de Tsunamis Offshore de la Geodatabase de Diseño de Tsunami ASCE 7. Estos mapas de peligro en alta mar se definen en un contorno

batimétrico de profundidad de agua de 100 metros mar adentro y sirven para documentar el riesgo probabilístico regional de tsunami. El tsunami máximo considerado (MCT) se define para una probabilidad del 2 de ser excedido en un período de 50 años, o un período de retorno promedio de 2475 años. El MCT es el evento de base del diseño, que consiste en las profundidades de inundación y las velocidades de flujo en las etapas de flujo y flujo de salida más críticas para la estructura.

5.5. Análisis de la Velocidad y Profundidad de Diseño

Hay dos procedimientos para determinar la profundidad y velocidad del flujo en un sitio:

1. Análisis de línea de Pendiente de Energía, que toma la elevación de carrera y el límite de inundación indicados en el mapa Tsunami Design Zone como el punto de solución objetivo de un análisis hidráulico a lo largo de la topografía transectar desde la costa hasta el punto de arribo; la Energy Grade Line determina la variación de la profundidad de inundación y la velocidad de flujo asociada en el perfil interior
2. Un Análisis de inundación específico del sitio bidimensional que utiliza la Amplitud del tsunami costa afuera, el período de oleaje considerado como propiedad conservada y otros parámetros de forma de onda como la entrada a una simulación numérica que incluye un modelo de elevación digital de alta resolución de batimetría nearshore y topografía en tierra. Como se ilustra en la Figura 1, el mapa de Amplitud de Onda del Tsunami Offshore y los parámetros de forma de onda asociados se calibran al nivel de riesgo de 2,475 años para definir el Tsunami de Riesgo Consistente. El propósito principal de esta información es apoyar el análisis de inundación específico del sitio de estructuras de categoría IV donde se utiliza una topimetría y batimetría espacial más detallada con uno de los códigos de software de modelo de inundación 2D de referencia NOAA para determinar el historial de profundidad y velocidad del flujo parámetros para el sitio.

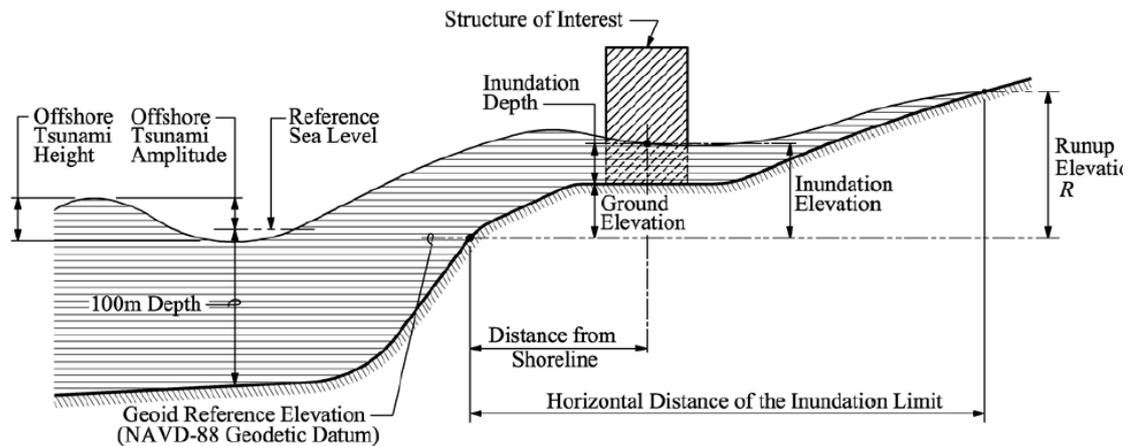


Figura 5.1: Ilustración de las definiciones clave a lo largo de un trayecto de flujo en una zona de diseño de tsunami. Fuente ASCE 7-16

5.6. Procedimientos de Diseño para efectos de Tsunami

Los componentes del edificio se ven sometidos simultáneamente a acciones internas generadas por la carga externa en el sistema de resistencia lateral de fuerza, junto con fuerzas de presión de momento de alta intensidad ejercidas directamente sobre miembros individuales (Chock, et al., 2013). Se requieren tres casos de carga de tsunami definidos por las profundidades de inundación y sus velocidades asociadas.

1. Profundidad de inundación del menor de una planta o la altura de la parte superior de las ventanas del primer piso, cuando la condición mínima de la fuerza hidrodinámica combinada con fuerza de flotación se evaluará con respecto a la profundidad del agua en el interior.

Excepción: No es necesario aplicar la Caso de carga 1 a estructuras abiertas ni a estructuras donde las propiedades del suelo o el diseño estructural y de cimentación evitan la presurización hidrostática perjudicial en la parte inferior de la cimentación y la losa estructural más baja

2. Dos tercios de la profundidad máxima de inundación cuando la velocidad es casi máxima, en cada dirección.
3. Profundidad máxima del agua cuando se supone que la velocidad del flujo es un tercio máximo, en cada dirección.

Las cargas en edificios inicialmente cerrados deben calcularse suponiendo una relación de cierre mínima del 70 del área de superficie expuesta a presión del recinto exterior; esto explica los desechos acumulados a través del agua atrapados contra el costado de la estructura, así como cualquier bloqueo interno causado por los contenidos del edificio que no pueden salir fácilmente de la estructura. Como una cuestión práctica basada en observaciones de edificios sometidos a un tsunami destructivo, no se puede confiar en las paredes "de separación" para aliviar la carga estructural, principalmente debido a la gran cantidad de desechos externos. Además, los pernos y las tuercas pueden ser capaces de atrapar los contenidos dentro de un edificio, generando así fuerzas de arrastre hidrodinámicas sobre los desechos internos que a su vez transfieren esas cargas a la estructura.

5.6.1. Combinaciones de Carga

Las estructuras y los componentes estructurales deben diseñarse para las Fuerzas y Efectos de Tsunami, F_{TSU} , el efecto de carga principal, para direcciones entrantes y retrocesivas, tal como se especifica en las combinaciones de carga de la Ec.5.1 y Eq. 5.2:

$$0,90D + F_{TSU} + H_{TSU} \quad (5.1)$$

$$1,2D + F_{TSU} + 0,5L + 0,2S + H_{TSU} \quad (5.2)$$

Donde

D : Carga Muerta

L : Carga Viva

S : Carga de Nieve

F_{TSU} : Efecto de carga de tsunami para las direcciones de flujo entrante y retroceso.

H_{TSU} : Carga debido a las presiones de cimentación laterales inducidas por el tsunami desarrolladas bajo condiciones sumergidas. Cuando el efecto neto de H_{TSU} contrarreste el efecto de carga principal, el factor de carga para H_{TSU} será 0.9.

5.6.2. Cargas y Efectos Estructurales

Los siguientes efectos de tsunami se consideran para el diseño estructural de edificios y estructuras:

1. Fuerzas hidrostáticas, fuerzas de flotación y cargas de gravedad de fluidos adicionales del agua retenida.
2. Fuerzas hidrodinámicas y fuerzas de elevación hidrodinámicas.
3. Fuerzas de impacto de escombros que dependen de las fuentes de desechos en las proximidades del sitio.
4. Desgaste de la base y efectos de suavización de la presión de poro en el suelo.

5.6.3. Cargas Hidrostáticas

El peso propio neto reducido debido a la flotabilidad debe evaluarse para todos los elementos estructurales y no estructurales inundados del edificio. La flotabilidad también debe incluir el efecto del aire atrapado debajo de los pisos, incluidas las losas estructurales integrales, y en espacios cerrados donde las paredes no están diseñadas para separarse. Se debe permitir que todas las ventanas, excepto las diseñadas para impactos de escombros de gran tamaño transportados por el viento o cargas explosivas, se consideren aberturas cuando la profundidad de inundación llegue a la parte superior de las ventanas o la resistencia esperada del acristalamiento, lo que sea menor.

5.6.4. Cargas Hidrodinámicas

Las cargas hidrodinámicas se desarrollan cuando el fluido fluye alrededor de objetos en el campo de flujo. El efecto del flujo cargado con pequeños desechos se explica con una mayor

densidad de fluidos efectiva. El sistema de bastidor lateral del edificio debe diseñarse para resistir la fuerza de arrastre general desarrollada por el flujo de entrada o salida. Del mismo modo, la carga de presión hidrodinámica lateral se debe aplicar en el área proyectada de todos los elementos estructurales y conjuntos de componentes del recinto por debajo de la profundidad de flujo de inundación.

5.6.5. Regiones de Peligro de Impacto de escombros

Los tsunamis pueden transportar un gran volumen de desechos. Prácticamente cualquier cosa en la trayectoria del flujo que se vuelva boyante en la profundidad de la inundación o que no pueda resistir las fuerzas hidráulicas se convertirá en escombros. Ejemplos comunes son árboles, postes de madera para servicios públicos, automóviles y casas con armazones de madera y partes de los mismos. El impacto de escombros transmitido por el agua se aplica a cualquier elemento estructural del perímetro del sistema de carga de gravedad dentro de la profundidad de inundación en el sitio. Un impacto dinámico de 1,000 lb tronco u objeto similar que viaja a la velocidad máxima de flujo, una fuerza de vehículo de pasajeros flotante de 30,000 lbs. y un peso de 8,000 lbs. Se debe suponer que la fuerza de impacto por roca rodante sumergida (o desechos de masa de concreto) impacta los elementos estructurales verticales del sistema de carga de gravedad. Otras fuerzas de impacto de escombros son aplicables dependiendo de la ubicación de la estructura y posibles desechos especiales, como contenedores de envío en el área circundante que se esperaría que lleguen al sitio durante el tsunami (Riggs, et al, 2014).

Para determinar la extensión de la región de riesgo de impacto de escombros alrededor de un puerto, puerto o patio de contenedores de envío, un enfoque empírico (Riggs, et al., 2015) se basa en la cantidad de desechos flotantes grandes disponibles y la profundidad de flujo en las proximidades, junto con otras estructuras significativas que pueden estar entre el origen de los desechos y la estructura que se está diseñando. En una región sectorial bidireccional, hay una mayor probabilidad de recibir un impacto colisionante (ilustrado en la Fig. 5.2)

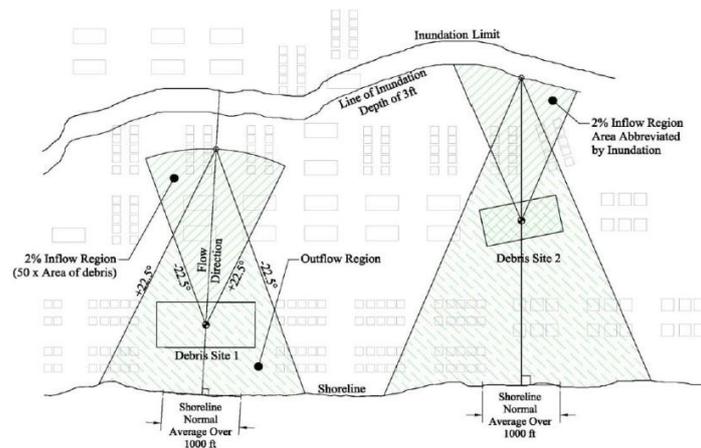


Figura 5.2: Ilustración de Determinación de la Región de Peligro de Impacto de Escombros Flotantes. Fuente ASCE 7-16

Para los edificios y otras estructuras dentro de la región de peligro de impacto de escombros de un puerto de embarque, se debe suponer que se produce un impacto en el contenedor de envío en elementos estructurales verticales perimetrales del sistema de transporte de carga por gravedad. Junto a muelles y muelles, se debe evaluar un impacto masivo extraordinario (como un gran barco) sobre los elementos estructurales verticales del sistema de carga de gravedad de los edificios y estructuras de Categoría III y IV de Riesgo. El efecto más severo de las cargas de impacto dentro de la profundidad de inundación debe aplicarse a los elementos estructurales de carga de gravedad del perímetro ubicados en los ejes estructurales principales perpendiculares al rango de las direcciones de entrada y salida.

5.6.6. Diseño de Fundaciones

El diseño de cimientos de estructuras y barreras de tsunami debe considerar los cambios en la superficie del sitio y las propiedades del suelo in situ durante el tsunami de diseño. El flujo del tsunami alrededor de las estructuras puede causar desgaste local alrededor de los elementos de la cimentación, y el flujo sostenido también puede dar como resultado una erosión general en un sitio. Los ciclos de entrada y salida de tsunami se especifican para incluir la inversión de carga y los efectos de socavación que pueden ocurrir debido a una onda inicial antes de una carga de onda posterior. La carga debe considerar un mínimo de

dos ciclos de flujo y flujo de tsunami, el segundo de los cuales debe estar en el nivel máximo de diseño. Esto es necesario porque la condición del edificio y su base se altera en cada inversión de carga y en cada ciclo de entrada y salida de tsunami. Las cimentaciones profundas deberían diseñarse para resistir cargas de tsunami verticales y laterales durante y después de la erosión y socavación general combinada del sitio. La profundidad de empotramiento de la cimentación y la capacidad de las pilas expuestas para resistir cargas estructurales deben tener en cuenta los efectos acumulativos de la erosión general debida a las inundaciones y al ablandamiento de la presión de poro, así como a la erosión local. La Figura 3 presenta una representación esquemática de la carga aplicable en un elemento de cimentación para la condición de diseño después de que se ha producido desgaste local y erosión general, y hay presencia de presión de poro y efectos de filtración. Este diagrama también se puede aplicar a un sistema de cimentación integrado (como una alfombra) como un todo.

Para materiales no lineales, como los suelos, se supone que existe un estado límite a lo largo de alguna superficie de falla y las acciones resultantes de un análisis de equilibrio se comparan con la resistencia nominal reducida para ese material. Por lo tanto, este enfoque se denomina comúnmente análisis de equilibrio límite. Para garantizar que no se produzca la falla asumida, se aplica un factor de resistencia a la resistencia nominal del material. Los mecanismos de falla típicos evaluados en los análisis de estabilidad de la base son:

- ⇨ Deslizamiento lateral (debido a las fuerzas del tsunami con los efectos adicionales de cualquier presión lateral desequilibrada causada por la erosión local en un lado).
- ⇨ Levantamiento o flotación.
- ⇨ Análisis de estabilidad de la pendiente (debido a la saturación y los efectos de suavización de la presión de poro de la inundación).
- ⇨ Capacidad de carga (donde las propiedades de resistencia del suelo pueden verse afectadas por las presiones de poro sostenidas; sin embargo, las fallas de deslizamiento lateral normalmente ocurren antes de las fallas de carga reales del rodamiento).

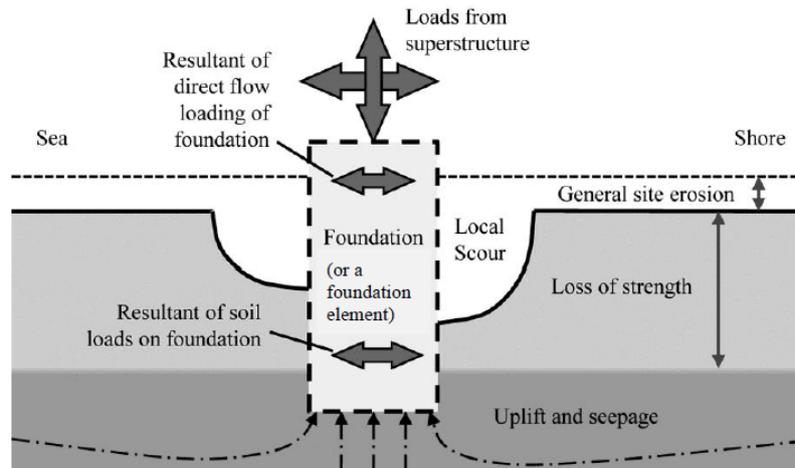


Figura 5.3: Esquema de la condición de carga de tsunami para una fundación o elemento de cimentación. Fuente ASCE 7-16

5.6.7. Fundación y Contramedidas Estructurales para las Cargas y los Efectos del Tsunami

La potencial magnitud o gravedad extrema de la carga de tsunami justifica el uso de contramedidas estructurales robustas o redundantes, incluidas estructuras abiertas, y el uso de barreras de mitigación de tsunamis capaces o resistentes a la carga y socavación de tsunamis, ubicadas en posiciones para proteger edificios o comunidades importantes.

5.6.8. Estructuras Verticales de Refugio de Evacuación

Las estructuras de refugios de evacuación vertical son una clasificación especial de edificios y estructuras dentro de la zona de evacuación de tsunamis designados como medios de evacuación alternativa en comunidades donde no existe un terreno suficientemente alto o donde el tiempo disponible después de la advertencia de tsunami no se considera adecuado para evacuación completa antes de la llegada del tsunami. Una consideración particularmente importante es la elevación y la altura del refugio, ya que debe proporcionar seguridad de vida estructural para los ocupantes dentro de una parte del refugio que no está inundada. Por lo tanto, es necesario un mayor conservadurismo en la estimación de la altura de inundación. La elevación mínima para un área de refugio de tsunami es, por lo tanto, la elevación Máxima

Considerada de Corrimiento de Tsunami anticipada en el sitio, aumentada en un 30, más 10 pies (3 metros), como se ilustra en la Fig. 5.4.

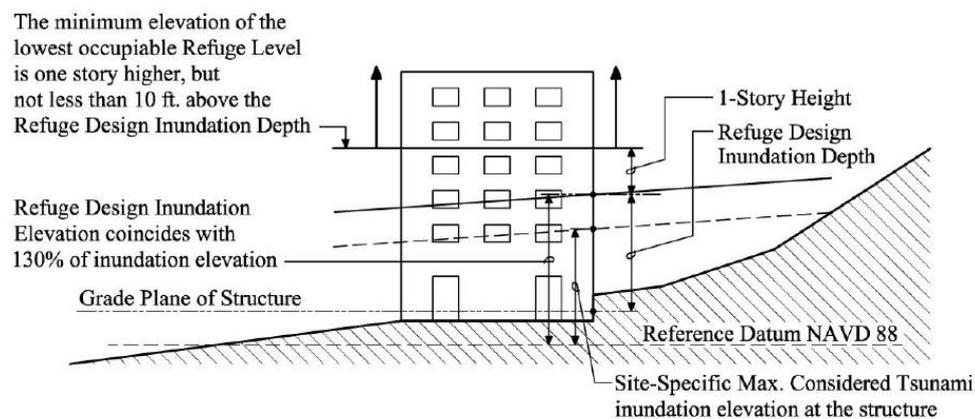


Figura 5.4: Mínima Elevación de Refugio y Inundación de Diseño. Fuente ASCE 7-16

5.6.9. Diseño de Componentes y Sistemas no Estructurales

Los componentes y sistemas no estructurales diseñados requieren atención especial ya que son necesarios para continuar desempeñando su función después de los eventos de terremoto y tsunami. Desde la perspectiva del tsunami, hay dos enfoques que pueden usarse para asegurar mejor que los componentes no estructurales designados funcionarán según sea necesario. Un enfoque es ubicar los componentes en la estructura de interés por encima de la elevación máxima de inundación por tsunami considerada. El otro enfoque es proteger los componentes de los efectos de la inundación.

5.6.10. Estructuras no Edificables

Desde la perspectiva del tsunami, hay cuatro o más enfoques que se pueden usar para diseñar estructuras que no sean edificios para resistir los efectos del tsunami. El primero es diseñar la estructura y su base para resistir directamente los efectos de las fuerzas del tsunami. El segundo es ubicar la estructura no edificable de manera segura sobre la elevación máxima de inundación máxima del tsunami considerado. El tercer enfoque es proteger los componentes de los efectos de inundación. Un cuarto enfoque es diseñar una barrera protec-

tora para mitigar la profundidad del flujo a un nivel sustentable por la estructura (en lugar de mantener la estructura completamente seca).

EJEMPLO DE APLICACIÓN: ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN EDIFICIO ANTE FUERZAS DE TSUNAMIS

6.1. Introducción

En este capítulo se desarrolla el análisis y diseño de un edificio de Evacuación Vertical de concreto armado resistente a fuerzas Sísmicas y de Tsunamis, localizado en el distrito de Chorrillos, Provincia y Departamento de Lima perteneciente al Club Regatas Lima.

Para el Análisis y diseño Sísmico se sigue el procedimiento indicado en la Normativa Peruana, para ello se contará con las indicaciones vertidas en las norma Norma Técnica de Edificaciones empleándose las siguientes normas:

- ⇔ NTE-E020-Cargas.
- ⇔ NTE-E030-Diseño Sismorresistente.
- ⇔ NTE-E050-Suelos y Cimentaciones.
- ⇔ NTE-E060-Diseño Concreto Armado.

Para el análisis ante cargas de Tsunamis el desarrollo estará basado en las recomendaciones de los Requisitos de Diseño Estructural para Edificios de Evacuación de Tsunamis

para el Japón así como en el Standar del ASCE7-16 Diseño Efectos y Cargas de Tsunami para los EE.UU, para lograr dicho propósito se empleará ambas normativas combinando los distintos criterios vertidos en dichas normativas.

6.2. Información General

Empleando las consideraciones del Estándar de Diseño del ASCE 7-16 Efectos y Cargas de Tsunami así como los Requerimientos de Diseño Estructural para edificios de Evacuación de Tsunami en Japón, se realiza el Análisis y Diseño de un Edificio de 11 pisos de concreto armado, para dicho calculo se hizo uso el programa ETABS V16.2.

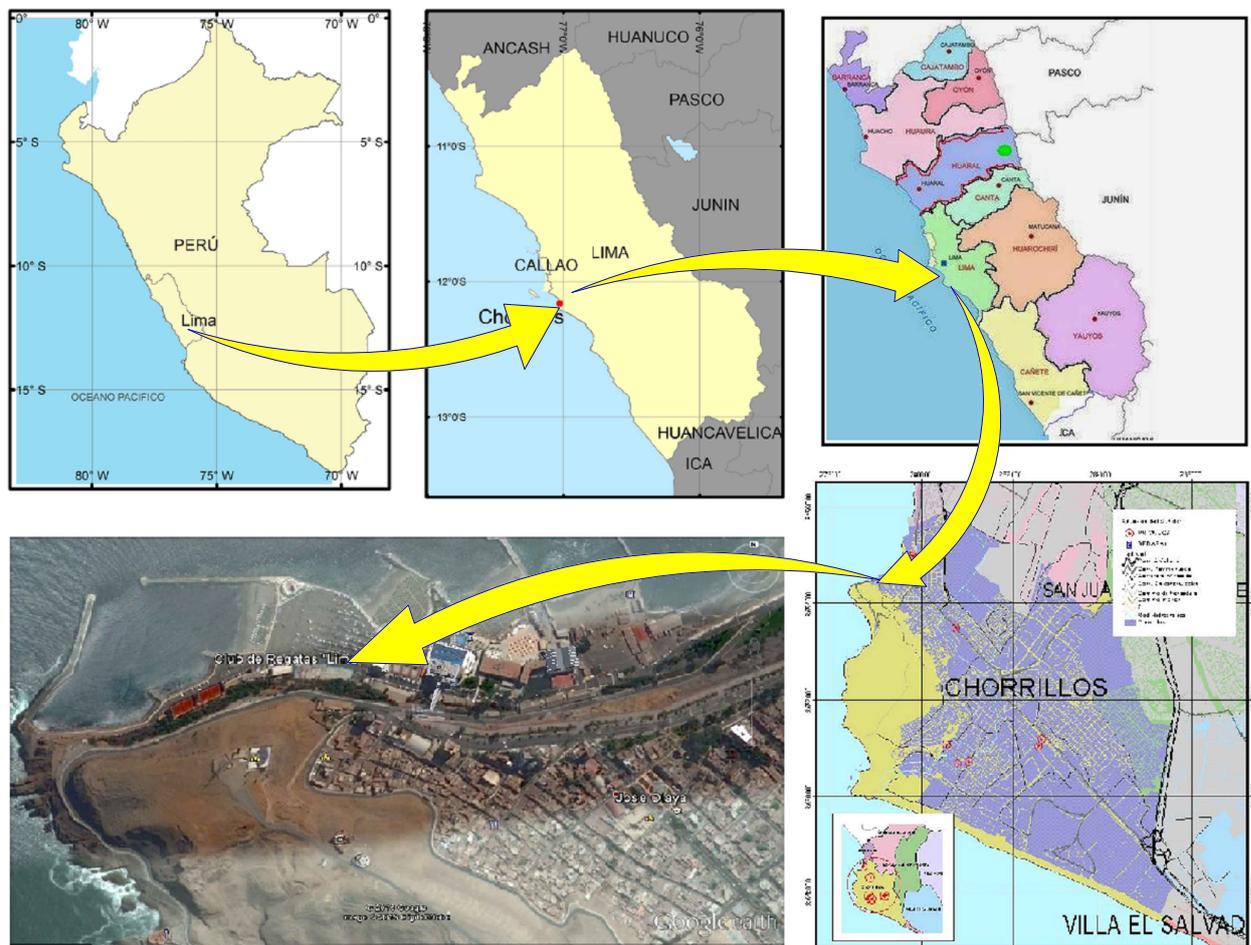


Figura 6.1: Ubicación y Localización del Proyecto. Fuente: Elaboración Propia

⇨ Ubicación del Edificio: Chorrillos-Lima-Perú. (Ver Fig.6.1)

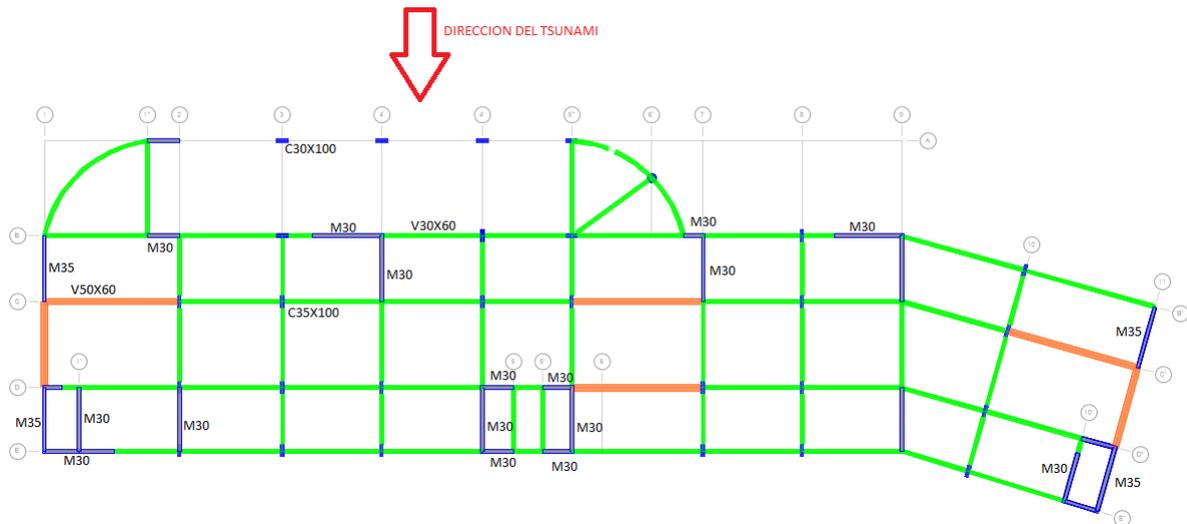


Figura 6.2: Planta de Edificio sujeto de cargas de tsunami

- ⇨ Uso: Estacionamientos y Evacuación en caso de Tsunami.
- ⇨ Sistema estructural: Muros estructurales de Concreto Armado.
- ⇨ Sistema de techo: Losas macizas de 17cm.
- ⇨ N° de pisos: 11 pisos.
- ⇨ Altura de entrepiso: 3.9m primer piso, resto 2.8m.
- ⇨ Altura Total de edificio: 31.90m.
- ⇨ Distancia de la estructura a la orilla de Mar: 120.0m aprox.

6.3. Configuración Estructural

El edificio en análisis mantiene un sistema estructural de Muros Estructurales de Concreto Armado, conformado por muros de concreto, en combinación con vigas y columnas las cuales sirven de apoyo a las losas y brindan resistencia lateral a la estructura, las losas son considerados para efectos a cálculo como diafragmas infinitamente rígidos en su plano,

los cuales se encargaran de la distribución uniforme de las cargas laterales a los elementos vigas, columnas y muros.

Es necesario tener en cuenta que para una estructura de n pisos con diafragmas horizontales en cada nivel (infinitamente rígidos en su plano) se considera, para efectos de análisis, que la presión q_A actúa en cada nivel. La línea de aplicación de las fuerzas F_i coincide con el punto medio del lado que enfrenta a la acción del tsunami.

6.4. Características de los Materiales

Concreto:

- ⇨ Resistencia nominal a compresión: $f'_c=280, 350$ y 420 Kg/cm^2
- ⇨ Modulo de elasticidad : $15000\sqrt{f'_c} \text{ Kg/cm}^2$
- ⇨ Módulo de Poisson : 0.2

Acero de refuerzo:

- ⇨ Acero corrugado grado 60, esfuerzo a la fluencia: 4200 Kg/cm^2 .

6.5. Cargas Unitarias y Sobrecargas

Peso Volumétrico:

- ⇨ Peso Volumétrico de concreto Armado : 2400 Kg/m^2
- ⇨ Peso Volumétrico del agua de mar con sedimentos : 1200 Kg/m^2

Sobrecargas:

- ⇨ Sobrecarga estacionamiento : 250 Kg/m^2
- ⇨ Sobrecarga Evacuación ante tsunami : 500 Kg/m^2

Se considera para el análisis sísmico y Tsunami $S/C=500\text{kg/m}^2$.

6.6. Cálculo Sísmico de la Estructura

El análisis sísmico comprende tanto el Análisis Dinámico Espectral como el Análisis Estático, para efectos del presente trabajo se concluye que la estructura presenta un comportamiento adecuado ante cargas sísmicas tanto en análisis y diseño de la estructura completa los cuales se reflejan en los resultados detallados mas adelante.

6.6.1. Parámetros de diseño sísmico

- ⇨ Factor de Zona (Z) : 0.45 (Zona 4)
- ⇨ Factor de Uso (U) : 1.30 (Categoría B-Edificación Importante).
- ⇨ Factor de Suelo (S): 1.00 (Tipo de suelo S1)
- ⇨ T_p : 0.40
- ⇨ TL : 2.50
- ⇨ T_{X-X} : 0.619s (Periodo fundamental de la estructura en X-X del análisis modal)
- ⇨ T_{Y-Y} : 0.675s (Periodo fundamental de la estructura en Y-Y del análisis modal)
- ⇨ R_0 : 6.00 (Sistema Estructural de muros estructurales)
- ⇨ I_a : 1.00 (Factor de irregularidad en Altura)
- ⇨ I_p : 0.90 (Factor de irregularidad en Planta-Esquina Entrante)

6.6.2. Modelado de la Estructura

Para el desarrollo del análisis y diseño de la estructura se hizo uso del software ETABS V16.2.1, se desarrolla el modelado en dicho programa en base a una configuración estructural resultado de un predimensionamiento y estructuración en la etapa de anteproyecto a partir de los planos arquitectónicos, dicho proceso no es detallado en el presente trabajo.

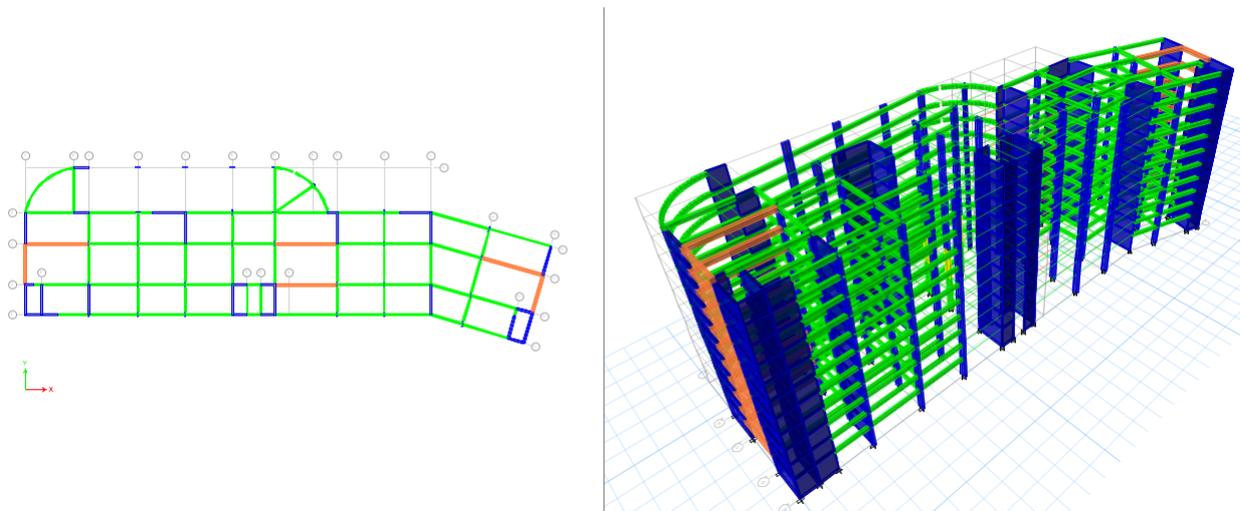


Figura 6.3: Muestra Planta y 3D del modelado de la Estructura en el ETABS

6.6.3. Resultados del Análisis Estático y Dinámico

6.6.3.1. Cálculo del Cortante Mínimo

TABLE: Auto Seismic - User Coefficients										
Load Pattern	Type	Direction	Eccentricity	Ecc. Overridden	Top Story	Bottom Story	C	K	Weight Used	Base Shear
			%						tonf	tonf
EQXX	Seismic	X + Ecc. Y	5	No	Story11	Base	0.18	1.1	18014.38	3242.59
EQYY	Seismic	Y + Ecc. X	5	No	Story11	Base	0.16	1.1	18014.38	2882.30

Cuadro 6.1: Muestra Peso del edificio y cortante basal Mínimo del Análisis Estático

TABLE: Story Forces									
Story	Load Case/Combo	Location	P	VX	VY	T	MX	MY	
			tonf	tonf	tonf	tonf-m	tonf-m	tonf-m	
Story1	EXX Max	Bottom	0.00	2147.74	1000.56	62910.69	22767.25	45700.42	
Story1	EYY Max	Bottom	0.00	1000.56	2168.02	103626.19	45828.78	22193.70	

Cuadro 6.2: Muestra Peso del edificio y cortante basal del Análisis Dinámico

De acuerdo a la Norma Peruana E.030 el cortante mínimo de diseño será definido entre el 90% del cortante mínimo estático y el cortante del análisis dinámico para el caso de estructuras que poseen irregularidad; por tanto de los cuadros 6.1 y 6.2 se determina que el cortante mínimo de diseño será $V_{X-X} = 2918,33Tn$ y $V_{Y-Y} = 2594,07Tn$ para las direcciones X e Y respectivamente.

También la Norma especifica que no es necesario realizar el control de deformaciones con el cortante mínimo de diseño pero si obliga a que el cortante sea reajustado con un factor para el diseño de los elementos estructurales, dicho factor se obtiene de la relación entre el cortante mínimo y el cortante dinámico teniéndose $FC_{X-X} = 1,36$ y $FC_{X-X} = 1,20$ para las direcciones X e Y respectivamente.

6.6.3.2. Calculo del Irregularidad Torsional

TABLE: Control Torsion				
Story	Elevation (m)	Drif _{CM X-X}	Drif _{MAX X-X}	Drif _{MAX X-X} /Drif _{CM X-X}
Story11	31.9	0.0034	0.0037	1.09
Story10	29.1	0.0037	0.0041	1.11
Story9	26.3	0.0040	0.0044	1.10
Story8	23.5	0.0043	0.0046	1.09
Story7	20.7	0.0045	0.0048	1.07
Story6	17.9	0.0046	0.0049	1.07
Story5	15.1	0.0046	0.0049	1.05
Story4	12.3	0.0045	0.0046	1.04
Story3	9.5	0.0041	0.0042	1.03
Story2	6.7	0.0034	0.0035	1.03
Story1	3.9	0.0018	0.0019	1.03

Cuadro 6.3: Muestra relación entre $Drift_{Max}/Drift_{CM}$ X-X para el control de la irregularidad Torsional

TABLE: Control Torsion				
Story	Elevation (m)	Drif _{CM_Y-Y}	Drif _{MAX_Y-Y}	Drif _{MAX_Y-Y} /Drif _{CM_Y-Y}
Story11	31.9	0.0046	0.0055	1.18
Story10	29.1	0.0051	0.0057	1.11
Story9	26.3	0.0052	0.0058	1.11
Story8	23.5	0.0053	0.0058	1.11
Story7	20.7	0.0052	0.0058	1.11
Story6	17.9	0.0051	0.0056	1.10
Story5	15.1	0.0048	0.0053	1.10
Story4	12.3	0.0044	0.0048	1.10
Story3	9.5	0.0038	0.0041	1.10
Story2	6.7	0.0029	0.0032	1.09
Story1	3.9	0.0014	0.0016	1.09

Cuadro 6.4: Muestra relación entre $Drift_{Max}/Drift_{CM}$ Y-Y para el control de la irregularidad Torsional

Normativa mente es necesario verificar las irregularidades que pudieran existir tanto en planta como en altura, para ello es necesario cuantificar o calificar dichas irregularidades; sin embargo entre todos los casos que se tiene, la irregularidad torsional no puede ser obtenida directamente, para ello es necesario contar con la relación entre las derivas máximas de entrepiso y la deriva del centro de masa $Drift_{Max}/Drift_{CM}$ para la Norma Peruana dicho valor debe ser que $< 1,2$ para que la estructura no califique con la irregularidad torsional, por tanto de los cuadros 6.3 y 6.4 se concluye la estructura no posee irregularidad Torsional.

Sin embargo la estructura posee irregularidad en planta (Esquina entrante), el resto de irregularidades dedido a la regularidad tanto en planta como en altura fue determinada como no irregular.

6.6.3.3. Control de derivas de Entrepiso

TABLE: Story Drifts				
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift $\Delta_{elastic}$	Drift $\Delta_{inelastic}$
Story11	EXX	X	0.0007	0.0037
Story10	EXX	X	0.0008	0.0041
Story9	EXX	X	0.0008	0.0044
Story8	EXX	X	0.0009	0.0046
Story7	EXX	X	0.0009	0.0048
Story6	EXX	X	0.0009	0.0049
Story5	EXX	X	0.0009	0.0049
Story4	EXX	X	0.0009	0.0046
Story3	EXX	X	0.0008	0.0042
Story2	EXX	X	0.0007	0.0035
Story1	EXX	X	0.0004	0.0019

Cuadro 6.5: Muestra la deriva máxima de entrepiso en X-X del análisis Dinámico

TABLE: Story Drifts				
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift $\Delta_{elastic}$	Drift $\Delta_{inelastic}$
Story11	EYY	Y	0.0010	0.0055
Story10	EYY	Y	0.0010	0.0057
Story9	EYY	Y	0.0011	0.0058
Story8	EYY	Y	0.0011	0.0058
Story7	EYY	Y	0.0011	0.0058
Story6	EYY	Y	0.0010	0.0056
Story5	EYY	Y	0.0010	0.0053
Story4	EYY	Y	0.0009	0.0048
Story3	EYY	Y	0.0008	0.0041
Story2	EYY	Y	0.0006	0.0032
Story1	EYY	Y	0.0003	0.0016

Cuadro 6.6: Muestra la deriva máxima de entrepiso en Y-Y del análisis Dinámico

De los cuadros, 6.5, 6.6 se concluye que la deriva máxima de entrepiso es 0.0058 el cual es mucho menor a lo exigido por la norma E.030 (0.0070) siendo satisfactorio la resistencia lateral del edificio frente a fuerzas sísmicas.

6.7. Análisis ante cargas de tsunamis

Como objetivo se propone un procedimiento de análisis y diseño para cargas de Tsunami, dicho desarrollo se realizará de acuerdo a las procedimientos de directrices Japonesas, para ello la secuencia de pasos a desarrollar estará basado de acuerdo a la Fig. 6.4.

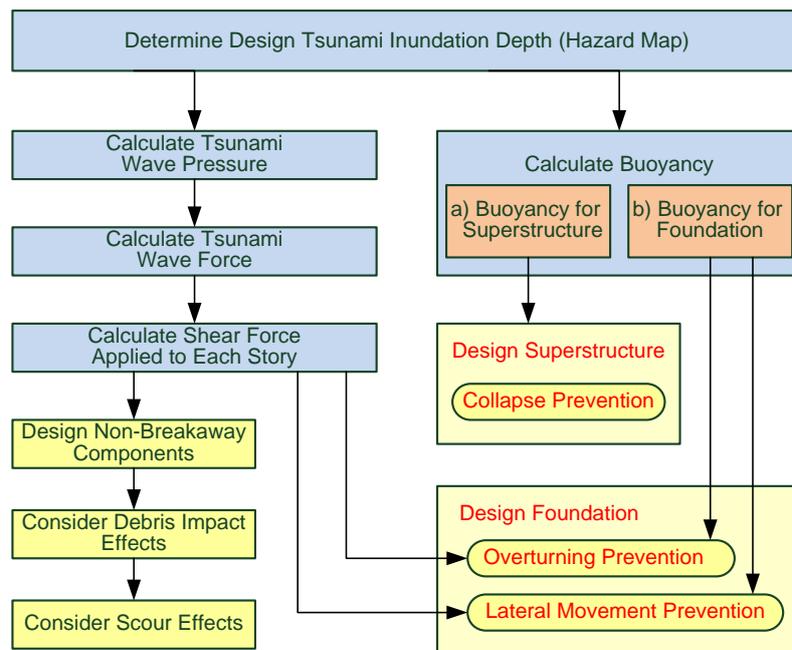


Figura 6.4: Procedimiento general de diseño estructural. (Fuente de NILIM 2012)

Para fines del presente trabajo respecto al análisis y diseño este contempla solamente el diseño de la super-estructura considerando que la estructura de sub-estructura ya se encuentra resguardada y que las cargas actuantes son netamente las del agua sin considerar efectos de impacto así como el boyamiento.

La metodología se basa en la recopilación de antecedentes (alturas de ola, velocidad de flujo, etc.) de tsunami pasados y en simulaciones realizadas por la DHN para las localidades costeras del Perú, específicamente para el distrito de chorrillos para luego generar las cargas y obtener finalmente los esfuerzos a los que serán sometidos los elementos estructurales.

El procedimiento se aplica a un edificio de hormigón armado de 11 pisos, considerando combinaciones de altura del flujo (5, 7 y 10 m) y velocidad (3, 5 y 12 m/s).

6.7.1. Determinación de la Altura de Inundación de Diseño de Tsunami

Para el cálculo de las fuerzas actuantes en la estructura debido al Tsunami fue necesario contar en principio con los parámetros físicos de un Tsunami como la altura máxima de inundación o Run-up y la velocidad de flujo, las cuales fueron obtenidas de un estudio de análisis probabilístico de peligro de Tsunami realizadas en la DHN (Dirección de Hidrográfica y Navegación del Perú) para un evento sísmico de magnitud 9.0 Mw (Modelo basado en la fuente sísmica del sismo de 1746. Fuente DHN), las mismas que fueron solicitadas a dicha entidad, siendo estos:

⇨ Altura máxima de Inundación (H_{max}) : 10.00m

⇨ velocidad de Flujo (V) : 12.00m/s

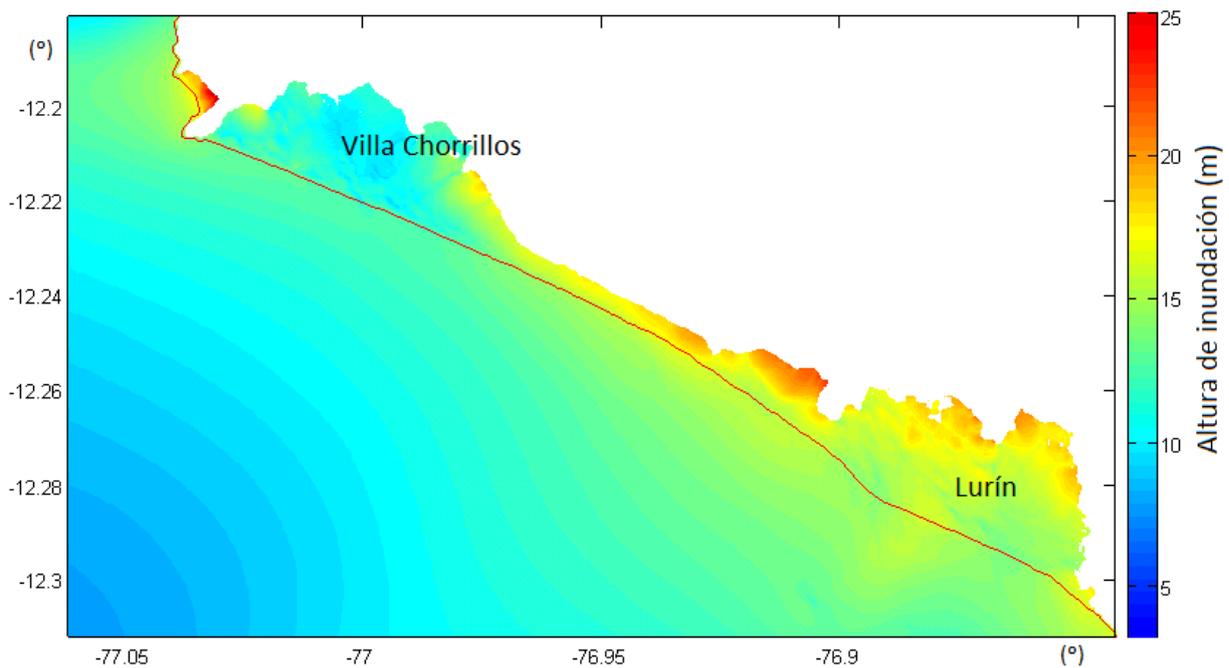


Figura 6.5: Mapa de Inundación para la Zona de Villa Chorrillos y Lurín. Fuente DHN



Figura 6.6: Imagen satelital para la zona de Villa - Chorrillos. La inundación máxima está en color azul para el evento sísmico de 9.0 Mw. Fuente. DHN

6.7.2. Cálculo de la Presión y Cargas de Tsunami

En base a los parámetros descritos en la sección anterior se obtuvieron las cargas a ser aplicadas a la estructura, así mismo se desarrolló el análisis para alturas menores de Inundación máxima (5m y 7m).

Para el cálculo de las cargas de tsunamis se tuvo en cuenta las consideraciones de los Requerimientos de Diseño estructural para Edificios de Evacuación de Tsunami en el Japón. Dicha guía sugiere que la máxima profundidad de Inundación h_{max} puede ser obtenida de mapas de peligro de tsunami a partir de simulaciones numéricas utilizando la teoría de agua someras, salvo se cuente con registros de inundación en la zona de ubicación del edificio en análisis.

Dicho h_{max} deberá ser factorado por el coeficiente a (coeficiente de altura de inundación) dicho valor sera de acuerdo a la indicación de la fig. 4.3 el cual depende de la ubicación de

la estructura. Por tanto la altura de inundación de diseño sera ah_{max} .

En el caso de que se cuente con aberturas en el frente de la dirección del flujo de tsunami dicha normativa da indicaciones que es posible reducir la carga hidrostática en un 30% como máximo, a pesar de que la estructura tenga ratios mayores de apertura, dicho valor de reducción se basa en resultados de nuevas simulaciones numéricas.

La presión aplicada con la ah_{max} también considera los efectos hidrodinámicos del flujo por tanto cabe indicar que la normativa Japonesa considera tanto la presión hidrostática e hidrodinámica en una sola altura máxima de diseño, es necesario indicar que en el caso de la recomendación del FEMA P646,2008 el cálculo de las presiones se realiza por separado donde la altura máxima de diseño para el caso de presión hidrostática tiene un factor de 1.3 y para la presión Hidrodinámica se considera la formulación de flujo de momentum lineal.

Bajo las consideraciones mencionadas se realizo el calculo de la fuerza de tsunami para altura de 5m, 7m y 10m los cuales se pueden ver en el Anexo B.

Queda claro que para lograr el objetivo solo es necesario trabajar con un solo valor de la altura de inundación, sin embargo, el autor considera pertinente realizar los cálculos adicionales para alturas menores a la máxima esperada con el fin de observar las alturas mínimas donde las solicitaciones sísmicas son superadas.

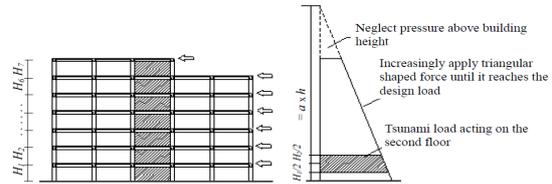
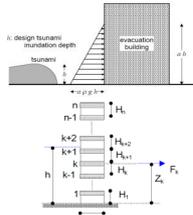
En base a lo descrito, la Fig.6.7 muestra los resultados de las cargas obtenidas a ser aplicadas para la condición más critica, el resto de los cálculos se puede ver en el Anexo B.

Dichas cargas obtenidas representan cargas equivalentes estáticas las mismas que serán aplicadas en cada entrepiso(aplicados en el centro de masa del diafragma que conforma los entrepisos de la estructura), esto se ve claramente en la fig. 6.7 (Muestra presiones aplicadas a la estructura) y la fig. 6.8 (Cargas concentradas equivalentes)

CARGAS HIDROSTATICAS DE TSUNAMIS EN EDIFICIOS (h=10m, a=3)

PROYECTO: CLUB REGATAS LIMA

N° de PISOS:	11
Ancho de la Estructura B (m):	87.50
Altura maxima de Inundacion (m):	10
Dist. de la Edificacion a la orilla (m):	127
Estructura de Disipacion de Energia:	NO
Coefficiente de Altura de Inundacion a:	3
Altura de Inundacion de Diseño (m):	30
Gravedad (m/s ²):	9.81
Densidad del Mar (Tn/m ³):	1.2
% de efecto de Aberturas	70 %



PISO	H Entrepiso	H Tributar.	Z (m)	qz (Tn/m ²)	Qz (Tn)
1	3.9	3.35	1.95	23.11	6370.79
2	2.8	2.8	5.30	20.35	4704.03
3	2.8	2.8	8.10	18.05	4138.74
4	2.8	2.8	10.90	15.74	3573.45
5	2.8	2.8	13.70	13.43	3008.16
6	2.8	2.8	16.50	11.12	2442.87
7	2.8	2.8	19.30	8.82	1877.58
8	2.8	2.8	22.10	6.51	1312.28
9	2.8	2.8	24.90	4.20	746.99
10	2.8	2.8	27.70	1.90	232.17
11	2.8	1.4	30.50		

$$q_z = \rho g (a h - z) \quad Q_z = \rho g \int_{z_1}^{z_2} (a h - z) B dz$$



H Total (m)= 31.9

V Total (m)= 28407.07

Figura 6.7: Cuadro Muestra fuerzas de Tsunami para altura de Inundación de h=10m y a=3

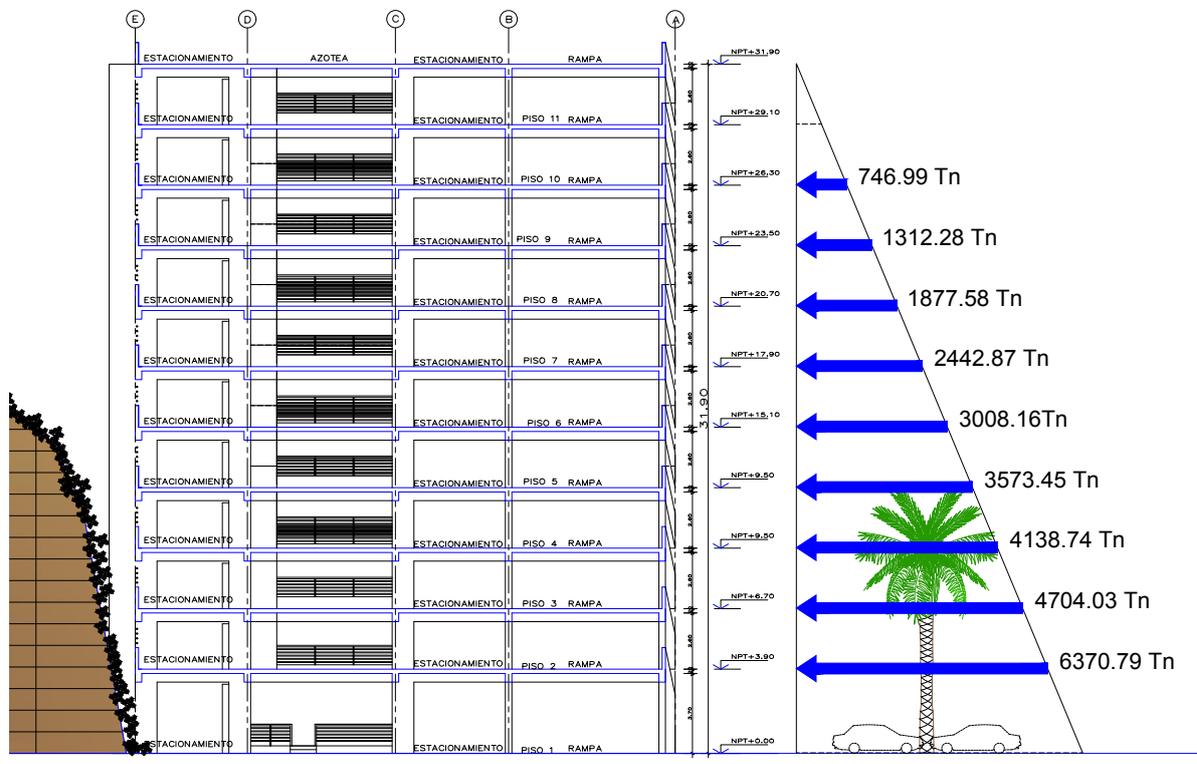


Figura 6.9: Distribución de Cargas de Tsunami para altura de Inundación de h=10m y a=3

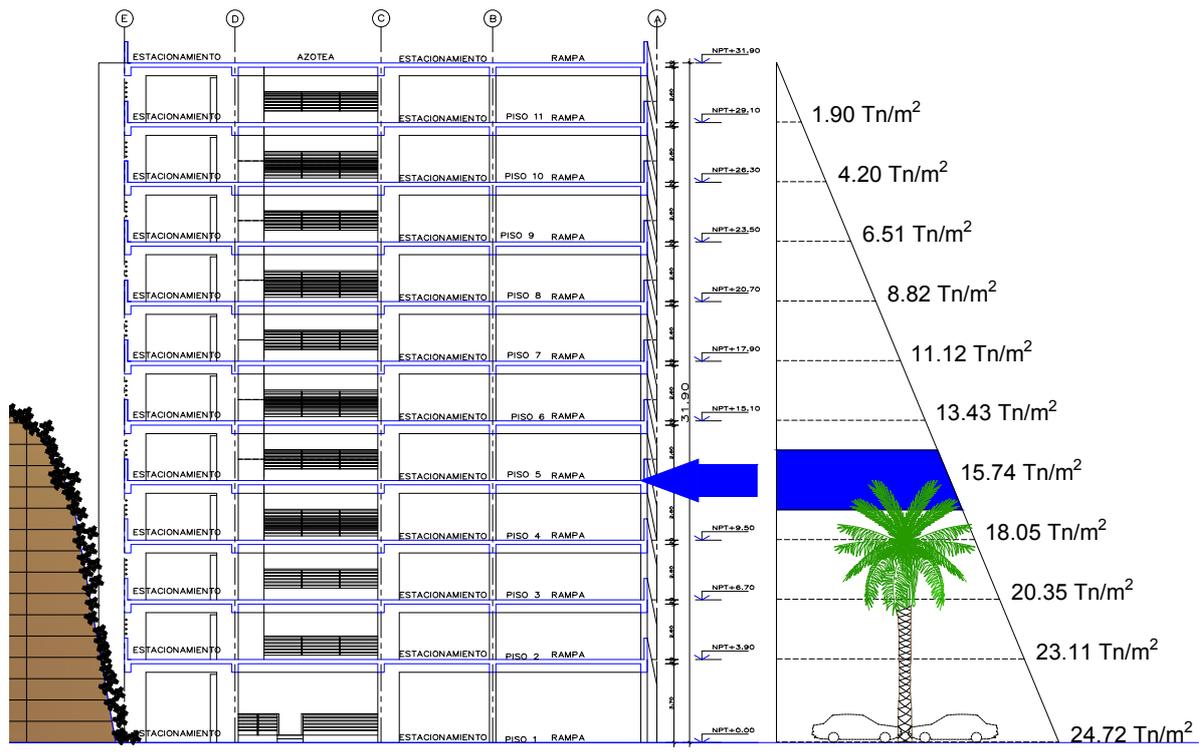


Figura 6.8: Distribución de presiones de Tsunami para altura de Inundación de $h=10m$ y $a=3$

6.7.3. Resultados de cargas de Tsunami

A continuación se detallan los resultados de la fuerzas cortante y coeficientes sísmicos frente a fuerzas de tsunami.

6.7.3.1. Calculo del cortante de Tsunami

CORTANTE DE BASE POR TSUNAMI (Tn)			
h (m)	5m	7m	10m
$\alpha=3.0$	6210 Tn	13150.69 Tn	28407.07 Tn
$\alpha=2.0$	2397.89 Tn	5261.84 Tn	11798.75 Tn

P Total del Edificio (Tn)= 18014.38 Tn

Cuadro 6.7: Muestra el cortante basal para las alturas 5m, 7m y 10m.y $a=2$, $a=3$

6.7.3.2. Cálculo de los Coeficientes de Tsunami

COEFICIENTES SISMICOS C_{by}			
h (m)	5m	7m	10m
$\alpha=3.0$	$C_{by}=0.35$ (*)	$C_{by}=0.74$ (*)	$C_{by}=1.58$ (**)
$\alpha=2.0$	$C_{by}=0.14$ (*)	$C_{by}=0.3$ (*)	$C_{by}=0.66$ (*)

Cuadro 6.8: Muestra los coeficientes sísmicos C_{by}

De cuadro 6.8 se concluye:

- (*): Para consideración de diseño y análisis se puede contemplar las consideraciones sísmicas. Ya que este valor indica que no se tendrán problemas de estabilidad tanto por volteo y deslizamiento.
- (**): Para consideración de diseño y análisis se deberá prestar atención al diseño de la subestructura. En este caso ya se tiene problemas de deslizamiento.

6.7.4. Esfuerzos generados en la Estructura

Del análisis ante sollicitaciones Sísmicas y de Tsunami es posible presentar la variación del esfuerzo cortante y del momento de volteo global de la estructura a partir del cual podemos tener un comparativo de dichas sollicitación y en que grado de magnitud difieren, las fig. 6.7 y 6.8 muestran la fuerza cortante y el momento de volteo respectivamente.

De la Fig. 6.10 se observa claramente que la fuerza cortante para la sollicitación Tsunami para alturas de diseño $h=10m$ y factor $\alpha=3$ el esfuerzo corte es tremendamente superior a la máxima sollicitación sísmica, por tanto para el caso de diseño de la estructura se opta por la decisión de plantear elementos de disipación de energía que contrarresten la fuerza de tsunami.

Así mismo de la fig. 6.11 se observa que si uno contempla la ausencia de elementos de disipación de energía el momento de volteo es inminente, por tanto para este caso se optó por realizar el diseño teniendo en consideración elementos de disipación de energía.

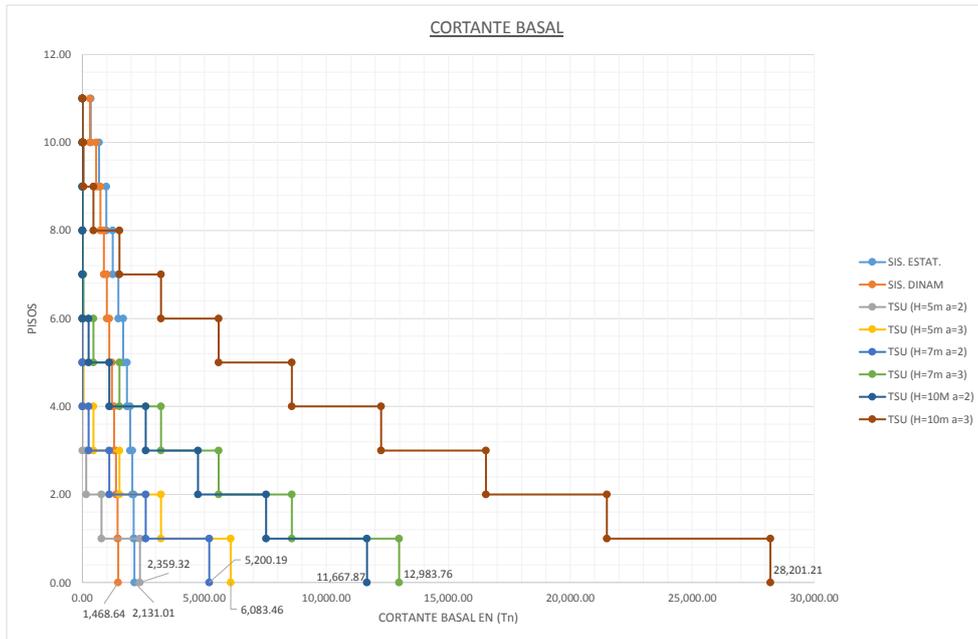


Figura 6.10: Fuerzas cortantes por pisos

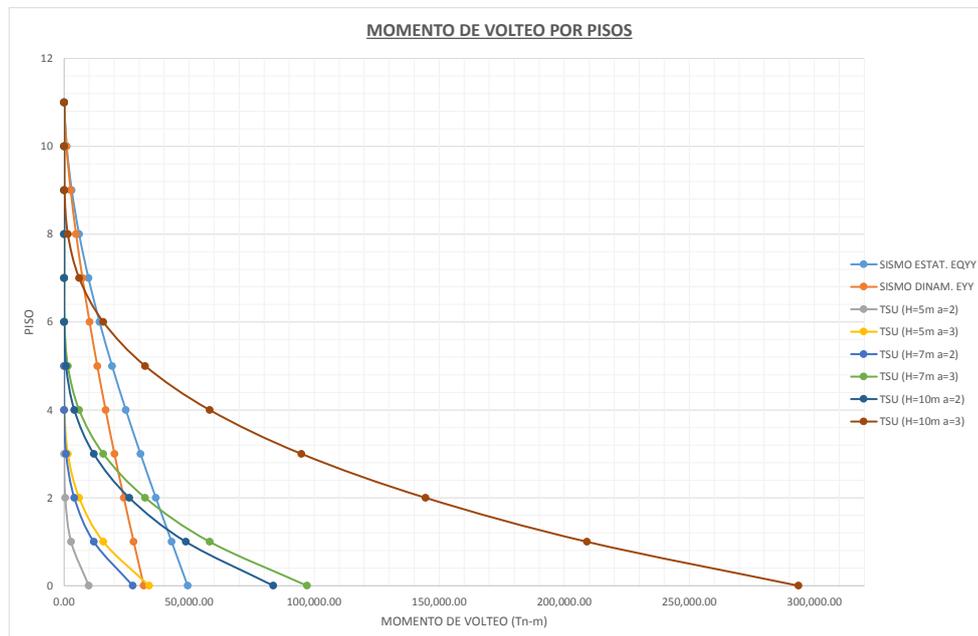


Figura 6.11: Momentos de Volteo en la Base.

6.8. Diseño de Elementos

6.8.1. Combinaciones de cargas

Para efectos de carga sísmica la Norma Peruana E0.60 para el diseños del concreto armado presenta las siguientes combinaciones de carga:

$$\Leftrightarrow U = 1,4CM + 1,7CV$$

$$\Leftrightarrow U = 1,25(CM + CV) + CS$$

$$\Leftrightarrow U = 1,25(CM + CV) - CS$$

$$\Leftrightarrow U = 0,90CM + CS$$

$$\Leftrightarrow U = 0,90C - CS$$

Dónde:

CM: Carga Muerta,

CV: Carga Viva,

CS: Carga de sismo,

Dichas combinaciones son cargadas en el diseño como muestra la fig. [6.12](#).

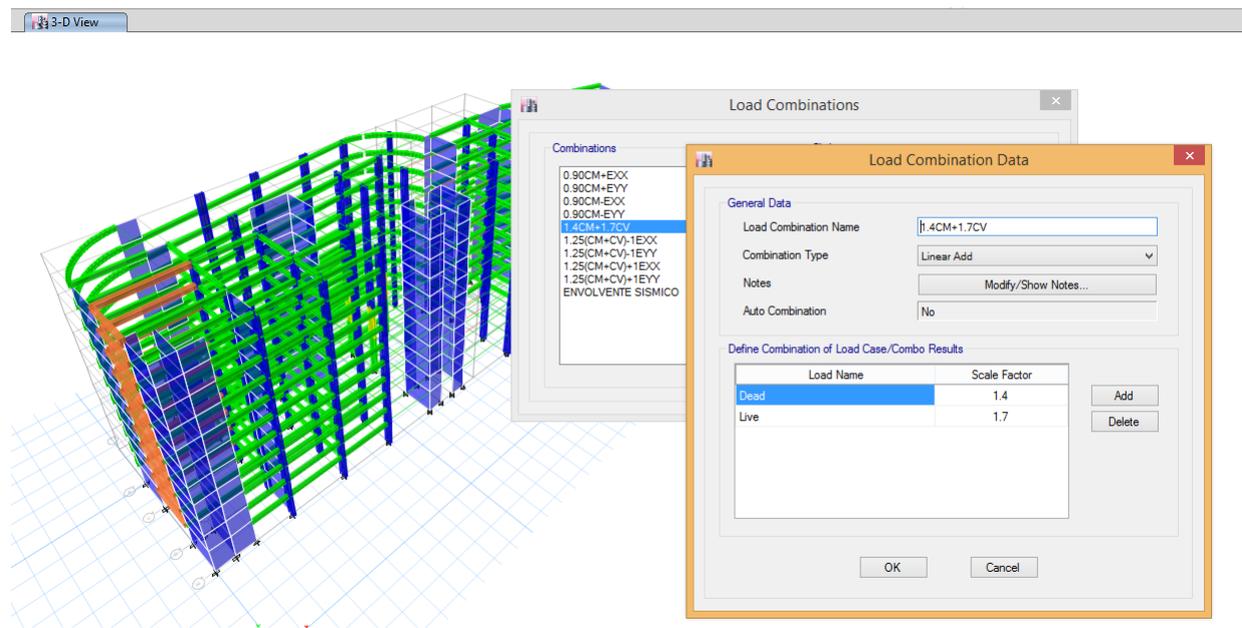


Figura 6.12: Combinaciones de Carga para el caso sismico

Por otro lado cuando se considera los efectos de cargas de tsunami para el presente trabajo se consideraremos lo indicado en el ASCE7-16 Standar cargas y efectos de cargas de Tsunamis de los EE.UU, teniendose las siguientes combinaciones de carga:

$$\Leftrightarrow U = 0,90CM + F_{TSU} + H_{TSU}$$

$$\Leftrightarrow U = 1,2CM + F_{TSU} + 0,5CV + H_{TSU}$$

Donde:

CM : Carga Muerta

CV : Carga Viva

F_{TSU} : Efecto de carga de tsunami para las direcciones de flujo entrante y retroceso.

H_{TSU} : Carga debido a las presiones de cimentación laterales inducidas por el tsunami desarrolladas bajo condiciones sumergidas. Cuando el efecto neto de H_{TSU} contrarreste el efecto de carga principal, el factor de carga para H_{TSU} será 0.9.

De la misma manera son definidos dichas combinaciones y cargadas en el programa, cabe aclarar que para el presente trabajo solo se considerará la combinación 1 debido a que no se esta considerando el analisis y diseño de la sub-estructura.

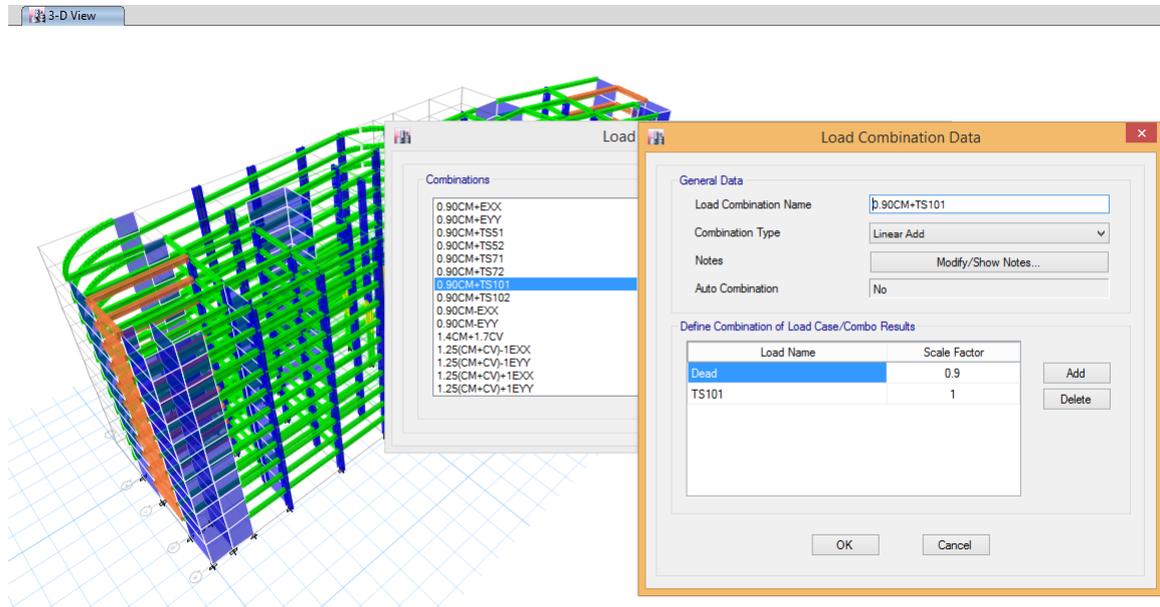


Figura 6.13: Combinaciones de Carga para caso de Tsunami

6.8.2. Diseño por flexo compresión

6.8.3. Diseño por flexocompresión

Se determinaron los diagramas de interacción P-M para los muros M6, M7, M8, M9 y M10, en los primeros pisos. Se presenta a modo de ejemplo el diagrama para el muro M8 (figura 4.6).

Las curvas de interacción se trazaron con los siguientes criterios:

- ⇨ La curva (1) (color negro) satisface las demandas generadas por el sismo en la dirección Y.
- ⇨ La curva (2) (color verde) cubre las necesidades generadas por el tsunami caso 8 (h=15m y u=5 m/s).
- ⇨ La curva (3) (color rojo) cubre las necesidades ocasionadas por el tsunami caso 9 (h=15m y u=7 m/s).

En los primeros pisos de todos los muros analizados se concluye que la armadura requerida por el tsunami más desfavorable (curva 3) es mucho mayor que la requerida por el sismo. En los segundos pisos la distancia entre ambas curvas decrece apreciablemente. Para el tercer piso sólo el muro 8 requiere armadura mayor que la sísmica y, para los pisos siguientes, la demanda generada por el tsunami (caso 9) es cubierta por la armadura del sismo (curva 1). La influencia del tsunami no resulta significativa, en la cantidad de armaduras requeridas, para el resto de los casos de tsunami considerados (casos 1 al 8).

6.8.4. Diseño por corte

Las figura 4.7 muestra el diagrama de corte para las diferentes combinaciones de carga. Se ha incorporado en el gráfico la resistencia al corte necesarias para cubrir los esfuerzos generados y la capacidad nominal máxima ($\phi V_{n,max}$).

Se observa que una armadura de corte consistente en DM ϕ 8 @ 20 (armadura mínima) satisface los requerimientos del diseño sísmico, sin embargo, resulta insuficiente para cubrir la demanda generada por el tsunami más desfavorable (caso 9) en los primeros pisos.

Para los muros más solicitados (8 y 9) por el caso 9 se requiere a nivel de primer piso una armadura consistente en DM f 12 @ 15, bastante superior a la requerida por sismo, pero menor que el máximo especificado por la norma. Para los pisos siguientes disminuye significativamente la armadura requerida, llegándose a la armadura mínima en el cuarto piso.

Para el resto de los casos de tsunami considerados, la demanda disminuye significativamente, requiriéndose aumentar el refuerzo mínimo en algunos muros y sólo en el primer piso.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1. Conclusiones

7.1.1. Sobre el análisis de Diseño Sísmico

- ⇨ El edificio presenta un comportamiento adecuado frente a un evento sísmico
- ⇨ Las derivas máximas obtenidas del análisis dinámico son menores al permitido por la norma NTE0.30, obteniéndose como deriva máxima 0.0068 el cual es menor 0.0070(max. permitido por la norma).
- ⇨ El cortante mínimo de diseño esta gobernado por el análisis Estático, siendo este de 2163.00 Tn.
- ⇨ El máximo coeficiente sísmico obtenido es de 0.15

7.1.2. Sobre el análisis de efectos y cargas de Tsunami

- ⇨ La deriva máxima obtenida es de 0.0052 para el caso de carga de Tsunami para una altura de Inundación de 10m sin estructuras de disipación de energía, siendo dicho valor menor al máximo exigido por la norma, siendo adecuado dicha verificación.
- ⇨ El coeficiente de corte en la dirección del flujo del Tsunami tanto para alturas de 5 y 7 m son menores que 1, por lo tanto en el diseño puede aplicarse los criterios de diseño

sísmico estándar; pero para alturas de inundación de 10m sin considerar estructuras de disipación de energía es superior a 1, en el cual se tuvo en cuenta el diseño de práctica estándar de diseño sísmico, pero se requirió consideraciones suplementarias para aumentar la resistencia para evitar el desplazamiento de la estructura.

7.1.3. Sobre el Diseño de los elementos de la Superestructura

⇔ Para el caso sísmico todos los elementos estructurales cumplen con lo exigido por la norma NTE E060.

7.1.4. Sobre el Diseño de los elementos de la Sub-estructura

⇔ Para el caso sísmico todos los elementos estructurales cumplen con lo exigido por la norma NTE E060.

⇔ Para el caso Tsunami fue necesario el adicionar mas elementos de pilotaje para la consideración de la altura de inundación de 10m sin considerar elementos de disipación de energía.60.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

- ⇨ Se investigó las normativas de los E.U. y del japon de los cuales se tomó consideraciones de ambas propuestas para el calculo de los efectos y cargas de diseño de Tsunami para evaluación de edificios.
- ⇨ Para el caso sísmico todos los elementos estructurales cumplen con lo exigido por la norma NTE E060.
- ⇨ Para el caso de las fuerzas del tsunami se puede aplicar la practica de diseño estándar de diseño sísmico para valores del coeficiente sísmico en la dirección Y-Y $C_{by} \leq 1$.
- ⇨ Para valores de $C_{by} > 1$, a parte de tomar en cuenta la práctica de diseño estándar de diseño sísmico , se deberá verificar las condición de estabilidad global de la estructura tanto para la condición de volteo y deslizamiento de la estructura.

8.2. Recomendaciones

- ⇨ Se deja dicho estudio para que la normativa E.030 tenga en cuenta los parámetros que deberían tenerse en cuenta para los efectos y cargas que se presentan por eventos de Tsunamis.

- ⇔ A los organismos gubernamentales para que realicen acciones conjuntas para la implementación de la normativa para efectos y cargas de Tsunamis del cual carece, que son necesarias para el diseño de edificaciones costeras, debido a que el Perú al igual que el Japón es una zona altamente sísmica y corre el riesgo de sufrir desastres por eventos de Tsunami.

Apéndice A

Tsunamis Históricos que Afectaron el Perú (1502-2017)

N°	Fecha	Epicentro		Mw	Altura Max (m)	Ubicación	Comentarios	Fuente
		Lat. °S	Lon. °O					
1	22/01/1582	17.0	72.0 (r)	7.5	1-2	Islay	Sin daños reportados	1
2	09/07/1586	12.2	77.7 (r)	8.1	7.0	Callao	Daños en Callao, 22 muertos	1,2,3
3	24/11/1604	17.0	72.0 (r)	8.7	16.0	Arica	Daños en Arica, Camaná, Pisco 74 muertos	1,2,3
4	16/09/1615	18.2	71.0 (r)	-	4.0	Arica	Sin daños reportados	2,3
5	07/05/1647	12.2	77.5	-	2.8	Callao	Daños en Arica, aprox. 14 muertos	2,3
6	16/06/1678	10.5	78.0 (r)	7.7	5.0	Pisco	Sin daños reportados	1,3
7	10/03/1681	18.5	72.3 (r)	-		Arica	Sin daños reportados	3
8	20/10/1687	13.5	76.5 (r)	8.4	5-10	Callao	Daños desde Puerto Caballas hasta el Callao; 500 muertos	1,2,3
9	22/08/1715	18.5	72.3 (r)	-		Arica	Sin daños reportados	2,3
10	27/03/1725	16.6	72.7 (r)	-	2.0	Camaná	Sin daños reportados	2,3
11	08/10/1746	12.0	77.0 (r)	9.0	10-24	Callao-Costa Valle	Mayor daño en el Callao, 5000 muertos	1,2
12	13/05/1784	16.8	72.0 (r)	8.4	2-4	Camana-Ilo	Sin daños reportados	1
13	01/12/1806	12.1	77.1 (r)	-	6.0	Callao	Sin daños reportados	2,3
14	23/05/1847	12.1	77.1 (r)	-	2.0		Sin daños reportados	2,3
15	23/04/1860	12.0	77.1 (r)	-	0.7	Callao	Sin daños reportados	2,3
16	08/01/1865	12.0	77.1 (r)	-	2.0	Callao	Daños en el Callao; 5 muertos	2,3
17	13/08/1868	18.6	71.0 (r)	9.0	15-18	Arica-Chala	Gran tsunami en todo el Pacífico, miles de muertes	1,2,3
18	02/10/1868	17.0	72.5 (r)	-	1.0	Talcahuano	Sin daños reportados	1,2,3
19	24/08/1869	18.6	70.0 (r)	-	2.0	Arica	Daños en Arica, Iquique	2,3
20	21/08/1871	13.0	77.0 (r)	-	2.0		Sin daños reportados	2,3

20	21/08/1871	13.0	77.0 (r)	-	2.0		Sin daños reportados	2,3
21	12/12/1908	14.0	78.0 (r)	8.2	2.0		Sin daños reportados	2,3
22	28/07/1913	17.0	74.0 (r)	-	0.7	Mollendo	Sin daños reportados	2,3
23	6/08/1913	17.0	74.0 (r)	7.7			Sin daños reportados	2,3
24	6/01/1922	16.5	73.0 (r)	7.0			Sin daños reportados	2,3
25	24/05/1940	11.2	77.8 (r)	8.1	3.0	Callao	Daños en Ancón, Lima, Callao	1,2,3
26	24/08/1942	15.0	76.0 (r)	8.2	2.0	Lomas	Inundación en Lomas	1,2,3
27	10/12/1950	14.6	76.3 (r)	-	0.7	Pisco	Sin daños reportados	2,3
28	15/02/1953	12.0	77.5 (r)	-	0.7	Chancay	Sin daños reportados	2,3
29	12/12/1953	3.5	81.0 (r)	7.4	0.5	Talara	Sin daños reportados	2,3
30	20/11/1960	6.8	80.7 (i)	7.7	9.0	Pimentel	Islas devastadas en Lobos de Afuera, 3 muertos	2,3
31	17/10/1966	10.7	78.8 (i)	7.7	3.0	Casma	Sin daños reportados	1,2,3,4,5
32	3/09/1967	10.6	79.8 (i)	7.0	2.0		Sin daños reportados	2,3
33	31/05/1970	9.2	78.8 (i)	7.9	1.8		Sin daños reportados	2,3
34	3/10/1974	12.3	78.8 (i)	7.9	1.8	Callao	Sin daños reportados	2,3
35	21/02/1996	9.6	79.6 (i)	7.5	5.1	Chimbote	15 muertos, 57 heridos en Chimbote, daños en Salaverry	3,4
36	12/11/1996	15.0	75.7 (i)	7.7	0.4	Callao	Daños materiales en San Juan de Marcona	3,6
37	23/06/2001	16.2	73.4 (i)	8.4	7.5	Camaná	23 muertos en Camaná	7
38	15/08/2007	13.7	76.7 (i)	8.0	10.0	Playa Yumaqué	3 muertos	8

Cuadro 8.1: Fuente: 1) Silgado, E. (1978); Dorbath, L., Cisternas, A. (1990); 2) Lockridge, 1985; 3) Historical Tsunami Data Base (HTDB/NOAA), 2001; 4) Burgeois et al., 1999, 5) Lomnitz y Cabre, 1968, 6) NEIC, 1996, 7) Okal et al., (2002). 8) Fritz et al., (2008). (*) Datos (i) instrumentados; (r) referenciales.

Apéndice B

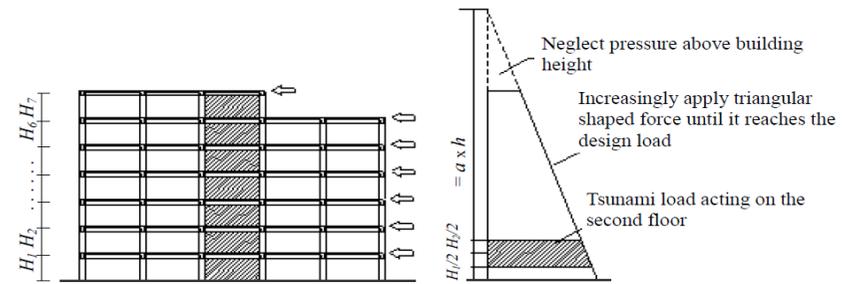
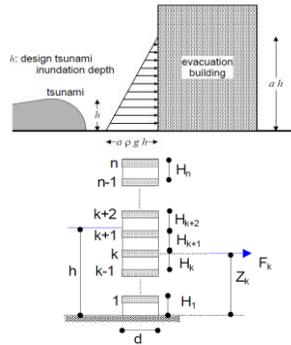
Cargas laterales de Tsunami

Los siguientes cuadros muestran las cargas laterales que fueron aplicados al edificio en los niveles de entrepiso, se tomo esta consideración asumiendo que las losas se comportaran como diafragmas rígidos.

CARGAS HIDROSTATICAS DE TSUNAMIS EN EDIFICIOS (h=5m, α=2)

PROYECTO: CLUB REGATAS LIMA

N° de PISOS:	11
Ancho de la Estructura B (m):	87.50
Altura maxima de Inundacion (m):	5
Dist. de la Edificacion a la orilla (m):	127
Estructura de Disipacion de Energia:	SI
Coefficiente de Altura de Inundacion α:	2
Altura de Inundacion de Diseño (m):	10
Gravedad (m/s ²):	9.81
Densidad del Mar (Tn/m ³):	1.2
% de efecto de Aberturas	70 %

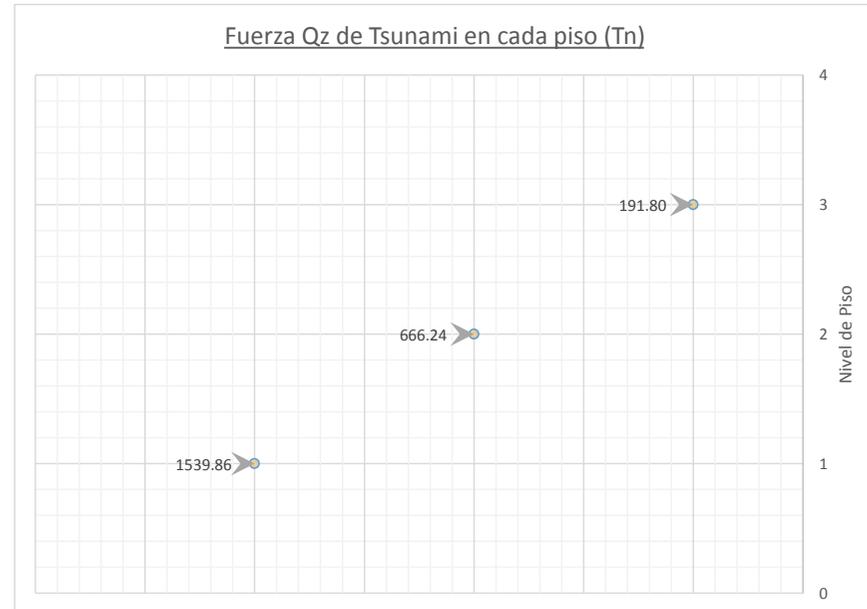


PISO	H Entrepiso	H Tributar.	Z (m)	qz (Tn/m ²)	Qz (Tn)
			0.00	8.24	
1	3.9	3.35	1.95	6.63	1539.86
2	2.8	2.8	5.30	3.87	666.24
3	2.8	2.8	8.10	1.57	191.80
4	2.8	2.8	10.90		
5	2.8	2.8	13.70		
6	2.8	2.8	16.50		
7	2.8	2.8	19.30		
8	2.8	2.8	22.10		
9	2.8	2.8	24.90		
10	2.8	2.8	27.70		
11	2.8	1.4	30.50		

$$q_z = \rho g (a h - z) \quad Q_z = \rho g \int_{z_1}^{z_2} (a h - z) B dz$$

H Total (m)= 31.9

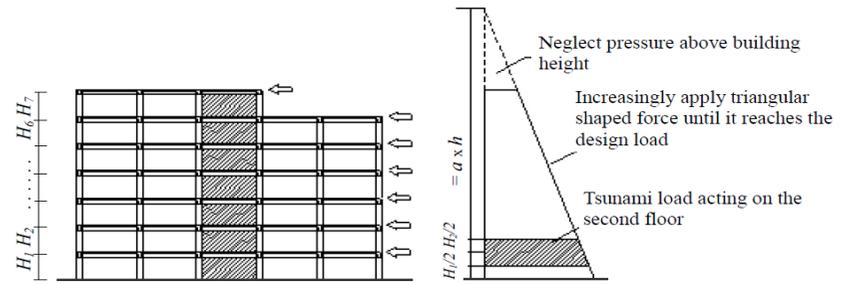
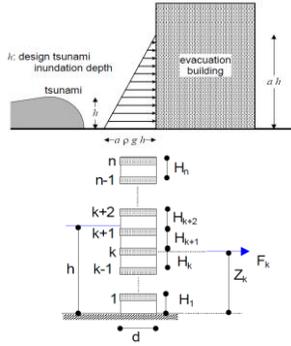
V Total (m)= 2397.89



CARGAS HIDROSTATICAS DE TSUNAMIS EN EDIFICIOS (h=5m, α=3)

PROYECTO: CLUB REGATAS LIMA

N° de PISOS:	11
Ancho de la Estructura B (m):	87.50
Altura maxima de Inundacion (m):	5
Dist. de la Edificacion a la orilla (m):	127
Estructura de Disipacion de Energia:	NO
Coefficiente de Altura de Inundacion α:	3
Altura de Inundacion de Diseño (m):	15
Gravedad (m/s ²):	9.81
Densidad del Mar (Tn/m ³):	1.2
% de efecto de Aberturas	70 %



PISO	H Entrepiso	H Tributar.	Z (m)	qz (Tn/m ²)	Qz (Tn)
			0.00	12.36	
1	3.9	3.35	1.95	10.75	2747.59
2	2.8	2.8	5.30	7.99	1675.69
3	2.8	2.8	8.10	5.69	1110.39
4	2.8	2.8	10.90	3.38	545.10
5	2.8	2.8	13.70	1.07	131.23
6	2.8	2.8	16.50		
7	2.8	2.8	19.30		
8	2.8	2.8	22.10		
9	2.8	2.8	24.90		
10	2.8	2.8	27.70		
11	2.8	1.4	30.50		

$$q_z = \rho g (a h - z) \quad Q_z = \rho g \int_{z_1}^{z_2} (a h - z) B dz$$

H Total (m)= 31.9

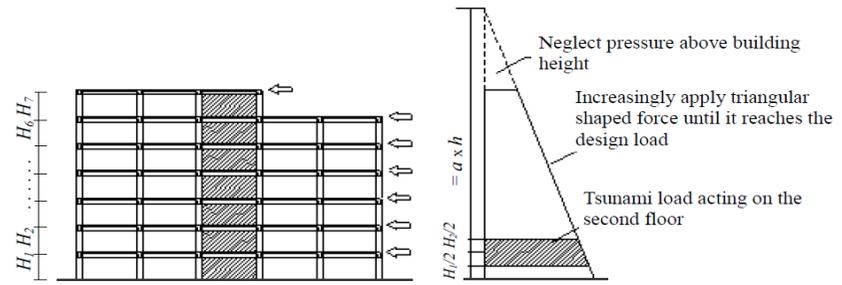
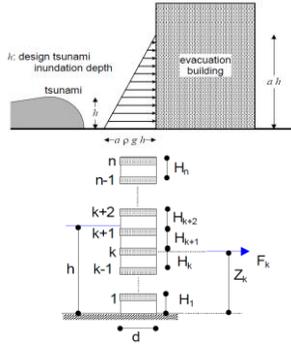
V Total (m)= 6210.00



CARGAS HIDROSTATICAS DE TSUNAMIS EN EDIFICIOS (h=7m, a=2)

PROYECTO: CLUB REGATAS LIMA

N° de PISOS:	11
Ancho de la Estructura B (m):	87.50
Altura maxima de Inundacion (m):	7
Dist. de la Edificacion a la orilla (m):	127
Estructura de Disipacion de Energia:	SI
Coefficiente de Altura de Inundacion α :	2
Altura de Inundacion de Diseño (m):	14
Gravedad (m/s ²):	9.81
Densidad del Mar (Tn/m ³):	1.2
% de efecto de Aberturas	70 %



PISO	H Entrepiso	H Tributar.	Z (m)	qz (Tn/m ²)	Qz (Tn)
			0.00	11.54	
1	3.9	3.35	1.95	9.93	2506.05
2	2.8	2.8	5.30	7.17	1473.80
3	2.8	2.8	8.10	4.86	908.50
4	2.8	2.8	10.90	2.55	343.21
5	2.8	2.8	13.70	0.25	30.28
6	2.8	2.8	16.50		
7	2.8	2.8	19.30		
8	2.8	2.8	22.10		
9	2.8	2.8	24.90		
10	2.8	2.8	27.70		
11	2.8	1.4	30.50		

$$q_z = \rho g (a h - z) \quad Q_z = \rho g \int_{z_1}^{z_2} (a h - z) B dz$$

H Total (m)= 31.9

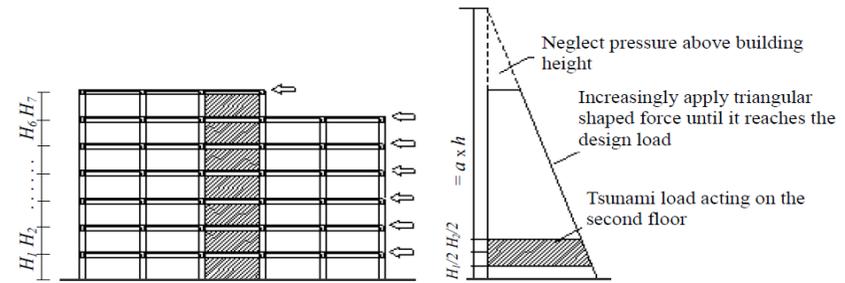
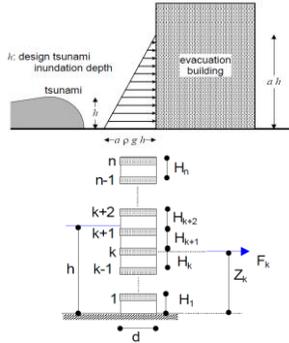
V Total (m)= 5261.84



CARGAS HIDROSTATICAS DE TSUNAMIS EN EDIFICIOS (h=7m, α=3)

PROYECTO: CLUB REGATAS LIMA

N° de PISOS:	11
Ancho de la Estructura B (m):	87.50
Altura maxima de Inundacion (m):	7
Dist. de la Edificacion a la orilla (m):	127
Estructura de Disipacion de Energia:	NO
Coefficiente de Altura de Inundacion α:	3
Altura de Inundacion de Diseño (m):	21
Gravedad (m/s ²):	9.81
Densidad del Mar (Tn/m ³):	1.2
% de efecto de Aberturas	70 %



PISO	H Entrepiso	H Tributar.	Z (m)	qz (Tn/m ²)	Qz (Tn)
			0.00	17.30	
1	3.9	3.35	1.95	15.70	4196.87
2	2.8	2.8	5.30	12.94	2887.02
3	2.8	2.8	8.10	10.63	2321.73
4	2.8	2.8	10.90	8.32	1756.44
5	2.8	2.8	13.70	6.02	1191.15
6	2.8	2.8	16.50	3.71	625.86
7	2.8	2.8	19.30	1.40	171.61
8	2.8	2.8	22.10		
9	2.8	2.8	24.90		
10	2.8	2.8	27.70		
11	2.8	1.4	30.50		

$$q_z = \rho g (a h - z) \quad Q_z = \rho g \int_{z_1}^{z_2} (a h - z) B dz$$

H Total (m)= 31.9

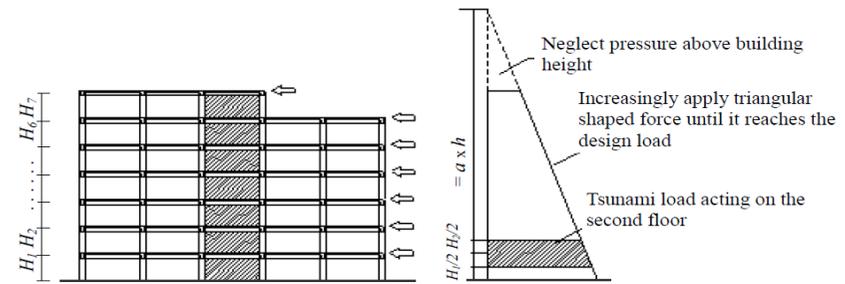
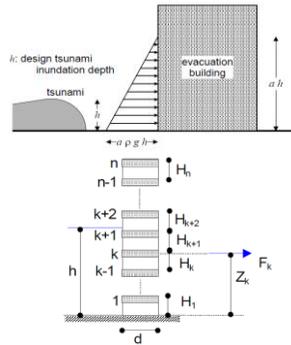
V Total (m)= 13150.69



CARGAS HIDROSTATICAS DE TSUNAMIS EN EDIFICIOS (h=10m, α=2)

PROYECTO: CLUB REGATAS LIMA

N° de PISOS:	11
Ancho de la Estructura B (m):	87.50
Altura maxima de Inundacion (m):	10
Dist. de la Edificacion a la orilla (m):	127
Estructura de Disipacion de Energia:	SI
Coefficiente de Altura de Inundacion α:	2
Altura de Inundacion de Diseño (m):	20
Gravedad (m/s ²):	9.81
Densidad del Mar (Tn/m ³):	1.2
% de efecto de Aberturas	70 %



PISO	H Entrepiso	H Tributar.	Z (m)	qz (Tn/m ²)	Qz (Tn)
			0.00	16.48	
1	3.9	3.35	1.95	14.87	3955.33
2	2.8	2.8	5.30	12.11	2685.13
3	2.8	2.8	8.10	9.81	2119.84
4	2.8	2.8	10.90	7.50	1554.55
5	2.8	2.8	13.70	5.19	989.26
6	2.8	2.8	16.50	2.88	423.97
7	2.8	2.8	19.30	0.58	70.66
8	2.8	2.8	22.10		
9	2.8	2.8	24.90		
10	2.8	2.8	27.70		
11	2.8	1.4	30.50		

$$q_z = \rho g (a h - z) \quad Q_z = \rho g \int_{z_1}^{z_2} (a h - z) B dz$$



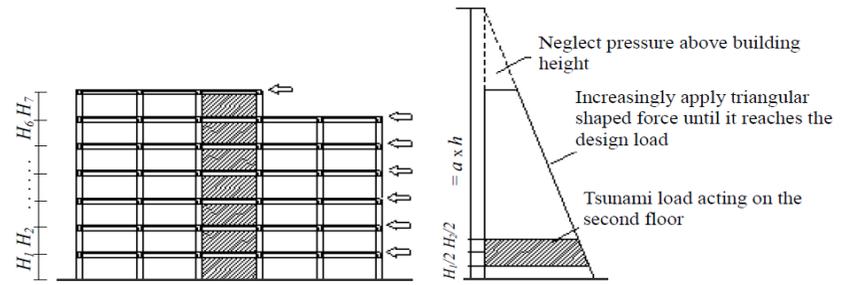
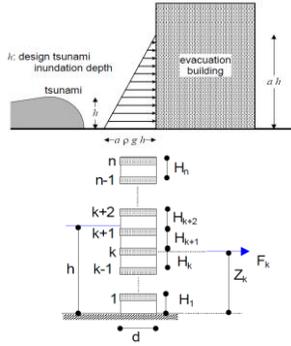
H Total (m)= 31.9

V Total (m)= 11798.75

CARGAS HIDROSTATICAS DE TSUNAMIS EN EDIFICIOS (h=10m, α=3)

PROYECTO: CLUB REGATAS LIMA

N° de PISOS:	11
Ancho de la Estructura B (m):	87.50
Altura maxima de Inundacion (m):	10
Dist. de la Edificacion a la orilla (m):	127
Estructura de Disipacion de Energia:	NO
Coefficiente de Altura de Inundacion α:	3
Altura de Inundacion de Diseño (m):	30
Gravedad (m/s ²):	9.81
Densidad del Mar (Tn/m ³):	1.2
% de efecto de Aberturas	70 %

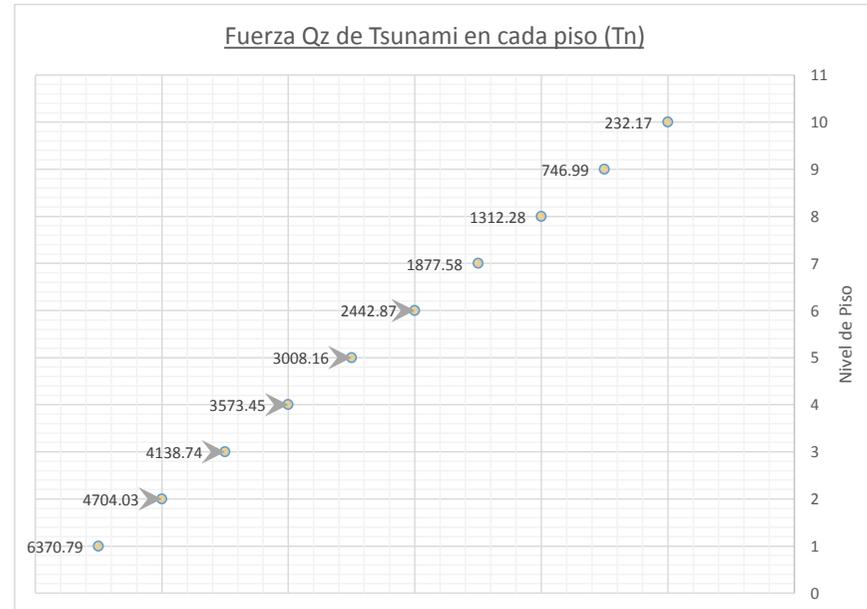


PISO	H Entrepiso	H Tributar.	Z (m)	qz (Tn/m ²)	Qz (Tn)
			0.00	24.72	
1	3.9	3.35	1.95	23.11	6370.79
2	2.8	2.8	5.30	20.35	4704.03
3	2.8	2.8	8.10	18.05	4138.74
4	2.8	2.8	10.90	15.74	3573.45
5	2.8	2.8	13.70	13.43	3008.16
6	2.8	2.8	16.50	11.12	2442.87
7	2.8	2.8	19.30	8.82	1877.58
8	2.8	2.8	22.10	6.51	1312.28
9	2.8	2.8	24.90	4.20	746.99
10	2.8	2.8	27.70	1.90	232.17
11	2.8	1.4	30.50		

$$q_z = \rho g (a h - z) \quad Q_z = \rho g \int_{z_1}^{z_2} (a h - z) B dz$$

H Total (m)= 31.9

V Total (m)= 28407.07



Apéndice C

Espectro de aceleraciones de la NTE. EO30.

ESPECTRO DE PSEUDO ACELERACIONES-NTE. E0.30

PARAMETROS SISMICOS

Z=	0.45
U=	1.3
S=	1
Tp=	0.4
TL=	2.5
Ro=	6
Ia=	1
Ip=	0.9
R=Ia*Ip*Ro	5.4
Incr. T	0.1

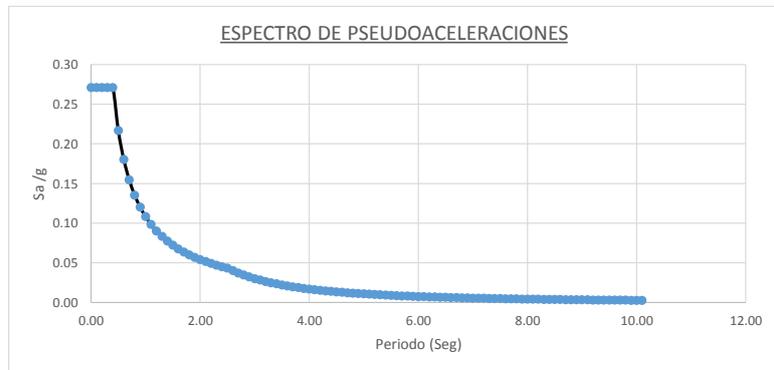
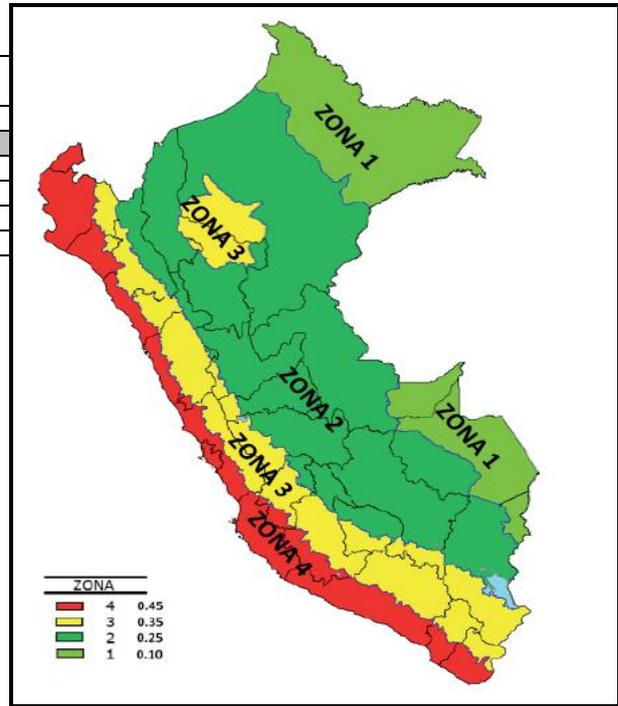
FACTOR PARA EL ANAL. ESTATICO		
	X-X	Y-Y
T (seg.)=	0.619	0.675
K=	1.1	1.1
C=	1.62	1.48
C/R=	0.299	0.274
ZUCS/R=	0.18	0.16

$T < T_p \quad C = 2.5$

$T_p < T < T_L \quad C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right)$

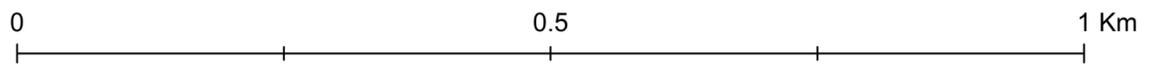
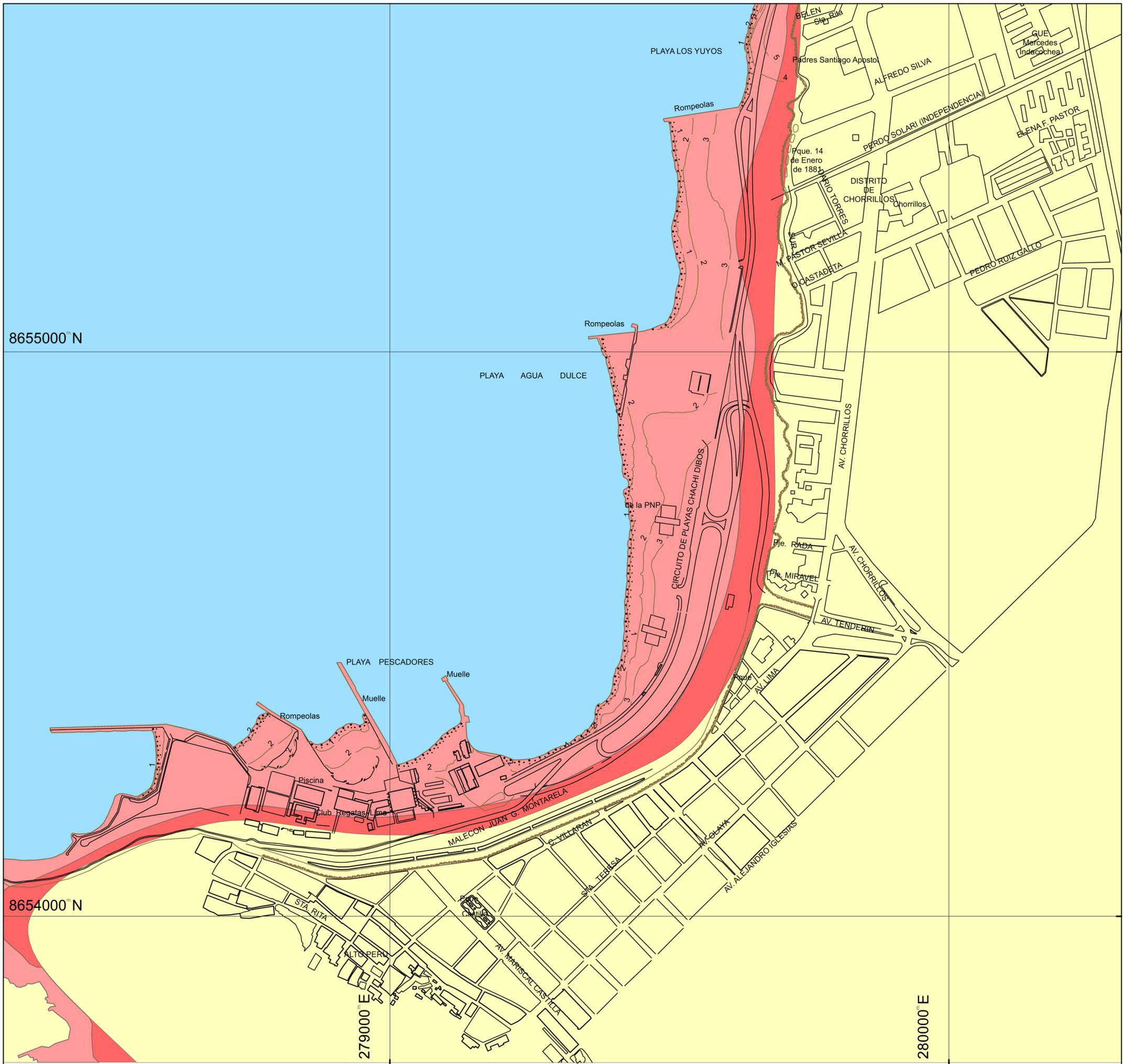
$T > T_L \quad C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p}{T_L}\right)$

T (seg.)	C	Sa/g
0.00	2.50	0.27
0.10	2.50	0.27
0.20	2.50	0.27
0.30	2.50	0.27
0.40	2.50	0.27
0.50	2.00	0.22
0.60	1.67	0.18
0.70	1.43	0.15
0.80	1.25	0.14
0.90	1.11	0.12
1.00	1.00	0.11
1.10	0.91	0.10
1.20	0.83	0.09
1.30	0.77	0.08
1.40	0.71	0.08
1.50	0.67	0.07
1.60	0.63	0.07
1.70	0.59	0.06
1.80	0.56	0.06
1.90	0.53	0.06
2.00	0.50	0.05
2.10	0.48	0.05
2.20	0.45	0.05
2.30	0.43	0.05
2.40	0.42	0.05
2.50	0.40	0.04
2.60	0.37	0.04
2.70	0.34	0.04
2.80	0.32	0.03
2.90	0.30	0.03
3.00	0.28	0.03
3.10	0.26	0.03
3.20	0.24	0.03
3.30	0.23	0.02
3.40	0.22	0.02
3.50	0.20	0.02
3.60	0.19	0.02
3.70	0.18	0.02
3.80	0.17	0.02
3.90	0.16	0.02
4.00	0.16	0.02
4.10	0.15	0.02
4.20	0.14	0.02
4.30	0.14	0.01
4.40	0.13	0.01
4.50	0.12	0.01
4.60	0.12	0.01
4.70	0.11	0.01
4.80	0.11	0.01
4.90	0.10	0.01
5.00	0.10	0.01



Apéndice D

**CARTA DE INUNDACIÓN EN CASO DE TSUNAMI
EN CALETA-CHORRILLOS-LIMA -PERÚ**



LEYENDA

	Zona inundable ante tsunami generado por un evento sísmico de 8.5
	Zona inundable ante tsunami generado por un evento sísmico de 9.0
	Zona no inundable
	Servicios
	Areas Verdes
	Curvas de Nivel

Escala Gráfica

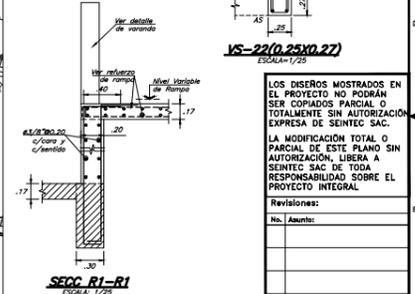
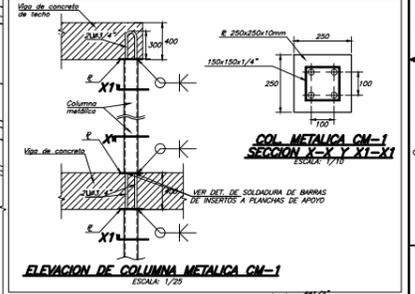
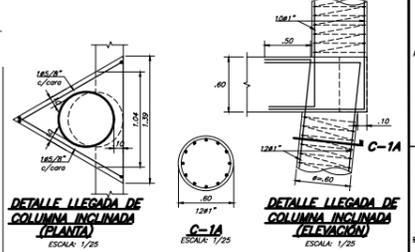
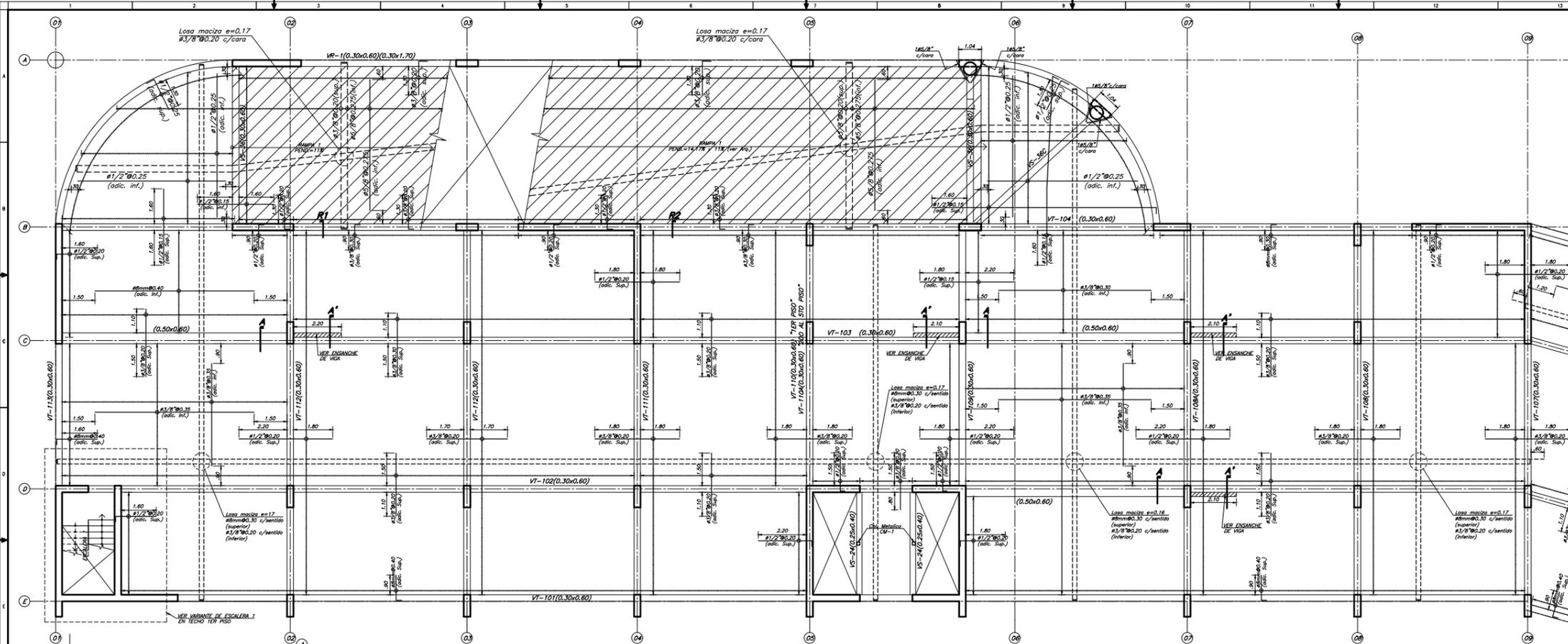
DIRECCIÓN DE HIDROGRAFÍA Y NAVEGACIÓN
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFÍA

**CARTA DE INUNDACIÓN EN CASO DE TSUNAMI
LIMA
"CALETA CHORRILLOS"**

Fuente: IGN 1992 Levantamiento taquimétrico realizado por la DHN en Agosto de 2001
Límite de Inundación actualizado mediante estudio SIRAD 2011
Curvas de nivel cada metro
Datum: WGS84
Escala: 1:5000

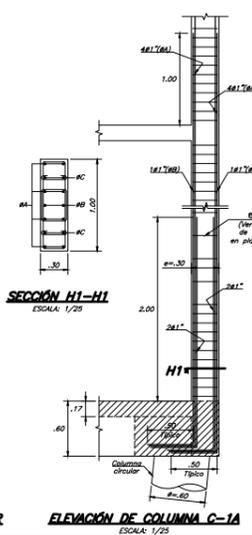
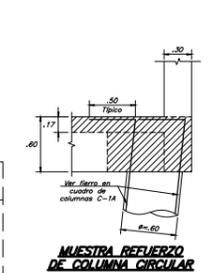
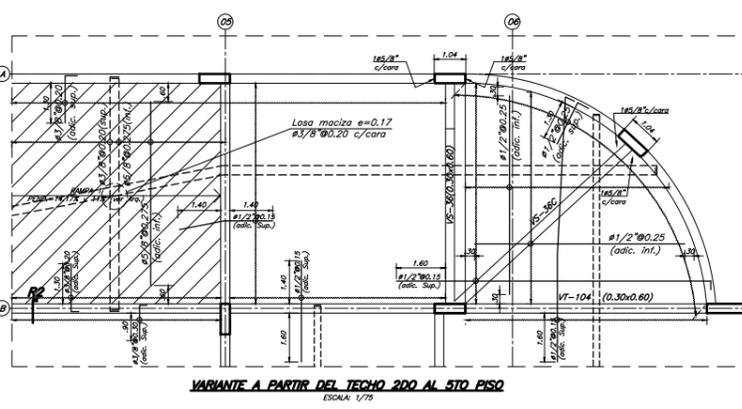
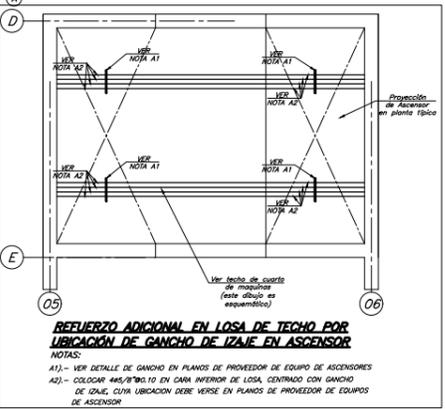
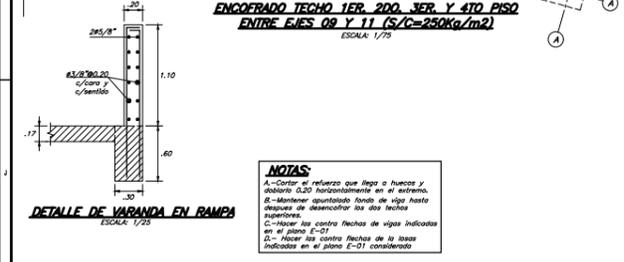
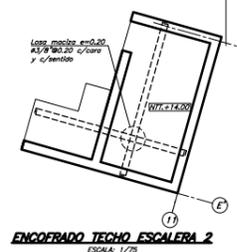
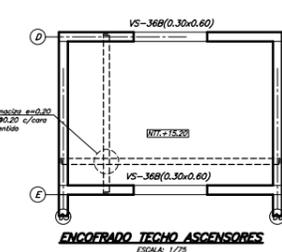
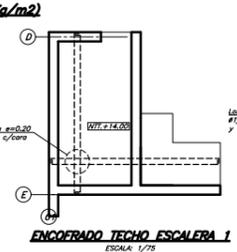
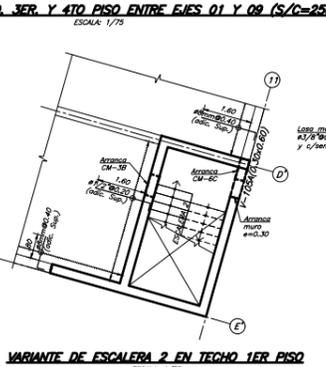
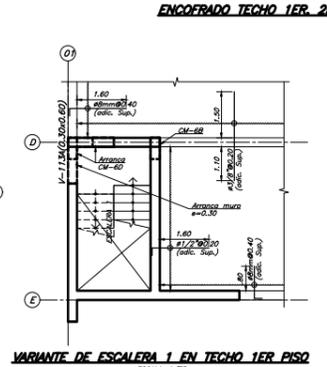
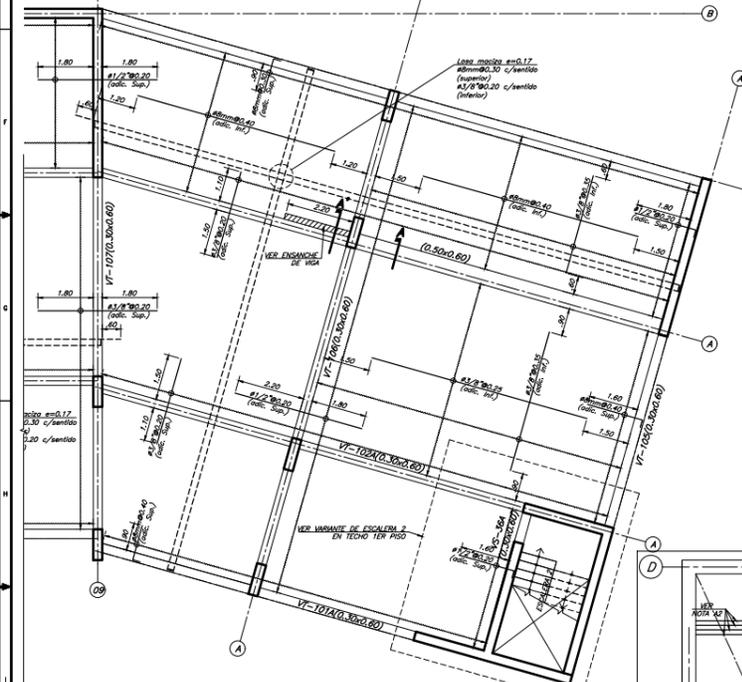
Apéndice E

PLANOS



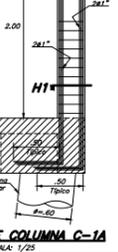
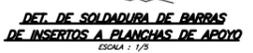
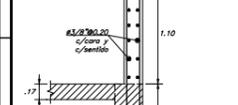
LOS DISEÑOS MOSTRADOS EN EL PROYECTO NO PODRÁN SER COPADOS PARCIAL O TOTALMENTE SIN AUTORIZACIÓN EXPRESA DE SEINTEC S.A.C. LA MODIFICACIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE PLANO SIN AUTORIZACIÓN, LIBERA A SEINTEC S.A.C. DE TODA RESPONSABILIDAD SOBRE EL PROYECTO INTEGRAL.

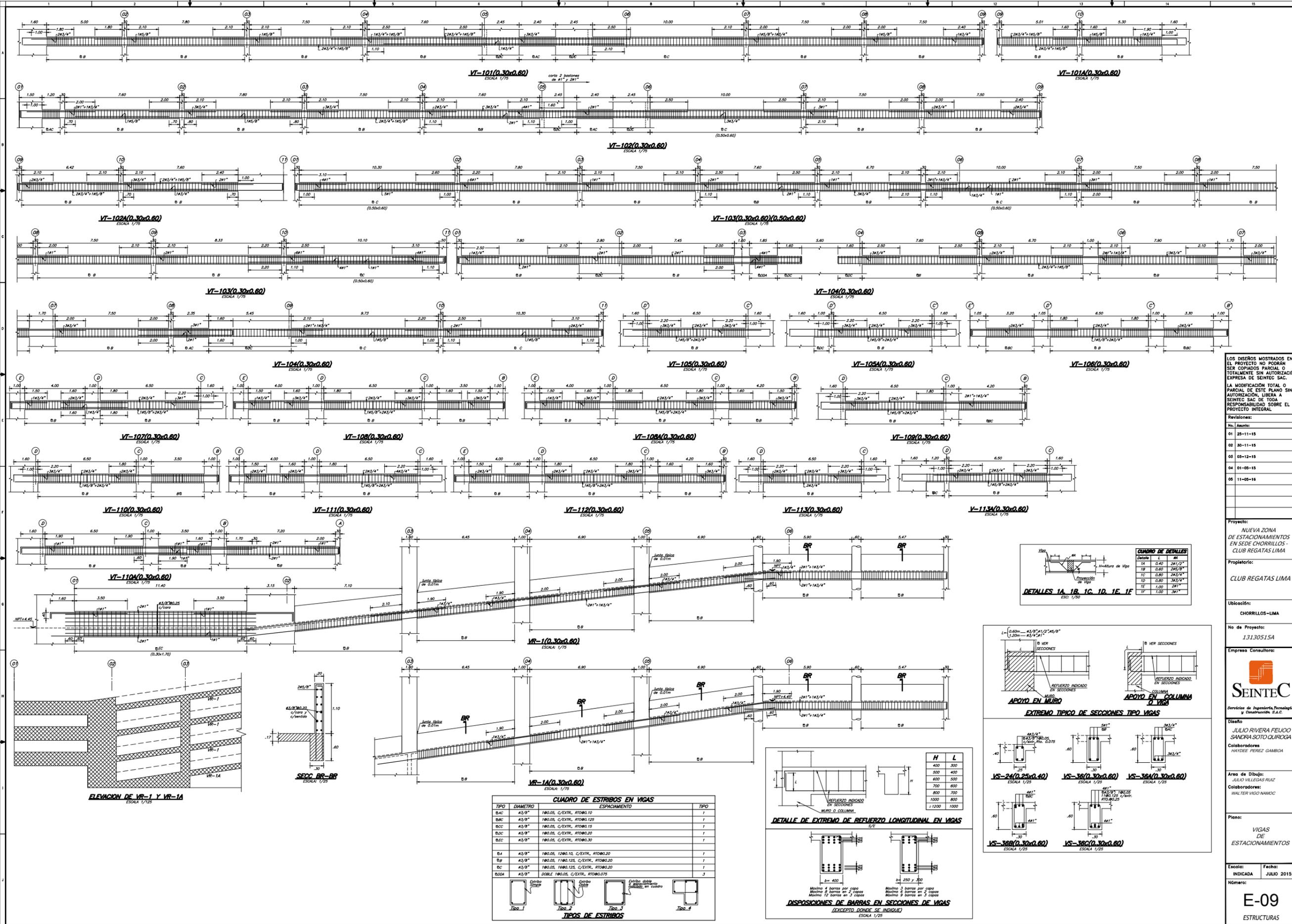
Revisión:	
Nº. Aprobado:	
Proyecto:	NUEVA ZONA DE ESTACIONAMIENTOS EN SEDE CHORRILLOS - CLUB REGATAS LIMA
Propietario:	CLUB REGATAS LIMA
Ubicación:	CHORRILLOS-LIMA
No de Proyecto:	
Empresa Consultora:	SEINTEC
Diseño:	JULIO RIVERA FEUOCO SANDRA SOTO QUIROGA
Colaboradores:	OSCAR DIAZ YARANGA
Área de Dibujo:	JULIO BELLESCAS RUIZ
Colaboradores:	WALTER VIGO NAMOC LUIS ALFARO PAREDES
Plano:	ENCOFRADO TECHO DE ESTACIONAMIENTOS
Escala:	INDICADA
Fecha:	SEP. 2017
Número:	E-08
	ESTRUCTURAS



NOTAS:
 A.- Cortar el refuerzo que llega a huecos y colocarlo G-20 horizontalmente en el extremo.
 B.- Mantener el puntal de apoyo de viga hasta después de desmontar las losas techos superiores.
 C.- Colocar las cuñas flexibles de apoyo indicadas en el plano E-07.
 D.- Colocar las cuñas flexibles de apoyo indicadas en el plano E-07 considerando

NOTAS:
 A1).- VER DETALLE DE GANCHO EN PLANOS DE PROVEEDOR DE EQUIPO DE ASCENSORES
 A2).- COLOCAR 4#5/8" EN CARA INFERIOR DE LOSA, CENTRADO CON GANCHO DE IZAJE, CUYA UBICACIÓN DEBE VERSE EN PLANOS DE PROVEEDOR DE EQUIPO DE ASCENSORES





LOS DISEÑOS MOSTRADOS EN EL PROYECTO NO PODRÁN SER COPIADOS PARCIAL O TOTALMENTE SIN AUTORIZACIÓN EXPRESA DE SINTEC S.A.C.

LA MODIFICACIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTE PLANO SIN AUTORIZACIÓN, LIBERA A SINTEC S.A.C. DE TODA RESPONSABILIDAD SOBRE EL PROYECTO INTEGRAL.

Revisión:

No.:	Fecha:
01	25-11-15
02	30-11-15
03	03-12-15
04	01-05-16
05	11-05-16

Proyecto:
NUEVA ZONA DE ESTACIONAMIENTOS EN SEDE CHORRILLOS - CLUB REGATAS LIMA

Propietario:
CLUB REGATAS LIMA

Ubicación:
CHORRILLOS-LIMA

No de Proyecto:
13130515A

Empresa Consultora:
SINTEC
Servicios de Ingeniería, Tecnología y Construcción S.A.C.

Diseño:
JULIO RIVERA FEUO
SANDRA SOTO QUIROGA

Colaboradores:
HAYDEE PEREZ GAMBICA

Área de Dibujo:
JULIO RIVERA FEUO
SANDRA SOTO QUIROGA

Colaboradores:
WALTER VIGO MAMOC

Plano:
VIGAS DE ESTACIONAMIENTOS

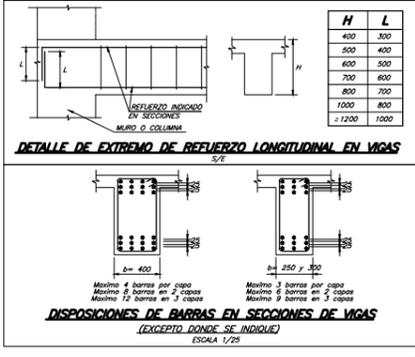
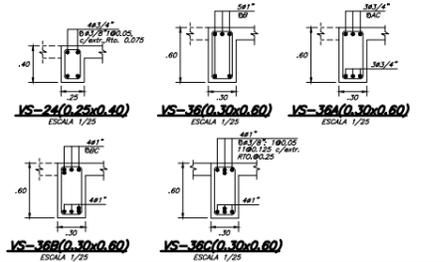
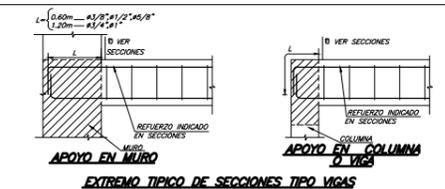
Escala:
INDICADA

Fecha:
JULIO 2015

Número:
E-09
ESTRUCTURAS

CUADRO DE DETALLES

Detalle	L	H
1A	0.40	2#1/2"
1B	0.60	2#5/8"
1C	0.80	2#3/4"
1D	0.80	2#3/4"
1E	1.00	2#1"
1F	1.00	2#1"



CUADRO DE ESTRIBOS EN VIGAS

TIPO	DIAMETRO	ESPACIAMIENTO	TIPO
BAC	#3/8"	1#8.00, C/EXTR., #10@8.10	1
BBC	#3/8"	1#8.00, C/EXTR., #10@8.125	1
BCC	#3/8"	1#8.00, C/EXTR., #10@8.15	1
BDC	#3/8"	1#8.00, C/EXTR., #10@8.20	1
BEC	#3/8"	1#8.00, C/EXTR., #10@8.30	1
BD	#3/8"	1#8.00, 12#8.10, C/EXTR., #10@8.20	1
BD	#3/8"	1#8.00, 11#8.125, C/EXTR., #10@8.20	1
BD	#3/8"	1#8.00, 10#8.125, C/EXTR., #10@8.20	1
BDH	#3/8"	DOBLE 1#8.00, C/EXTR., #10@8.075	3

Tipos de Eribos: Tipo 1, Tipo 2, Tipo 3, Tipo 4

SINTEC S.A.C. FORMADO EN ESCALA DE IMPRESIÓN 1:1

Bibliografía

- [2008, EUA] 2008, F. P. (2008, EUA). *Guías para el diseño de estructuras de Desalojo Vertical en caso de Tsunami*. Consejo de Tecnología Aplicada.
- [Chile, 2016] Chile, S. (2016). Guía para la estimación de peligro de tsunami. *SATREPS Chile Tsunami Project Publication Series*.
- [Chock, 2016] Chock, G. (2016). The asce 7 tsunami loads and effects design standard for the u.s. *Special Publication ACI-SP-313-02*.
- [et al., 2013] et al., B. A. (2013). Tsunami inundation mapping in lima, for two tsunami source scenarios. *Journal of Disaster Research Vol.8*.
- [Moggiano Aburto, Per] Moggiano Aburto, N. J. (2014, Perú). Modelado numerico del terremoto de pisco 2007. Master's thesis, Universidad Nacional de San Marcos.
- [Morales Tovar, Per] Morales Tovar, J. M. (2014, Perú). Tsunami hazard assesment in southern peru using numerical simulation. Master's thesis, Universidad Nacional de Ingeniería.
- [Nakano, 2016] Nakano, Y. (2016). Structural design requirements for tsunami evacuation buildings in japan. *Special Publication ACI-SP-313-01*.
- [Olcese Huerta, Per] Olcese Huerta, M. D. (2004, Perú). Peligros geologicos fenomeno geodinamico: Tsunamis estudio del origen y consecuencias del tsunami del 23 de junio del 2001 en la costa sur del peru. Master's thesis, Universidad Nacional de Ingeniería.
- [y J. Lizana, 2005] y J. Lizana, A. V. (2005). Evaluacion del efecto de tsunami sobre edificios. *Congreso Chileno de Sismologia e Ingenieria Antisismica, chile*.