



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD Y DEFENSA

CARRERA LICENCIATURA EN CIENCIAS NAVALES

TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE LICENCIADO EN
CIENCIAS NAVALES

AUTOR

ROSERO MOSQUERA EMILIO DAVID

TEMA

DISEÑO PREVENTIVO DE EVACUACIÓN EN CASO DE TSUNAMI Y SU
CONTRIBUCIÓN A SALVAGUARDAR LA SEGURIDAD DE LOS
HABITANTES QUE SE ENCUENTRAN EN EL PERÍMETRO COSTANERO
DE LA CIUDAD SE SALINAS, PROVINCIA DE SANTA ELENA

DIRECTOR

SR. TNNV-IM SÁNCHEZ CABRERA ALEX PATRICIO

SALINAS, DICIEMBRE 2014

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo realizado por Emilio David Rosero Mosquera, cumple con las normas metodológicas establecidas por la Universidad de la Fuerzas Armadas – ESPE, y se ha desarrollado bajo mi supervisión, observando el rigor académico y científico que la Institución demanda para trabajos de titulación, por lo cual autorizo se proceda con el trámite legal correspondiente.

Salinas, Diciembre del 2014

Atentamente

Sr. TNNV-IM Alex Patricio Sánchez Cabrera

Director de Tesis

DECLARACIÓN EXPRESA

El suscrito, Emilio David Rosero Mosquera, declaro por mis propios y personales derechos, con relación a la responsabilidad de los contenidos teóricos y resultados procesados, que han sido presentados en formato impreso y digital en la presente investigación, cuyo título es: “Diseño preventivo de evacuación en caso de Tsunami y su contribución a salvaguardar la seguridad de los habitantes que se encuentran en el perímetro costanero de la ciudad de Salinas, Provincia de Santa Elena”, son de mi/nuestra autoría exclusiva, que la propiedad intelectual de los autores consultados, ha sido respetada en su totalidad y, que el patrimonio intelectual de este trabajo le corresponde a la Universidad de la Fuerzas Armadas - ESPE.

Emilio David Rosero Mosquera

Autor

AUTORIZACIÓN

Yo, Emilio David Rosero Mosquera

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, la publicación en la biblioteca de la institución de la Tesis titulada: "DISEÑO PREVENTIVO DE EVACUACIÓN EN CASO DE TSUNAMI Y SU CONTRIBUCIÓN A SALVAGUARDAR LA SEGURIDAD DE LOS HABITANTES QUE SE ENCUENTRAN EN EL PERÍMETRO COSTANERO DE LA CIUDAD SE SALINAS, PROVINCIA DE SANTA ELENA", cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Salinas, a los 8 días del mes de Diciembre del año 2014

Emilio David Rosero Mosquera

Autor

DEDICATORIA

Para aquellas personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mi sueño, ser Oficial de la Marina de Guerra del Ecuador, por motivarme y darme la mano cuando todos me dijeron que no podía, por enseñarme el sendero cuando sentía que el camino se terminaba, los llevo por siempre en mi corazón y les agradezco. En especial para mi abuelo el Sr. CPNV-EM Néstor Oswaldo Rosero Lozada que está en el cielo por enseñarme que los sueños son alcanzables.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dado la oportunidad de ingresar y unirme a tan noble institución como lo es la Armada del Ecuador, también a mi familia, especialmente a mi abuelo y a mi padre quienes me enseñaron desde pequeño lo que era la Armada y me inculcaron la carrera del mar, así como mi madre que me aconsejó siempre lo mejor para ser un buen hombre. Agradezco a todo el personal de Señores Oficiales, tripulantes y servidores públicos que conforman la Escuela Superior Naval "CMDTE. RAFAEL MORÁN VALVERDE" por haberme impartido conocimientos útiles en mi carrera militar y en mi vida en general. También deseo expresar un agradecimiento especial al Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador (INOCAR) por el constante soporte académico y científico que me brindaron para llevar a cabo la elaboración del presente proyecto de grado.

TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	i
DECLARACIÓN EXPRESA.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
TABLA DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE CUADROS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	xiii
CAPÍTULO I.....	1
PROBLEMA SITUACIONAL DEL DISEÑO PREVENTIVO DE EVACUACIÓN EN CASO DE TSUNAMI Y SU CONTRIBUCIÓN A SALVAGUARDAR LA SEGURIDAD DE LOS HABITANTES QUE SE ENCUENTRAN EN EL PERÍMETRO COSTANERO DE LA CIUDAD SE SALINAS, PROVINCIA DE SANTA ELENA.	1
1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3 PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.4 OBJETIVOS	4
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.5 HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	5
1.5.1 HIPÓTESIS O IDEAS A DEFENDER.....	5
1.5.2 VARIABLES.....	5

CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1 FUNDAMENTO LEGAL	6
2.2 FUNDAMENTO TEÓRICO.....	7
2.2.1 TSUNAMIS	7
2.2.2 PLACAS TECTÓNICAS	9
2.2.3 LÍMITES TECTÓNICOS	9
2.2.4 CINTURÓN DE FUEGO DEL PACÍFICO	12
2.2.5 SALINAS, ECUADOR.....	13
2.2.6 TEORÍA DE COLAS	14
2.2.7 MODELO DE LAS PROBABILIDADES DE PÉRDIDAS DE ERLANG.....	14
CAPÍTULO III.....	15
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	15
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	15
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA	15
3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	15
3.4 MÉTODOS UTILIZADOS.....	15
3.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	16
CAPÍTULO IV	18
MODELO PARA OPTIMIZAR LA EVACUACIÓN DE LOS HABITANTES QUE SE ENCUENTRAN EN EL PERÍMETRO COSTANERO DE SALINAS EN CASO DE UN TSUNAMI.	18
4.1 JUSTIFICACIÓN	18
4.2 OBJETIVO	18
4.3 DESARROLLO DE ASPECTOS TÉCNICOS OPERATIVOS RELACIONADOS CON LA PROPUESTA	18

CONCLUSIONES	36
RECOMENDACIONES.....	37
BIBLIOGRAFÍA.....	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Velocidad de la ola de un Tsunami.....	8
Figura 3.1 Software CPV2010	16
Figura 4.1 Porcentaje de habitantes por parroquias del cantón Salinas	19
Figura 4.2 Parroquias del cantón Salinas	20
Figura 4.3 Porcentaje de hogares por parroquias en el cantón Salinas.....	21
Figura 4.4 Rutas de evacuación de Salinas.....	23
Figura 4.5 Ruta de evacuación #1	24
Figura 4.6 Ruta de evacuación #2	25
Figura 4.7 Ruta de evacuación #3	26
Figura 4.8 Modelo inicial de Erlang tomado de un ejemplo de líneas en un buque.....	31
Figura 4.9 Modelo de Erlang aplicado a las vías de tránsito.....	31

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1 Ejemplo de datos tabulados por el Software CPV2010.....	17
Cuadro 4.1 Habitantes por parroquias del cantón Salinas.....	19
Cuadro 4.2 Hogares por parroquias del cantón Salinas.....	21
Cuadro 4.3 Variables evaluadas en la Fórmula de Erlang.....	32
Cuadro 4.4 Primer modelo a ser evaluado.....	33
Cuadro 4.5 Segundo modelo a ser evaluado.....	34
Cuadro 4.6 Tercer modelo a ser evaluado.....	35

RESUMEN

El diseño preventivo de evacuación en caso de un Tsunami presentado a continuación se centra en una investigación demográfica usando datos georeferenciados y otras herramientas más para identificar los factores que afectan o benefician la ejecución de dicho diseño con la finalidad de salvaguardar la vida de los habitantes de la ciudad de Salinas. El desarrollo investigativo del presente proyecto está basado en una serie de teorías que fueron inspiradas por el estudio de estadísticas y probabilidades, partimos en el análisis de la Teoría de Colas que nos ayuda a estudiar acerca del comportamiento de las personas al momento de emplear un servicio donde hay que pasar por algún tipo de cola y su comportamiento durante la congestión con el fin de implementar una solución a dicho problema. También se ha definido por medio de datos censales precisos el número de personas que tomarían el papel de actores en dicho diseño preventivo de evacuación en caso de un Tsunami para los diferentes escenarios posibles que puedan ejecutarse en la ciudad de Salinas. Como resultado de este proyecto, en caso de evacuación por una alerta de Tsunami se han estudiado 3 vías de evacuación que han sido planteadas por el Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador a través del estudio del mapa de inundación de Salinas(2011), analizando su efectividad, tiempo en que se realizaría la evacuación, y zonas demográficamente seguras para que los habitantes de Salinas se encuentren resguardados y seguros al momento de evacuar, estudiando y analizando lo real y lo posible. Finalmente, los modelos y procesos evaluados han permitido descifrar la realidad de las probabilidades que existen de tener éxito en la organización de la población y sus medios disponibles por medio del planteamiento de los peores escenarios posibles, los cuales giran en torno al único factor que no está sujeto a cambio, el tiempo.

PALABRAS CLAVE: DISEÑO, EVACUACIÓN, INVESTIGACIÓN, DEMOGRÁFICA, GEOREFERENCIADOS, SALVAGUARDAR, HABITANTES, ESTUDIO, ESTADÍSTICAS, PROBABILIDADES, COLAS, CENSALES, TSUNAMI, SALINAS.

ABSTRACT

Preventive evacuation design of a Tsunami presented below focuses on demographic research using georeferenced data and other tools to identify the factors that most affect or benefit the execution of the design in order to safeguard the lives of the habitants of the city of Salinas. The research development of this project is based on a number of theories that were inspired by the study of statistics and probability, we start the analysis of Queuing Theory that helps us to learn about the behavior of people when they have to use a service where they have to go through some kind of queue and their behavior during congestion in order to implement a solution to this problem. It has also been defined by means of accurate census data the number of people who would take the role of actors in this preventive evacuation design in case of a Tsunami for the different scenarios that can be implemented in the city of Salinas. As a result of this project, in case of evacuation alert because of a Tsunami, there have been studied a number of escape routes determined by Navy Oceanographic Institute from Ecuador, analyzing the time that the evacuation would take place, and demographically safe areas for residents of Salinas, analyzing what is real and what is possible. Finally, the models and tested processes have enabled to realize the reality of the odds of success which take place in organizing people and resources available through the approach of the worst case and worst scenarios, which revolve around the only factor that is not subject to change over, the time.

KEYWORDS: DESIGN, EVACUATION, DEMOGRAPHIC, RESEARCH, GEOREFERENCED, SAVEGUARD, HABITANTS, STATISTICS, PROBABILITY, QUEUING, CENSUS, TSUNAMI, SALINAS, SCENARIOS.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se llevó a cabo mediante la aplicación de modelos estadísticos determinados por probabilidades de bloqueo de las vías de tránsito para realizar una evacuación de la ciudad de Salinas en caso de un Tsunami, vías que han sido determinadas por el Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador en su mapa de inundación de la ciudad de Salinas.

El Ecuador es un país que por situarse dentro del cinturón de fuego del Pacífico, precisamente frente a las placas de Nazca y la Sudamericana, está sujeto a enfrentar en cualquier momento que la naturaleza lo proponga una amenaza de Tsunami.

Para esto existen organismos o instituciones como la Secretaría de Gestión de Riesgos que son los encargados de ejecutar los planes de evacuación de la ciudad de Salinas, la presente investigación se enfoca principalmente en una serie de modelos determinísticos y estocásticos que permiten analizar la efectividad y capacidad de las vías de evacuación en caso de tener que desplazar un cierto número de vehículos por una vía que tenga determinados kilómetros de longitud, también se evalúa el factor tiempo que es factor más importante que no puede ser modificado o corregido.

Finalmente se mostrarán los resultados para determinar si estadísticamente es posible realizar una evacuación óptima en caso de que se presente una amenaza de Tsunami en las costas de la ciudad de Salinas.

CAPÍTULO I

PROBLEMA SITUACIONAL DEL DISEÑO PREVENTIVO DE EVACUACIÓN EN CASO DE TSUNAMI Y SU CONTRIBUCIÓN A SALVAGUARDAR LA SEGURIDAD DE LOS HABITANTES QUE SE ENCUENTRAN EN EL PERÍMETRO COSTANERO DE LA CIUDAD SE SALINAS, PROVINCIA DE SANTA ELENA.

1.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En las costas de la Península de Santa Elena, no existen evidencias históricas de la presencia de Tsunamis catastróficos de cualquier origen. Existe una escasa información de dos eventos tsunamigénicos durante los sismos del 2 de octubre de 1933 frente a La Libertad, y del 12 de diciembre de 1953 en la región fronteriza del Ecuador y el Perú, es decir ambos de la costa ecuatoriana. (INOCAR, 2011)

El 11 de marzo del 2011 se declaró alerta de tsunami para todo el perfil costanero del Ecuador, al igual que las costas de Galápagos, luego de que un sismo de 8,9 grados en el escala de Richter devastó el Japón a las 02:46 (hora local), y la llegada de un tsunami a las costas del Pacífico era segura, aunque la advertencia de un tsunami en las costas ecuatorianas se redujo a un “desapercibido fenómeno” después de un par de horas según lo anunció en propio presidente Rafael Correa. (Ayala, 2011)

Tras éste acontecimiento el Gobierno Nacional decretó estado de excepción a las 06:30 y convocó a la Armada del Ecuador para que dirija las evacuaciones en todas las localidades de la Provincia de Santa Elena, lo cual mostró al país la preparación y capacidad de respuesta que tiene la Armada en caso de una emergencia por desastre natural junto con la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo, actualmente Secretaría de Gestión de Riesgos. (Ayala, 2011)

Aunque el daño no fue considerable en el país, fue necesario un diseño preventivo de evacuación estableciendo zonas seguras y medidas que tomar para este eventual desastre natural que ocasionó daños en las costas de las Islas Galápagos, y levantó una alerta de tsunami en nuestro país.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Es necesario la elaboración de un diseño preventivo de evacuación para los habitantes de la ciudad de Salinas en la Provincia de Santa Elena, sobre una base de un modelo determinístico (registros demográficos y geográficos) así como estocásticos (modelamiento de flujos de evacuación) ya que se debe tener conocimiento de los flujos posibles de la población ante una eventual amenaza de un desastre natural. En este caso hablamos de un Tsunami, el cual permite un análisis entre orígenes y destinos de estos flujos así como tomar como líneas base o referencia lo ocurrido en el Tsunami que se suscitó en las costas del perfil costanero del Ecuador

Consecuentemente, es importante la ejecución y comprobación de un modelo o diseño preventivo de evacuación en caso de Tsunami, que permita analizar de forma dinámica los movimientos de la población de la ciudad de Salinas y proceder de una manera técnicamente correcta ante éste fenómeno natural. Esta determinación, al derivar de un modelo técnico, nos asegura establecer niveles de rendimiento / éxito por medio del juego de sus variables básicos como por ejemplo:

- Zonificación (georeferenciada) de la distribución demográfica (población y vivienda)
- Métodos de evacuación
- Zonas seguras
- Determinación de Vías/Rutas de tránsito hacia las zonas seguras. Análisis de los niveles de congestión.
- Autoridades que ayudan a evacuar de la zona y sus funciones
- Organismos que se encargan de controlar los daños del lugar afectado

Aunque no todos los Tsunamis son destructivos, todos son peligrosos, esto significa que corren el riesgo de perder la vida personas que habitan en el lugar afectado. El principal motivo por el cual es necesario la elaboración de éste plan preventivo es el de maximizar la probabilidad de salvaguardar la vida de los habitantes de la ciudad de Salinas, ya que las pérdidas materiales son recuperables, pero las pérdidas humanas no lo son, muy aparte del impacto económico que puede causar dicho desastre natural a la economía de nuestro país, ya sea directa o indirectamente, por medio de gastos por reparación y reconstrucción, o por un golpe que afecte a la pesca en las costas ecuatorianas. Ningún país o estado ribereño del planeta está fuera del alcance de un Tsunami, ni de las consecuencias de algún fenómeno o desastre natural.

En este sentido, el indicador más importante en este modelamiento será el tiempo de evacuación, por lo que se seleccionarán aquellas alternativas (rutas, medios y formas de salida), que aseguren el mínimo tiempo de evacuación para la totalidad de la población desde aquellos sitios en los que se encuentren distribuidos

1.3 PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

Se conoce que la costa sudamericana en el Pacífico es la zona de subducción de la Placa de Nazca Oceánica bajo la Placa Sudamericana Continental, en esta zona se produce constantemente actividad sísmica, motivo por el cual se originan los terremotos tsunamigénicos a los que la ciudad de Salinas está sujeta a enfrentar en cualquier momento.

Actualmente existen estrategias de prevención manejadas por parte de la Secretaría de Gestión de Riesgos, basadas en bases técnica justificada que puedan resolver el problema de la evacuación de la población de la ciudad de Salinas, sin embargo, no se han efectuado estudios estadísticos-matemáticos que mediante modelos planteados para análisis, logren contribuir con más información básica y necesaria que ayude a disminuir los daños físicos, materiales, y humanos en caso de un eventual Tsunami.

También se debe conocer el papel que cumple el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR) en caso de un Tsunami a través de su Centro de Monitoreo Oceanográfico (CMO), y cómo contribuye a la Secretaría Gestión de Riesgos al momento de decretar la alerta de Tsunami.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema preventivo de evacuación en caso de Tsunami que contribuya a salvaguardar la seguridad de los habitantes que se encuentran en el perímetro costanero de la ciudad de Salinas, Provincia de Santa Elena.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar el proceso de evacuación mediante un modelamiento estadístico-matemático partiendo de datos geo-referenciados para determinar un modelo de evacuación que se acerque más a la realidad y que me permita realizar una evacuación óptima.
2. Definir rutas de tránsito o caminos de acceso desde distintas partes de la ciudad de Salinas, hasta el punto más cercano que haya sido determinado como zona segura para lograr evacuar a los habitantes en menor tiempo.
3. Generar un modelo determinístico, y estocástico que describa el problema de la evacuación de la población con el fin de establecer una diferencia entre lo real y lo probable.
4. Efectuar un análisis dinámico de los rendimientos de evacuación de las rutas de tránsito posibles con el fin de establecer qué factores son los más influyentes en el comportamiento del tráfico durante la evacuación.

1.5 HIPÓTESIS Y VARIABLES

1.5.1 HIPÓTESIS O IDEAS A DEFENDER

No es posible realizar una evacuación óptima de la ciudad de Salinas en caso de un Tsunami, basándonos en estudios probabilísticos que analizan las capacidades de las vías y el congestionamiento de éstas.

1.5.2 VARIABLES

1.5.2.1 DEPENDIENTES

- La capacidad de respuesta y medios disponibles.
- Tiempo de respuesta (en emitir la alerta de evacuación)
- Tiempo de evacuación
- La rapidez y efectividad del accionar de las respectivas autoridades para la ayuda de la población.
- La colaboración de los habitantes de la zona afectada para agilizar la evacuación.

1.5.2.2 INDEPENDIENTE

- Amenaza de un Tsunami en las costas de la ciudad de Salinas, provincia de Santa Elena
- Tiempo disponible para la evacuación
- Capacidad de tráfico de las rutas seleccionadas

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 FUNDAMENTO LEGAL

El Estado ecuatoriano a través de la Constitución de la República del Ecuador vigente, establece en sus artículos 3, 389 y 140, parte del marco legal que se ha considerado pertinente para este estudio. Estos dicen textualmente:

“Art. 3. Del órgano ejecutor de Gestión de Riesgos.- La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos es el órgano rector y ejecutor del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos. (...)”

“Art. 389. La Constitución el Estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópicos mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad. El sistema nacional descentralizado de gestión de riesgos está compuesto por las unidades de gestión de riesgo de todas las instituciones públicas y privadas en los ámbitos local, regional y nacional. El Estado ejercerá la rectoría a través del organismo técnico establecido en la ley. Tendrá como funciones principales, entre otras:

1. Identificar los riesgos existentes y potenciales, internos y externos que afecten al territorio ecuatoriano.
2. Generar, democratizar el acceso y difundir información suficiente y oportuna para gestionar adecuadamente el riesgo.
3. Asegurar que todas las instituciones públicas y privadas incorporen obligatoriamente, y en forma transversal, la gestión de riesgo en su planificación y gestión.
4. Asegurar que todas las instituciones públicas y privadas incorporen obligatoriamente, y en forma transversal, la gestión de riesgo en su planificación y gestión.

5. Asegurar que todas las instituciones públicas y privadas incorporen obligatoriamente, y en forma transversal, la gestión de riesgo en su planificación y gestión.
6. Asegurar que todas las instituciones públicas y privadas incorporen obligatoriamente, y en forma transversal, la gestión de riesgo en su planificación y gestión.
7. Garantizar financiamiento suficiente y oportuno para el funcionamiento del Sistema, y coordinar la cooperación internacional dirigida a la gestión de riesgo.”

“Art. 140. La gestión de riesgos que incluye las acciones de prevención, reacción, mitigación, reconstrucción y transferencia, para enfrentar todas las amenazas de origen natural o antrópico que afecten al cantón se gestionarán de manera concurrente y de forma articulada con las políticas y los planes emitidos por el organismo nacional responsable, de acuerdo con la Constitución y la ley. (...)”

2.2 FUNDAMENTO TEÓRICO

2.2.1 TSUNAMIS

2.2.1.1 CONCEPTO DE TSUNAMI:

La palabra Tsunami es un término japonés que resulta de la unión de Tsu que significa puerto y nami que significa ola. Un Tsunami se genera debido a un sismo o terremoto submarino en el fondo del océano, el cual a su vez genera ondas de agua que poseen una gran longitud y que pueden resultar dañinas para la población con la que dicha ola logre tener contacto.

2.2.1.2 TIPOS DE TSUNAMIS.

Para una breve explicación acerca de los tipos de Tsunamis, altura, velocidad, y longitud de olas, se presenta a continuación la Figura 2.1 en la cual se detallan gráficamente dichos parámetros.

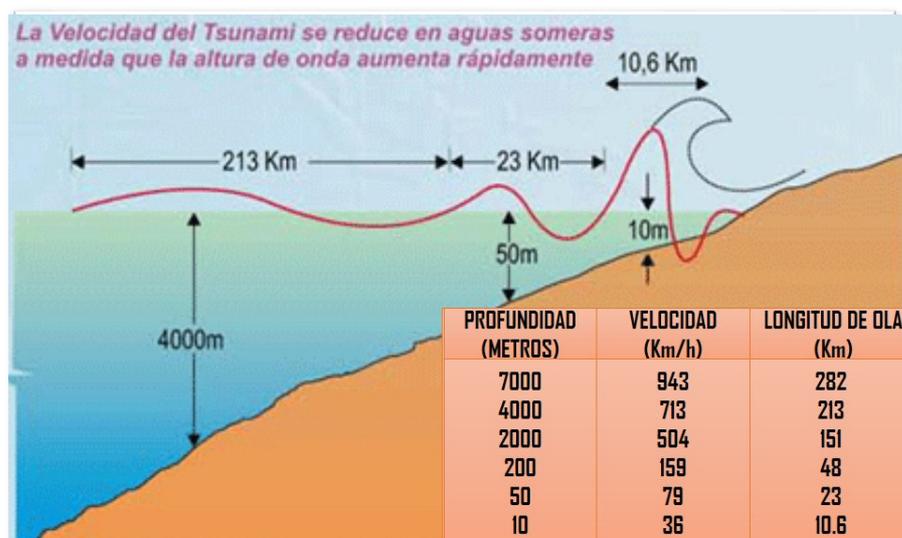


Figura 2.1 Velocidad de la ola de un Tsunami

Fuente: www.prh.noaa.gov

Elaborado por: Emilio Rosero

2.2.1.2.1 TSUNAMIS LEJANOS

Un Tsunami lejano es aquel que se genera a grandes distancias de nuestras costas y que pueden llegar a las mismas hasta en 24 horas, una vez que ya haya sido generado el Tsunami.

2.2.1.2.2 TSUNAMIS REGIONALES

La amenaza regional de Tsunamis para el Ecuador, la representa todos aquellos sismos tsunamigénicos que pudieran ocurrir en el continente americano, especialmente aquellos ubicados por debajo de la latitud 30 N, sin dejar de mencionar que Sudamérica posee el registro del sismo y Tsunami más grande de la historia conocida, el de Chile de 1960 que fue de 9.6 en la escala de Richter, y que la actividad sísmica de esta parte del planeta es la más alta después de Japón. (Lomnitz, 1970)

2.2.1.2.3 TSUNAMIS LOCALES

Al hablar de Tsunamis locales, se refiere a que el lugar de arribo de las olas en la costa se encuentra relativamente cerca del sitio en donde el Tsunami fue generado, es decir donde ocurrió el sismo. (INOCAR, Diagnóstico de la amenaza tsunamigénica de las costas ecuatorianas, 2010)

2.2.2 PLACAS TECTÓNICAS

Las Placas Tectónicas son un conjunto de seis grandes casquetes esféricos y varios menores que se engranan entre sí como un rompecabezas. Sus límites son dorsales oceánicas, fosas y arcos insulares, y fallas de transformación. Ésta teoría se fundamenta en el concepto de que la tierra no es rígida, sino que continentes y cuencas oceánicas derivan lentamente fracturándose y reuniéndose. (Pasotti, 1977)

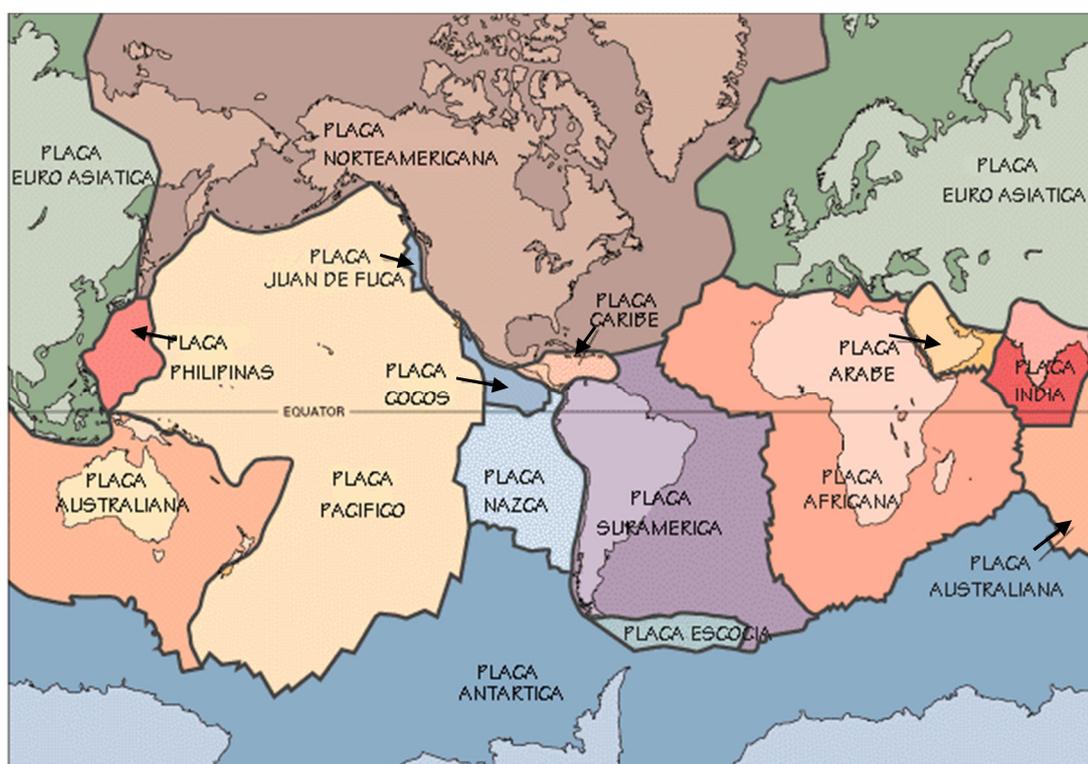


Figura 2.2 Placas tectónicas
Fuente: www.proteccioncivil.org
Elaborado por: Emilio Rosero

2.2.3 LÍMITES TECTÓNICOS

Un Tsunami es generado por actividad geológica submarina, y la actividad geológica proviene de la interacción entre placas cuando éstas se acercan o se separan. El movimiento de las placas crea tres tipos de límites tectónicos.

2.2.3.1 LÍMITES CONVERGENTES.

Los límites convergentes o fosas se presentan durante un movimiento de aproximación de las placas. Éste movimiento ocasiona que la corteza se doble

hacia arriba creando así las cordilleras, un gran ejemplo es la cordillera de los Andes que resulta de la aproximación de la Placa de Nazca con la Placa Sudamericana, a continuación se detalla gráficamente en la Figura 2.3 cómo se produce éste movimiento.



Figura 2.3 Cordillera formada por límites convergentes

Fuente: <http://www.solociencia.com/>

Elaborado por: Emilio Rosero

También se producen cuando una de las placas se introduce bajo la otra en un proceso que se denomina subducción, presentando intensa sismicidad y vulcanismo.

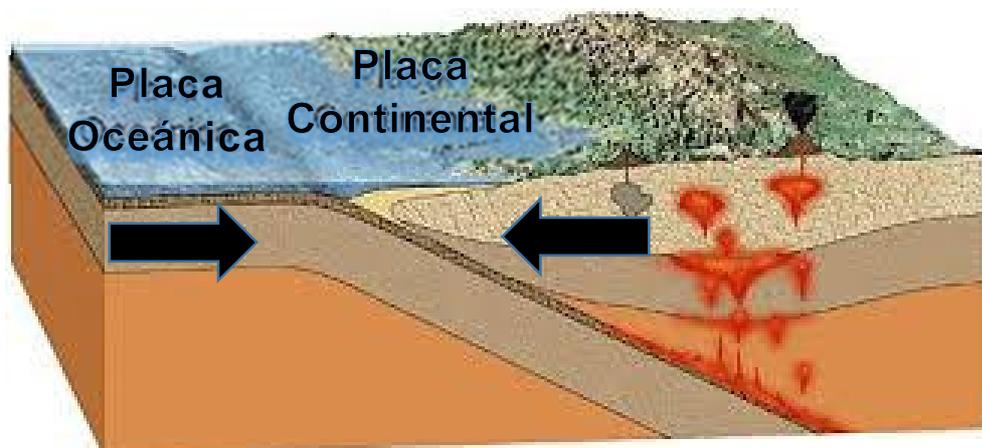


Figura 2.4 Subducción

Fuente: <http://portalweb.sgm.gob.mx/>

Elaborado por: Emilio Rosero

2.2.3.2 LÍMITES DIVERGENTES

En los límites divergentes de los océanos, el magma surge en la superficie desde las profundidades del manto de la Tierra, separando dos o más placas y renovando el fondo oceánico.

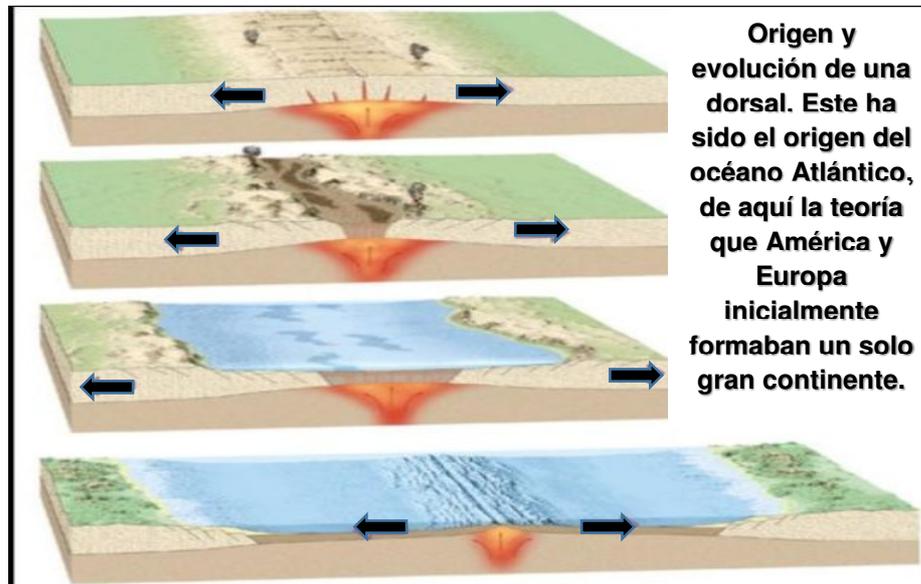


Figura 2.5 Límites divergentes
Fuente: www.biologiaparaaprender.weebly.com
Elaborado por: Emilio Rosero

2.2.3.3 LÍMITES TRANSFORMANTES

Las Fallas Transformantes son el borde de desplazamiento lateral de una placa tectónica respecto a la otra. Su presencia es notable gracias a las discontinuidades del terreno.

Este tipo de fallas conecta las dorsales mesocénicas, otras simplemente acomodan el desplazamiento entre placas continentales que se mueven en sentido horizontal.

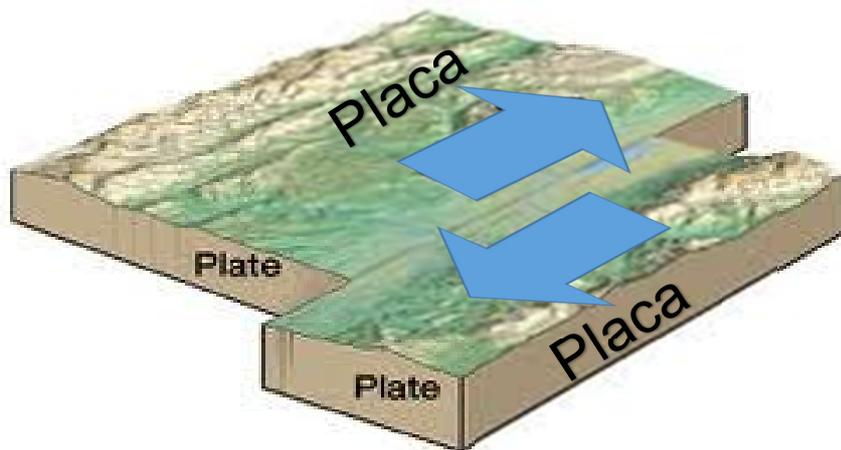


Figura 2.6 Fallas transformantes
 Fuente: <http://portalweb.sgm.gob.mx/>
 Elaborado por: Emilio Rosero

2.2.4 CINTURÓN DE FUEGO DEL PACÍFICO

El Anillo de Fuego, también llamada el Cinturón de Fuego del Pacífico, es una larga cadena de volcanes y otras estructuras tectónicas activas que rodean el océano Pacífico.

Esta cadena forma un anillo alrededor del océano Pacífico, a lo largo de la costa oeste de Sudamérica y Norteamérica, así también como a lo largo de la costa este de Asia y la costa más al norte de Antártica. Anillo de Fuego es un nombre adecuado porque es una de las áreas geológicas más activas de la Tierra.

Existen más de 450 volcanes activos e inactivos dentro del Anillo de Fuego. Muchos fueron creados a partir de la colisión de las placas oceánicas y las placas continentales. Las placas oceánicas son las más densas y deslizan bajo las placas continentales más livianas. El material del fondo oceánico se derrite a medida que entra al interior de la Tierra y después sale a la superficie como magma del volcán. (Earthsky, 2013)

El Ecuador se encuentra ubicado en éste borde del océano Pacífico, denominado el "Cinturón de fuego del Pacífico", un lugar alrededor del Océano caracterizado por gran actividad volcánica y sísmica. Aproximadamente a 50 Km. de la costa ecuatoriana se encuentra una gran depresión en el suelo del océano, la "fosa" oceánica, lugar de convergencia de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana, constituyéndose esta interacción en la fuente sísmo genética más activa e importante del país.

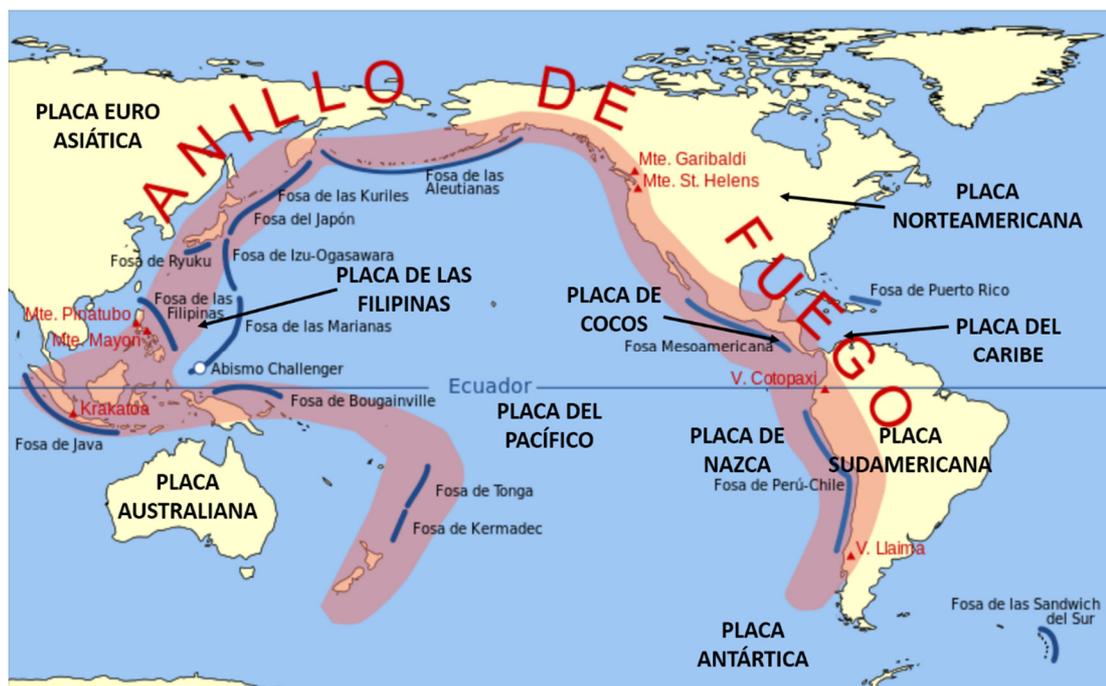


Figura 2.7 Cinturón de Fuego del Pacífico
Fuente: www.sismo24.cl/qbasedatos.html
Elaborado por: Emilio Rosero

2.2.5 SALINAS, ECUADOR

2.2.5.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Salinas, Latitud $02^{\circ}12'24''$ Sur y Longitud $080^{\circ}57'30''$ Oeste, está ubicado en la Península de Santa Elena, es el punto más occidental de la costa continental del Ecuador, se extiende desde punta San Lorenzo hasta punta Mandinga, y es el principal balneario internacional del país. El terreno sobre el que se asienta esta ciudad es plano, destacándose como única elevación el Cerro de la puntilla, con 95 mts. de altura. (INOCAR, Derrotero – Cap. IV)

2.2.5.2 CARACTERÍSTICAS HIDROGRÁFICAS Y OCEANOGRÁFICAS

No hay cauces de ríos, la población se extiende a lo largo de la playa, esta zona no tiene protección de los vientos, la altura de las olas se incrementa en los días de aguajes, la máxima altura de la ola registrada fue de 3.1 m, en el mes de febrero de 1998 correspondiente al fenómeno natural El Niño. (INOCAR, Derrotero – Cap. IV)

2.2.6 TEORÍA DE COLAS

Cuando se habla acerca de la Teoría de colas, como lo dice el nombre, se estudia el comportamiento del cliente en una línea de espera al momento de hacer uso de un servicio.

Si al momento en que el cliente llega hacia el servidor éste demora en brindarle el servicio, entonces se forma la cola o línea de espera, de aquí partimos que el servicio puede encontrarse en tres diferentes estados; vacío, equilibrado, o congestionado. Éste estudio es realizado por grandes empresas que brindan servicios presenciales, como por ejemplo un banco o un supermercado, en los cuales se pueden aumentar los mecanismos de servicios (cajas o ventanillas) en caso de que el sistema se encuentre congestionado. Así como en caso de que el mecanismo de servicio se encuentre vacío significaría que se están empleando medios innecesarios que podrían representar pérdidas para una empresa.

2.2.7 MODELO DE LAS PROBABILIDADES DE PÉRDIDAS DE ERLANG

El modelo de Erlang principalmente es un esquema basado en la teoría de la probabilidad, diseñado para redes de telecomunicaciones, sirve como la herramienta perfecta para estudiar y determinar el rendimiento de éstas enfocándose en las probabilidades de bloqueo de las líneas y sus conexiones.

El modelo de Erlang puede ser modificado para cualquier análisis del rendimiento de un sistema que esté basado en estadísticas y probabilidades para determinar las pérdidas en dicho sistema, así como modelos matemáticos que estén siendo sujetos a evaluación.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Investigación de Campo: Para éste diseño interpretará y solucionará la situación, problema o necesidad en el momento de reaccionar ante una alerta de Tsunami. La investigación será trabajada en un ambiente natural en el que el factor más importante es el tiempo, y el principal objetivo es salvaguardar la vida de los habitantes que deben ser evacuados.

Investigación Aplicada: Se utilizarán los conocimientos obtenidos con las investigaciones en la práctica, y con ello traer beneficios a la sociedad. Un ejemplo es el protocolo en la investigación médica.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

Población: Aproximadamente 35000 habitantes que viven en la ciudad de Salinas.

Muestra: Debido a que la investigación a realizar es un diseño preventivo de evacuación dirigido a todos los habitantes de la ciudad de Salinas, la muestra serán los 35000 habitantes que viven en la ciudad.

3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Sistema de Datos del INEC (sobre la base del Censo del 2010).

Se adquirirá información demográfica y poblacional de un sistema informático del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) que posee datos acerca de las provincias, cantones, parroquias, zonas y sectores en el ámbito de estudios estadísticos.

3.4 MÉTODOS UTILIZADOS

Geo-referenciación: La Geo-referenciación es un neologismo, con esto se refiere a una palabra que recién aparece en una lengua, se basa en el posicionamiento con el que se define la localización de un objeto espacial

representado mediante un punto, vector, área o volumen en un sistema de coordenadas y datum determinado.

Teoría de colas: Es una teoría básicamente sencilla que estudia y analiza la congestión de un servicio relacionando los tiempos de arribo y de atención de un usuario.

Modelamiento dinámico (simulación): Serán planteados diferentes escenarios para simulación de una alerta de Tsunami, partiendo desde el escenario más complejo, que significa que en dicho caso la ola se acerca rápidamente a la costa, se tiene poco tiempo de reacción y evacuación, y los daños tanto humanos y materiales pueden ser catalogados en gran tamaño.

3.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Para el procesamiento y análisis de datos se han usado el software Sistema Integrado de Consultas perteneciente al Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos de donde se han tomado los datos exactos numéricos en cuanto a cifras de población y viviendas en el presente estudio. Dicho software trabaja sobre la base de datos obtenida a partir del censo del año 2010 en la República del Ecuador.



Figura 3.1 Software CPV2010
Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Ecuador
Elaborado por: Emilio Rosero

También se efectúa un análisis partiendo de probabilidades, modelos, y diseños a correr para probar la eficiencia y efectividad del presente proyecto, ya que en éste influyen muchos factores o parámetros que podrían ser variables debido a que se trata de varios escenarios que nos permitirán luego del análisis llegar a una serie de conclusiones para poder efectuar las recomendaciones respectivas.

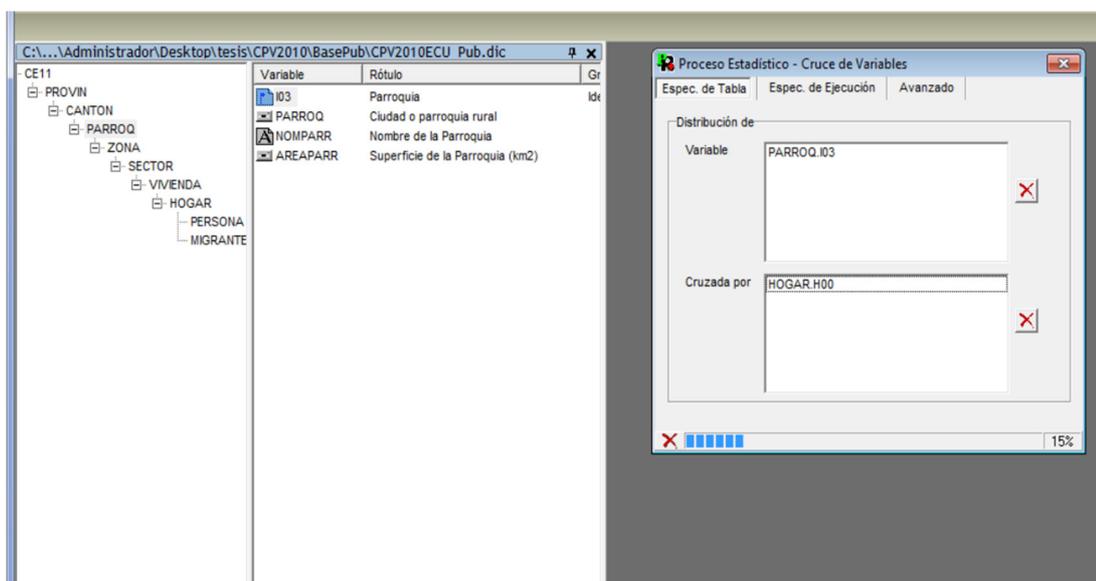


Figura 3.2 Base de Datos de la República del Ecuador
Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Ecuador
Elaborado por: Emilio Rosero

Finalmente, luego de evaluar y analizar los parámetros necesarios para el procesamiento de datos, éste software genera una tabla con datos tabulados, que son los que realmente necesito para evaluar el rendimiento de los modelos que se van a plantear.

Superficie de la Parroquia (km2)	Número del hogar en la vivienda				
	1	2	3	4	Total
ANCONCITO 8,79	2.700	124	6	1	2.831
SALINAS 25,50	8.127	197	10	1	8.335
JOSE LUIS TAMAYO 33,88	5.378	116	2	-	5.496
Total	16.205	437	18	2	16.662

Cuadro 3.1 Ejemplo de datos tabulados por el Software CPV2010
Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
Elaborado por: Emilio Rosero

CAPÍTULO IV

MODELO PARA OPTIMIZAR LA EVACUACIÓN DE LOS HABITANTES QUE SE ENCUENTRAN EN EL PERÍMETRO COSTANERO DE SALINAS EN CASO DE UN TSUNAMI.

4.1 JUSTIFICACIÓN

Con el fin de optimizar y agilizar la evacuación de la población de la ciudad de Salinas en caso de un Tsunami es necesario elaborar un modelo basado en varios posibles escenarios que nos permitan a través de simulación analizar y determinar las posibles vías de evacuación, y su efectividad en un determinado tiempo para salvaguardar la vida de los habitantes de Salinas. Para esto se debe basar en una serie de parámetros estadísticos que determinarán la relación del tiempo que se dispone a partir de la alarma del Tsunami con el tiempo que toma la evacuación de la población de la ciudad de Salinas hacia la zona segura.

4.2 OBJETIVO

El objetivo de éste modelo para optimizar la evacuación de la población de Salinas en caso de Tsunami es que basados en datos estadísticos geo-referenciados, se conozcan las rutas de acceso desde distintas partes de la ciudad de Salinas hacia la zona determinada como segura durante el proceso de evacuación. También se busca probar los diferentes modelos que se han planteado a través de las diferentes vías de evacuación hacia la zona segura en el tiempo establecido.

4.3 DESARROLLO DE ASPECTOS TÉCNICOS OPERATIVOS RELACIONADOS CON LA PROPUESTA

La propuesta para el plan de evacuación se enfoca en una sola variable clave, el tiempo de evacuación, dicha variable es la más crítica y mide el rendimiento de todo el diseño preventivo ya que el análisis que se realizará debe permitir generar opciones de menor tiempo con mayor eficiencia. Para evaluar el modelo que será planteado existen una serie de parámetros que se

explicarán más adelante y que nos ayudarán a determinar enfocándonos en el tiempo si el diseño preventivo de evacuación planteado es eficiente o no lo es.

Para el análisis se presenta mediante una figura y un cuadro el número total de habitantes de las parroquias Anconcito, José Luis Tamayo, y Salinas pertenecientes al cantón Salinas. Éstos nos ayudarán al estudio de modelos geo referenciados para evaluar los posibles escenarios que pueden surgir al presentarse una alerta de Tsunami en la ciudad de Salinas con el fin de ayudar a salvaguardar la vida de los habitantes de dicha ciudad. Es necesario aclarar que el dato que más relevancia tiene es el número de habitantes que hay en la parroquia Salinas.

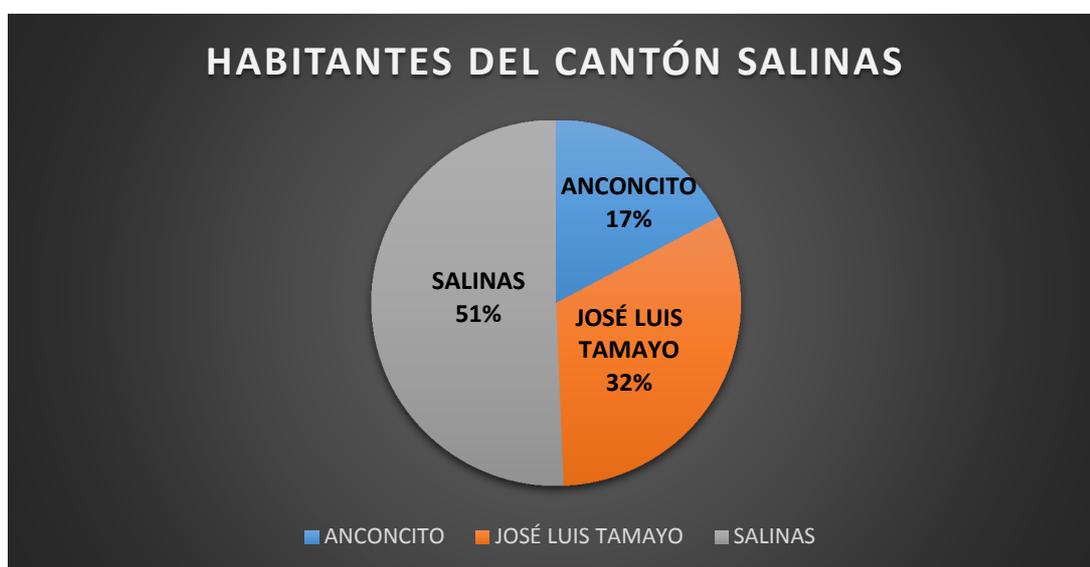


Figura 4.1 Porcentaje de habitantes por parroquias del cantón Salinas

Fuente: CPV2010 (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos)

Elaborado por: Emilio Rosero Mosquera

CANTÓN	PARROQUIA	HABITANTES
SALINAS	ANCONCITO	11,822
	JOSÉ LUIS TAMAYO	22,064
	SALINAS	34,789
	TOTAL	68,675

Cuadro 4.1 Habitantes por parroquias del cantón Salinas

Fuente: CPV2010 (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos)

Elaborado por: Emilio Rosero Mosquera

La imagen que se muestra a continuación corresponde al cantón Salinas regionalizado por parroquias los denominativos que se emplean para cada parroquia son numéricos ya que así lo estableció el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador, definiendo así el número 24 para la provincia de Santa Elena; 03 para el cantón Salinas; 50 para la parroquia Salinas, 51 para la parroquia Anconcito y 52 para la parroquia José Luis Tamayo como se puede apreciar en la imagen a continuación.



Figura 4.2 Parroquias del cantón Salinas

Fuente: Google Earth Pro

Elaborado por: Emilio Rosero

Con los datos planteados en el Cuadro 4.1, podemos determinar que la parroquia Salinas es la más poblada, también es la que posee el mayor perímetro costanero del cantón por lo que se vería más afectada en caso de un Tsunami. Ventajosamente la ciudad de Salinas cuenta tres vías de tránsito amplias que pueden ser usadas en caso de evacuación y que no están cerca de la costa ya que de ser así no serían usadas, porque no sería lógico evacuar poniendo en peligro a las personas cerca de la costa. También hay que tomar en cuenta que cada vía de evacuación cuenta con 4 carriles que serían

habilitados en dirección oeste-este, aumentando la capacidad de la vía de tránsito al momento de la evacuación al doble del flujo que habría en una sola dirección.

Pero realmente el dato que se necesita para saber exactamente cifras es el número de hogares que existen en la ciudad de Salinas, ya que el peor escenario posible que se va a plantear, indica que cada hogar tiene un carro que será usado al momento de la evacuación, por lo que el número total de hogares será igual al número total de carros que serán usados en la vía de evacuación. A continuación se muestran las cifras exactas de hogares en el cantón Salinas con sus respectivas parroquias.

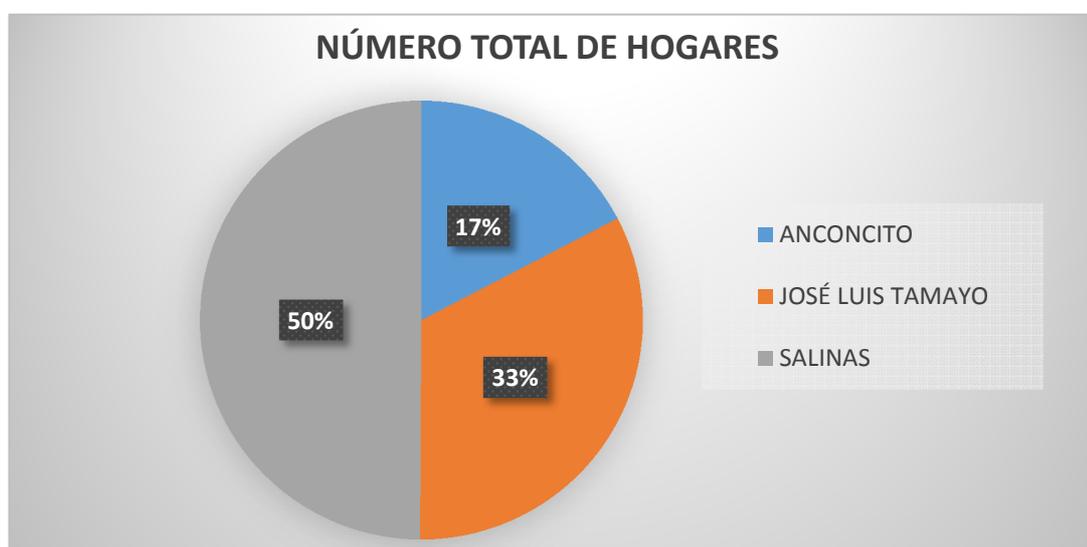


Figura 4.3 Porcentaje de hogares por parroquias en el cantón Salinas

Fuente: CPV2010 (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos)

Elaborado por: Emilio Rosero Mosquera

CANTÓN	PARROQUIA	# TOTAL HOGARES
SALINAS	ANCONCITO	2,970
	JOSÉ LUIS TAMAYO	5,616
	SALINAS	8,555
	TOTAL	17,141

Cuadro 4.2 Hogares por parroquias del cantón Salinas

Fuente: CPV2010 (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos)

Elaborado por: Emilio Rosero Mosquera

Como se puede apreciar en la tabla previamente expuesta, la ciudad de Salinas es la parroquia más poblada del cantón con 8,555 hogares de los cuales aproximadamente el 40% de éstos hogares se encuentran situados en la zona denominada como segura, la cual, más adelante será ubicada gráficamente, éste dato concluye a que el modelo debe ser evaluado con el otro 60% de hogares que están en peligro, pero evaluando el peor de los casos se asume que todos los hogares poseen un vehículo el cual será la cifra que usaremos para el análisis por lo que finalmente el modelo debe ser probado para evacuar un total de 5,133 vehículos.

Se muestra a continuación un mapa del cantón Salinas, en donde se definen las rutas de evacuación más viables en caso de tener que hacerlo. Para lo antes definido se han propuesto 3 vías recomendables de evacuación que se muestran de color negro, verde, y rojo, identificadas con el respectivo nombre de las calles que integran dicha ruta de evacuación.

También se encuentra sombreada de color verde claro la zona establecida como zona segura por parte del Instituto Oceanográfico de la Armada en su publicación “Posibles efectos de un Tsunami en las costas de la península de Santa Elena – Ecuador” en el año 2010.

Esta zona tiene un perímetro de 14,3 km y un área de 4,32 km² que limita en el norte con Punta San Lorenzo, la cual se extiende en el sur hasta el Salinas Country Golf Club, creando una limitación en el oeste formada por estos dos puntos que son el límite de la zona segura, la cual se extiende hacia el este a través del norte de la avenida Carlos Espinoza que es la avenida que se forma por la unión de la calle Jaime Roldós Aguilera y de la calle Assad Bucaram, como se muestra en la figura a continuación. La altura de ésta zona oscila entre los 13 y 28 msnm aproximadamente.



Figura 4.4 Rutas de evacuación de Salinas

Fuente: Google Earth Pro

Elaborado por: Emilio Rosero

A continuación se realizarán los análisis individuales de cada vía de evacuación tomando en cuenta los datos de longitud de cada vía, estableciendo como velocidad promedio de evacuación 45 km/h, sin olvidar que al momento de probar el modelo también se encuentran otros vehículos entrando a la vía de tránsito designada como ruta de evacuación, que ya se encuentran así mismo otros vehículos circulando dentro de la vía, y que ésta velocidad es una variable que evaluándola en varios modelos incidirá en el factor o parámetro más importante; el tiempo de evacuación a través de las vías.

Más adelante se explicarán los demás parámetros que asociados con la velocidad determinarán el efecto o el impacto real que se obtendrá con el presente diseño al momento de ser empleado en caso de un eventual Tsunami local, el peor escenario a plantearse.

Para empezar a analizar la ruta de evacuación #1 se ha establecido gráficamente el camino a seguir en la vía de color negro. Ésta vía tiene una longitud de 3,03 Km e inicia en la cabecera de la pista de aterrizaje del

aeropuerto de Salinas, luego girando a la derecha por la calle Los Almendros, para finalmente avanzar a través de la calle Jaime Roldós Aguilera. Ésta importante vía de evacuación cuenta con cuatro carriles para evacuar la ciudad.

La imagen que se presenta a continuación muestra el mapa de la ruta de evacuación #1 con sus parámetros e indicaciones para proceder. Así mismo están expuestos el tiempo promedio que demoraría un vehículo en evacuar a través de la vía a la velocidad promedio de 45 km/h.



Figura 4.5 Ruta de evacuación #1

Fuente: Google Earth Pro

Elaborado por: Emilio Rosero

La ruta de evacuación #2 se presenta a continuación de color verde. Ésta vía tiene una longitud de 3,10 Km e inicia en el mismo punto de la ruta de evacuación #1, con la diferencia que en el kilómetro 1,76 ésta vía sufre un desvío hacia la derecha a través de la calle 22 de Diciembre por una distancia de 610 metros, y luego se debe girar a la izquierda a través de la calle Assad Bucaram para finalmente recorrer una distancia de 740 metros hasta llegar a la zona segura.



Figura 4.6 Ruta de evacuación #2

Fuente: Google Earth Pro

Elaborado por: Emilio Rosero

La ruta de evacuación #3 se presenta gráficamente a continuación mediante el camino de color morado. Ésta vía tiene una longitud de 1,90 Km, la ruta de evacuación empieza en la calle Antonio José de Sucre y avanza una distancia de 720 metros, al llegar a la altura de la calle 27 se debe girar a la derecha hasta tomar la calle Pichincha y avanzar una distancia de 530 metros, finalmente la ruta gira a la derecha por la calle 36 y avanza una distancia de 540 metros hasta llegar a la zona segura. La imagen que se presenta a continuación muestra el mapa de la ruta de evacuación #3 con sus parámetros e indicaciones para proceder.



Figura 4.7 Ruta de evacuación #3

Fuente: Google Earth Pro

Elaborado por: Emilio Rosero

Continuando con el análisis del diseño preventivo de evacuación en caso de un Tsunami, procederemos a evaluar los datos técnicos para determinar la capacidad y la necesidad de las vías de evacuación en cuanto al flujo de vehículos en el momento que se empieza a evacuar. Una vez que se conocen las condiciones de la vía de tránsito para evacuar se puede empezar el estudio de la capacidad de la ruta. Si la velocidad del vehículo al evacuar es de 45 km/h y el tiempo que transcurre recorrer la vía más larga es de 4 minutos, en el peor de los casos que ocurra un Tsunami local la ola tardaría 15 minutos en llegar a la costa con una velocidad de 36 km/h, de esos 15 minutos se descartan 5 minutos que es el tiempo promedio que se demora la población en reaccionar ante la alarma de Tsunami y salir a la vía de tránsito para empezar la evacuación, quedándonos en total 10 minutos para evacuar la ciudad, lo cual significaría que con el tiempo que se demoraría en evacuar desde el punto más lejos a la velocidad promedio previamente establecida el último vehículo en salir a la ruta de evacuación debería hacerlo hasta el minuto 6 para que luego de 4 minutos de viaje pueda llegar al minuto 10 a la zona segura y encontrarse fuera de peligro. Por lo tanto, si se deben evacuar cerca de 5,133 vehículos y el último grupo de vehículos debe ingresar a la ruta en

el minuto 6, entonces dividiendo proporcionalmente el número de vehículos para el tiempo que se tiene de evacuación éste último grupo constaría de aproximadamente 856 vehículos, los cuales se dividen en las 12 vías que existen para evacuar ya que cada ruta tiene 4 carriles o vías, lo cual expresa como resultado final una cifra de 71 vehículos entrando a la vía por minuto, aunque probablemente la cifra de vehículos que pertenezcan a este grupo debe ser mucho menor pero para efecto de estudio y evaluación se ha establecido el máximo número de vehículos para dicho grupo. Para el análisis hay un cierto margen de error ya que se puede presentar el caso de que hayan hogares que no tienen vehículos, pero dicho caso es compensado en el análisis ya que al hablar de vehículos no se especifica qué tipo de vehículos son, ya que se puede tratar tanto de autos comunes y corrientes como de furgonetas o buses que tienen capacidad para más personas, los cuales podrían ser también contribución de las autoridades.

El presente diseño preventivo de evacuación en caso de un Tsunami se basa en estadísticas y probabilidades, ya que se determina el número de vías necesarias para que la evacuación sea realizada con éxito a través de una ecuación estadística basada en parámetros que se explican posteriormente, y también se analiza la capacidad de las vías de evacuación con el fin de verificar si éstas son útiles y eficientes al momento de soportar un gran flujo de vehículos circulando a través de éstas, teniendo en cuenta que se trata de una evacuación masiva por lo que el congestionamiento es un problema muy importante que hay que solucionar.

Para empezar el análisis se debe conocer que las redes viales no son simples y llanas ya que están compuestas de intersecciones y entradas de calles secundarias. Si éstas entradas de calles secundarias son lo suficientemente grandes entonces las intersecciones no tendrán influencia en el comportamiento del tráfico en una vía principal de evacuación porque los vehículos pueden dejar de usar las intersecciones para entrar a la ruta de evacuación por medio de dichas calles o entradas secundarias. La capacidad de una red vial o el flujo de tráfico a través de ésta es por lo tanto diferente alado de una intersección que de una calle secundaria grande.

El flujo de tráfico tiene tres características principales:

- Intensidad
- Densidad
- Velocidad media

La intensidad del flujo de tráfico es el número de vehículos pasando a través de una sección de la vía de evacuación en una unidad de tiempo, ya sea ésta hora o minuto. La intensidad se expresa con la letra “q”, y su fórmula para hallarla es:

$$q = n/T$$

Intensidad = Número de vehículos/Unidad de tiempo

La densidad del flujo de tráfico (k) es el número de vehículos (m) que se presentan en una unidad de longitud de la vía (x) en un determinado momento, en éste caso es vehículos/kilómetro, y su fórmula es:

$$k = m/x$$

Si el flujo de tráfico llegara a encontrarse en estado estacionario u homogéneo, entonces la siguiente relación es válida: la densidad multiplicada por la velocidad media (u) es igual a la intensidad. Dicha intensidad se representa a través de la fórmula:

$$q = k*u$$

Con los parámetros previamente expuestos se pueden establecer varias relaciones, las cuales dependen del camino, el conductor, el vehículo y de condiciones como la iluminación o el clima.

Primeramente se establece la relación de que mientras más vehículos entran en la vía de evacuación la densidad del flujo de tráfico aumenta, pero una vez que ingresan a la vía la densidad aumenta o se mantiene en un mismo nivel pero no disminuirá, debido al constante ingreso de vehículos. Otra relación que se establece es que cuando los vehículos transitan por la vía de

evacuación a una alta velocidad no existe densidad de tráfico, pero a medida que se disminuye la velocidad la densidad va aumentando y esto se debe a la congestión ya que al momento que se encuentre adelante un vehículo que circula a una baja velocidad significa que todos los vehículos que están en la cola deben circular a esa misma baja velocidad por lo que el número de vehículos por kilómetro aumentaría ya que la densidad del flujo de tráfico también aumentará.

Y finalmente se puede establecer la relación de que mientras más velocidad sea empleada por los vehículos al momento de evacuar más vehículos entrarán en un período de tiempo, en éste caso dicho período de tiempo sería 1 minuto.

En la presente investigación se han obviado otros factores como por ejemplo el hecho de que si una vía de evacuación tiene 4 carriles, 2 de éstos deben ser de circulación a alta velocidad y los otros 2 de circulación a velocidad baja ya que las rutas de evacuación establecidas para la ciudad de Salinas no son carreteras ni autopistas sino que son vías amplias cuyos carriles se tornarán unidireccionales y que pueden ser transitadas a 45 km/h como se estableció previamente la velocidad promedio de los vehículos al momento de la evacuación.

Para determinar el número de vías necesarias para evacuar a todos los habitantes que se encuentran en la zona de riesgo en la ciudad de Salinas y una vez que ya se han determinado tiempos y rutas de evacuación, se procederá a evaluar el congestionamiento de las vías al momento de evacuar. Para esto emplearemos una estructura conocida como la Teoría de Colas, ésta teoría es un estudio matemático que analiza e investiga las colas de espera de un cliente al momento de hacer uso de un servicio, refiriéndose al cliente como un vehículo y a la cola de espera como ingreso a la vía de evacuación.

Ésta teoría estudia las oportunidades a partir de procesos como el arribo, servicio, y salida. Aplicando éstos parámetros en el diseño preventivo de evacuación en caso de un Tsunami se han determinado sus principales características las cuales son un punto muy importante de evaluar al momento de verificar el modelo que se ha construido, dichas características se refieren a que debo tener presente que la densidad del flujo de tráfico del sistema depende del tiempo de arribo del cliente al sistema, que el tiempo de tránsito de un vehículo en la ruta de evacuación ya ha sido calculado previamente, el número de vías de evacuación disponibles tomando en cuenta que una vía se refiere a un carril y que cada ruta posee 4 carriles de tránsito por lo tanto si se tiene 3 rutas de evacuación entonces el equivalente será 12 vías o carriles para evacuar, y finalmente hay que analizar el hecho de que el primer vehículo que entra a la cola es el primero en llegar a la zona segura y que así mismo el último en entrar es el último en llegar a dicha zona por lo que es el que mayor riesgo corre de sufrir algún percance.

Para esto se ha visto necesario aplicar un estudio matemático que use modelos para mostrar resultados y representar varios parámetros adicionales que no son considerados en el modelo antes explicado y que podríamos denominar “optimista”.

Por ejemplo, es común que en un caso de emergencias cuando todos los vehículos traten de ingresar a las rutas existirán algunos que no puedan hacerlo directamente y tengan que esperar. ¿En cuánto tiempo se quiere evacuar?. ¿Qué proporción de los vehículos encontrarán bloqueo en su acceso a la vía de evacuación?. ¿Cuánto tiempo le toma a un vehículo ingresar a la vía?. ¿Cómo estas dos variables antedichas inciden en movilizar la totalidad de los vehículos?, y, finalmente, ¿Cuál es el impacto de éstas variables en la cantidad de carriles que necesitamos?.

El modelo de Erlang es la teoría que permitirá evaluar y analizar las preguntas previamente planteadas. Inicialmente se tomó un modelo establecido para terminales telefónicos en un buque, el cual luego fue transformado y acoplado al modelo empleado para determinar el número necesario de vías para realizar la evacuación de manera óptima. A continuación se presenta el modelo inicial.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
3	$p_n = B(n, a) = \frac{a^n / n!}{\sum_{k=0}^n a^k / k!}$			Microsoft Editor de ecuaciones 3.0					Inverso Prob. Bloqueo	Prob. Bloqueo	No de Circuitos	a^n	(a^n/n!)	Sumatoria (a^n/n!)
4									0,00%	100,00%	0	1,000E+00	1,000E+00	1,000E+00
5									3,23%	96,7742%	1	3,000E+01	3,100E+01	3,100E+01
6									6,44%	93,5551%	2	4,500E+02	4,810E+02	4,810E+02
7		Time Unit			1 hour				9,66%	90,3433%	3	4,500E+03	4,981E+03	4,981E+03
8									12,86%	87,1395%	4	3,375E+04	3,873E+04	3,873E+04
9		Número líneas o abonados			1800	Estaciones/Buques			16,06%	83,9444%	5	2,025E+05	2,412E+05	2,412E+05
10		Terminales telefónicos/voz por línea			1	Telefonos/Radio por estacion			19,24%	80,7590%	6	1,013E+06	1,254E+06	1,254E+06
11	S	Número de Terminales telefónicos del Sistema			1800	Terminales			22,42%	77,5840%	7	4,339E+06	5,593E+06	5,593E+06
12		Probabilidad de Bloqueo para Diseño			10,0%	GOS			25,58%	74,4206%	8	1,627E+07	2,187E+07	2,187E+07
13		$\lambda =$ Number of calls per unit time:			10 llamadas/hora X Telefono				28,73%	71,2700%	9	5,424E+07	7,611E+07	7,611E+07
14									31,87%	68,1336%	10	1,627E+08	2,388E+08	2,388E+08
15		Total number of calls per unit time:			18.000,0	llamadas/hora, todo el sistema			34,99%	65,0128%	11	4,438E+08	6,828E+08	6,828E+08
16									38,09%	61,9094%	12	1,109E+09	1,792E+09	1,792E+09
17									41,17%	58,8253%	13	2,568E+09	4,352E+09	4,352E+09
18		$\frac{1}{\mu} =$ Mean service time per call in unit time:			0,1 minutos (promedio de llamada)				44,24%	55,7628%	14	5,486E+09	9,839E+09	9,839E+09
19					1.800	Tráfico/unidad de tiempo (HORA)			47,26%	52,7244%	15	1,097E+10	2,081E+10	2,081E+10
20									50,29%	49,7129%	16	2,057E+10	4,139E+10	4,139E+10
21		$a = \frac{\lambda}{\mu}$ Traffic Intensity (Erlangs):			30,00	Erlangs/HORA			53,27%	46,7316%	17	3,631E+10	7,769E+10	7,769E+10
22									56,22%	43,7842%	18	6,051E+10	1,382E+11	1,382E+11
23									59,13%	40,8749%	19	9,555E+10	2,338E+11	2,338E+11
24		$n =$ Número de Canales Necesarios:			32	Frecuencias/lineas			61,99%	38,0085%	20	1,433E+11	3,771E+11	3,771E+11
25									64,81%	35,1903%	21	2,047E+11	5,818E+11	5,818E+11

Figura 4.8 Modelo inicial de Erlang tomado de un ejemplo de líneas en un buque
Fuente: Universidad de Monterrey, Facultad de Ingeniería en Sistemas, digital
Elaborado por: Emilio Rosero

Consecuentemente, se presenta el modelo final aplicado a las vías de tránsito para generas número de vías necesarias.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
				Microsoft Editor de ecuaciones 3.0					7,23%	92,7706%	1	1,283E+01	1,383E+01	1,383E+01
n		Número de vías							14,38%	85,6185%	2	8,234E+01	9,617E+01	9,617E+01
		Time Unit			10 minutos				21,45%	78,5511%	3	3,522E+02	4,484E+02	4,484E+02
		Número de Viviendas			5.133	Viviendas			28,41%	71,5911%	4	1,130E+03	1,578E+03	1,578E+03
		Número de Vehiculos por hogar			1				35,24%	64,7563%	5	2,900E+03	4,478E+03	4,478E+03
S		Número de Vehiculos del Sistema			5.133	Vehiculos en el sistema			41,93%	58,0708%	6	6,202E+03	1,068E+04	1,068E+04
		Probabilidad de Bloqueo para Diseño			30,0%	Probabilidades de NO poder entrar a la calle			48,44%	51,5636%	7	1,137E+04	2,205E+04	2,205E+04
									54,73%	45,2688%	8	1,824E+04	4,029E+04	4,029E+04
		Number of vehicles entering street per unit time:			1	Cantidad de vehiculos por hogar que ingresan a las rutas en la unidad de tiempo			60,77%	39,2266%	9	2,600E+04	6,629E+04	6,629E+04
									66,52%	33,4830%	10	3,337E+04	9,966E+04	9,966E+04
$\lambda =$		Total number of vehicles per unit time:			5.133,0	Vehiculos/Unidad de Tiempo, todo el sistema			71,91%	28,0891%	11	3,893E+04	1,386E+05	1,386E+05
									76,90%	23,0993%	12	4,163E+04	1,802E+05	1,802E+05
$\frac{1}{\mu} =$		tiempo de ingreso a la vía			0,5	Minutos para entrar a la vía			81,43%	18,5679%	13	4,108E+04	2,213E+05	2,213E+05
					0,05	Franccion del time unit ingreso a vía			85,46%	14,5441%	14	3,767E+04	2,590E+05	2,590E+05
					256,65	Camros/Minuto			88,93%	11,0657%	15	3,222E+04	2,912E+05	2,912E+05
$a = \frac{\lambda}{\mu}$		Traffic Intensity (Erlangs):			12,83	Erlangs			91,85%	8,1515%	16	2,584E+04	3,170E+05	3,170E+05
									94,20%	5,7965%	17	1,951E+04	3,366E+05	3,366E+05
									96,03%	3,9685%	18	1,391E+04	3,505E+05	3,505E+05
									97,39%	2,6103%	19	9,393E+03	3,599E+05	3,599E+05
$n =$		Número de Vias de Evacuación Necesarios:			11	Vias			98,35%	1,6473%	20	6,027E+03	3,659E+05	3,659E+05
									99,00%	0,9968%	21	3,683E+03	3,696E+05	3,696E+05

Figura 4.9 Modelo de Erlang aplicado a las vías de tránsito
Fuente: Universidad de Monterrey, Facultad de Ingeniería en Sistemas, digital
Elaborado por: Emilio Rosero

Este modelo requiere el ingreso de las siguientes variables:

Tiempo de evacuación	6 a 15 minutos (por analizar)
Total de vehículos	5,133
Probabilidad de bloqueo para ingreso a la vía	10% a 30% (tomaremos 30% pues asumimos que habrá congestión)
λ : Total de vehículos/tiempo de evacuación	5,133 V/6min, 5,133 V/15min
$1/\mu$: Tiempo de ingreso a la vía de evacuación	1 minuto
a: Intensidad de tráfico (número de Erlang)	$a = \frac{\lambda}{\mu}$
n: Número de vías (Carriles)	RESULTADO DE LA FÓRMULA DE ERLANG

Cuadro 4.3 Variables evaluadas en la Fórmula de Erlang

Fuente: CPV2010 Base de datos del Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos

Elaborado por: Emilio Rosero

La fórmula de Erlang es la siguiente:

$$p_n = B(n, a) = \frac{(a^n / n!)}{\sum_{k=0}^n a^k / k!}$$

Realizaremos una primera corrida utilizando las variables con los siguientes valores:

Tiempo de evacuación	6 minutos
Total de vehículos	5,133
Probabilidad de bloqueo para ingreso a la vía	30%
λ : Total de vehículos/tiempo de evacuación	5,133 V/6min
$1/\mu$: Tiempo de ingreso a la vía de evacuación	30 segundos
a: Intensidad de tráfico (número de Erlang)	21,39 Erlangs
n: Número de vías (Carriles)	17 VÍAS

Cuadro 4.4 Primer modelo a ser evaluado

Fuente: CPV2010 Base de datos del Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos

Elaborado por: Emilio Rosero

Análisis:

Con las condiciones establecidas para éste modelo necesitaríamos habilitar 5 carriles más para cumplir una evacuación dentro de 6 minutos, con 30 SEGUNDOS de espera por vehículo para el ingreso y 30% de probabilidad de bloqueo para ingreso a la vía. Puesto que estamos en una condición de crisis se estima que el tráfico será caótico y se debe asumir que 30 segundos para el ingreso a la vía no es factible en la realidad.

Evidentemente lo que Erlang nos demuestra es que las condiciones para evacuar en 6 minutos son bastante complicadas de alcanzar.

El segundo escenario se plantea a continuación:

Tiempo de evacuación	10 minutos
Total de vehículos	5,133
Probabilidad de bloqueo para ingreso a la vía	30%
λ : Total de vehículos/tiempo de evacuación	5,133 V/10min
$1/\mu$: Tiempo de ingreso a la vía de evacuación	30 segundos
a: Intensidad de tráfico (número de Erlang)	12,83 Erlangs
n: Número de vías (Carriles)	11 VÍAS

Cuadro 4.5 Segundo modelo a ser evaluado

Fuente: CPV2010 Base de datos del Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos

Elaborado por: Emilio Rosero

Análisis:

Se puede apreciar que con las condiciones establecidas para éste modelo se logra cumplir una evacuación dentro de 10 minutos, con 30 SEGUNDOS de espera por vehículo para el ingreso y 30% de probabilidad de bloqueo para ingreso a la vía. Al igual que en el modelo anterior, se debe asumir que 30 segundos para el ingreso a la vía no es factible en la realidad.

Así mismo Erlang nos demuestra que las condiciones para poder lograr una evacuación en 10 minutos son bastante complicadas de alcanzar, sin embargo comparando con los 6 minutos del modelo anterior, las probabilidades de lograrlo son mayores debido al cambio de la variable del tiempo de evacuación.

El tercer escenario se plantea a continuación:

Tiempo de evacuación	10 minutos
Total de vehículos	5,133
Probabilidad de bloqueo para ingreso a la vía	30%
λ : Total de vehículos/tiempo de evacuación	5,133 V/10min
$1/\mu$: Tiempo de ingreso a la vía de evacuación	1 minuto
a: Intensidad de tráfico (número de Erlang)	25,67 Erlangs
n: Número de vías (Carriles)	20 VÍAS

Cuadro 4.6 Tercer modelo a ser evaluado

Fuente: CPV2010 Base de datos del Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos

Elaborado por: Emilio Rosero

Análisis:

Se puede apreciar que con las condiciones establecidas para éste modelo se necesitaría habilitar 8 carriles más para lograr cumplir una evacuación dentro de 10 minutos, con 1 MINUTO de espera por vehículo para el ingreso y 30% de probabilidad de bloqueo para ingreso a la vía. A diferencia del modelo anterior se estima que cada vehículo demora 1 minuto en entrar a la vía, lo cual es más real tomando en cuenta la situación de caos que se plantea en ese momento.

En éste modelo Erlang nos demuestra que las condiciones para poder lograr una evacuación en 10 minutos son las más complicadas debido al tiempo que tomaría entrar a la vía.

CONCLUSIONES

Conclusiones basadas en los objetivos específicos del proyecto.

- Realizar la evacuación hasta el minuto 6 permite que luego de 4 minutos se logre llegar al minuto 10 a la zona segura.
- El análisis dinámico de los modelos expuestos permite establecer las rutas de tránsito que deben ser usadas para la evacuación.
- La aplicación de modelos determinísticos y estocásticos permite determinar el escenario más REAL y el escenario más PROBABLE.
- Los tramos largos en las vías de evacuación permiten que las intersecciones no tengan influencia en el comportamiento del tráfico.

Conclusiones basadas en el análisis y evaluación del desarrollo de los aspectos técnicos operativos relacionados con la propuesta.

- Un reducido tiempo de evacuación facilita el rendimiento de todo el diseño preventivo.
- El ingreso de otros vehículos a la vía de evacuación impide mantener una velocidad constante al momento de evacuar.
- El constante ingreso de vehículos a la vía impide que el ingreso sea de manera directa y sin espera.

RECOMENDACIONES

- Disminuir el tiempo de emisión de alerta para aumentar el tiempo de evacuación.
- Usar apoyo de autoridades como la Policía Nacional o la Comisión de Tránsito del Ecuador para que el tráfico fluya a la velocidad promedio establecida y no haya vehículos que obstruyan la fluidez del modelo.
- Usar apoyo de autoridades para bloquear intersecciones o calles secundarias y guiar a los vehículos por la vía de evacuación.
- Habilitar mínimo 8 carriles más a través de la ciudad para lograr una evacuación real y exitosa en el tiempo planteado según el modelo.
- Habilitar buses de instituciones públicas o del estado para aumentar la capacidad de evacuación en menor tiempo.
- Crear un sistema nacional de alarma a través de telefonía móvil para disminuir tiempo de alerta.

BIBLIOGRAFÍA

1. Armada del Ecuador. (2014). *Armada del Ecuador*. Obtenido de <http://www.armada.mil.ec/armada-del-ecuador-capacito-a-profesores-sobre-prevenciones-en-caso-de-tsunamis-y-desastres-naturales/>
2. Coruña, U. d. (10 de Agosto de 2014). *UDC*. Obtenido de http://www.udc.gal/dep/dtcon/estructuras/ETSAC/Investigacion/Terremotos/QUE_ES.htm
3. INOCAR. (s.f.). *Página oficial del Instituto Oceanográfico de la Armada*. Obtenido de <http://www.inocar.mil.ec/web/index.php/que-son-los-tsunamis>
4. INOCAR, CENTRO DE ALERTA DE TSUNAMIS. (2011). *Diagnóstico de la amenaza tsunamigénica de las costas ecuatorianas*. Guayaquil.
5. INOCAR, CENTRO DE ALERTA DE TSUNAMIS. (1990). *Posibles efectos de un Tsunami en las costas de la Península de Santa Elena - Ecuador*. Guayaquil
6. Litoral, D. G. (2005). Autoridad Marítima. *Publicación mensual DIGMER*, 6-8.
7. Molineros, I. J. (s.f.). *Armada del Ecuador, Comando de Guardacostas*. Obtenido de <http://www.armada.mil.ec/fuerza-operativa/coguar/>

8. Nación, S. d. (10 de Agosto de 2014). *Secretaría de Ambiente de Argentina*. Obtenido de

http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/PNMF/File/A_que_llamamos_Incendio_Forestal.pdf
9. O. R. M. (13 de marzo de 2011). *Ricardo Medina O*. Obtenido de

<http://www.ricardomedinao.com/ambiente/terremoto-en-japon-el-tsunami-producido-y-su-afectacion-a-santa-rosa-y-salinas-medidas-futuras/>
10. UNESCO. (2010). *Fenómenos Naturales en la Tierra, Sismos y Tsunamis: Todo lo que debemos saber y hacer*. Quito.
11. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA MILENIO. (16 de abril de 2009). *Sergio Ruiz E*. Obtenido de

<http://cursos.tecmilenio.edu.mx/cursos/at8q3ozr5p/prof/hg/hg04003/apoyos/11.pdf>
12. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES EL SALVADOR. *MARN*. Obtenido de

<http://www.snet.gob.sv/ver/oceanografia/seccion+educativa/glosario+de+tsunamis/>
13. BOLETÍN DE LA FILIAL ROSARIO DE LA SOCIEDAD ARGENTINA DE ESTUDIOS GEOGRÁFICOS. (Abril de 1977). *Placas tectónicas primera parte*. Dra. *Pierina Pasotti*. Rosario, Argentina.