



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES

**Determinación del tiempo de evacuación y las posibles
víctimas por un evento extremo en el Hospital Regional
Vicente Corral Moscoso, de la ciudad de Cuenca, provincia
del Azuay, utilizando el análisis no lineal en 3D**

**Trabajo de grado previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL CON MENCIÓN EN GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES**

Autor:

MARÍA FERNANDA OLIVEROS GORDILLO

Director:

JOSÉ FERNANDO VÁZQUEZ CALERO

CUENCA, ECUADOR

2018



DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios, mi familia y amigos.

Principalmente a Dios y a la Virgen por estar a mi lado siempre y de manera especial a mis padres, Luis y Delia, quienes me han brindado su apoyo incondicional a lo largo de todo este camino, muchas gracias por otorgarme siempre los mejores valores y principios; a mi esposo, Leonardo, por ser el soporte y el compañero incondicional en los momentos de alegría y tristeza; a mi hijo, Xavier, quien con sus risas y llantos es la principal motivación que tengo para superarme y el ser más especial en mi vida.

María Oliveros



AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos:

A Dios y la Virgen, que me han ayudado en cada momento de mi vida y han hecho que mi mundo sea mejor.

A mis padres quienes me han inculcado los mejores valores y principios, para que siga el camino correcto y sea una persona de bien.

A la Universidad del Azuay, a las autoridades y personal que la conforman, por confiar en mí, al abrirme las puertas y permitirme crecer como profesional y persona para poder cumplir mi sueño.

A mi director de tesis, el ingeniero José Vázquez, M.Sc., por confiar en mí, permitiéndome ser parte de su investigación, brindándome su apoyo y motivación incondicional a lo largo del proceso de titulación.

Al ingeniero Juan Carlos Malo, por su comprensión y por brindarme su tiempo y compartir sus conocimientos para la revisión y corrección de este trabajo de titulación.

Al ingeniero Francisco Flores Ph.D., por guiarme con sus conocimientos en todo este proceso.

Y a mi esposo y mi hijo, por ser un soporte en mi vida, apoyándome en los buenos y malos momentos.

María Oliveros



ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	1
GENERALIDADES	2
Antecedentes	2
Objetivos	5
Objetivo general	5
Objetivos específicos	5
Justificación	5
Metodología	6
Estado del arte y marco teórico	7
Definiciones fundamentales	8
CAPÍTULO I	9
MODELACIÓN GEOMÉTRICA	9
1.1 Levantamiento de la información	9
1.1.1 Infraestructura física	10
1.1.2 Recopilación de la información arquitectónica	12
1.1.3 Aspectos relacionados con la ubicación geográfica del establecimiento de salud	17



1.1.4	Elementos arquitectónicos.....	18
1.2	Modelación de la edificación en software especializado	19
1.2.1	Importación del modelado de la estructura en 3D al software de evacuación.....	21
	Malla de movimiento continuo	25
1.2.2	Modelación de pisos y divisiones del centro hospitalario	25
1.2.3	Modelación de puertas del centro hospitalario	31
1.2.4	Modelación de escaleras, escaleras mecánicas, pasillos móviles y rampas	35
1.2.5	Elevadores y ascensores.....	42
CAPÍTULO II		43
PUNTOS DE ENCUENTRO		43
2.1	Modelación de la evacuación de la edificación ante una situación de riesgo	43
2.1.1	Malla de movimiento continuo.....	43
2.1.2	Movimiento de ocupantes a las salidas.....	44
2.1.3	Visualización 3D de alta calidad	45
2.1.4	Parcelas de contorno	45
2.1.5	Evacuación asistida	46
2.1.6	Ocupantes	46
2.1.7	Poblaciones personalizables	47
2.1.8	Diagrama fundamental de personalización	48
2.1.9	Evaluación de resultados de gran alcance	48
2.2	Plan de rutas de escape	49
2.3	Modelación de la ocupación de la edificación (personal de salud, pacientes en consulta, en hospitalización y visitas).....	52
2.3.1	Áreas de la unidad hospitalaria	52



2.3.2	Número de personas en el hospital regional “Vicente Corral Moscoso”	52
2.3.3	Modelación de la evacuación de los ocupantes	60
2.4	Análisis en corredores, puntos críticos, escaleras, entre otras	70
2.5	Cuantificación del tiempo de evacuación	71
2.5.1	Modelación e interpretación de resultados	71
2.5.2	Densidad de personas.....	74
2.5.3	Persona más alejada y más cercana (distancia, tiempo).....	77
2.5.4	Tiempo final de evacuación	79
2.5.5	Modelación del hospital en el software especializado variando la velocidad de paso de los ocupantes en función de un simulacro real.....	80
CAPÍTULO III.....		84
COMPARACIÓN TÉCNICA DE EVACUACIÓN VS POSIBILIDAD DE COLAPSO		84
3.1	Sistematización de la información del comportamiento no lineal en 3D del hospital en estado actual	89
3.1.1	Levantamiento de la información y modelación de cargas	89
3.1.2	Modelación de la estructura	90
3.1.3	Interpretación de resultados	92
3.2	Sistematización de la información del comportamiento no lineal en 3D del hospital con medida de mitigación.....	95
3.2.1	Modelación de la estructura	95
3.2.2	Medida de mitigación.....	97
3.3	Comparación de resultados de evacuación vs colapso	105
3.3.1	Análisis dinámico no lineal en 3D del Hospital Regional “Vicente Corral Moscoso” de la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay en el estado actual que presenta la estructura	105



3.3.2 Análisis dinámico no lineal en 3D del Hospital Regional “Vicente Corral Moscoso” de la Ciudad de Cuenca, Provincia del Azuay y propuesta de mitigación	107
BIBLIOGRAFÍA.....	114



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1: Ubicación del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso.....	9
Figura 1. 2: Piso del subsuelo del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”	13
Figura 1. 3: Primer piso del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”	13
Figura 1. 4: Segundo piso del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”	14
Figura 1. 5: Tercer piso del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”	14
Figura 1. 6: Cuarto piso del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”	15
Figura 1. 7: Quinto piso del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”	15
Figura 1. 8: Sexto piso del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”	16
Figura 1. 9: Séptimo piso del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”	16
Figura 1. 10: Mapa de actividad sísmica del Cantón Cuenca	17
Figura 1. 11: Maqueta Virtual, Render del Hospital Regional “Vicente Corral Moscoso”	20
Figura 1. 12: Render Axonometría Hospital Regional Vicente Corral Moscoso	21
Figura 1. 13: Importación del hospital al software especializado	22
Figura 1. 14: Modelación del hospital en el software especializado.....	23
Figura 1. 15: Ventana principal del software especializado	24
Figura 1. 16: Software especializado ejemplo estructural en 3D.....	24
Figura 1. 17: Ejemplo de triangulación en una edificación	25
Figura 1. 18: Modelación del hospital en el software especializado.....	26
Figura 1. 19: Modelación del piso del Subsuelo	27
Figura 1. 20: Modelación del piso del primer piso	27
Figura 1. 21: Modelación del piso del segundo piso.....	28
Figura 1. 22: Modelación del tercer piso	28
Figura 1. 23: Modelación del cuarto piso	29
Figura 1. 24: Modelación del piso del quinto piso.....	29
Figura 1. 25: Modelación del sexto piso	30
Figura 1. 26: Modelación del piso de la terraza	30
Figura 1. 27: Modelación de las puertas del subsuelo	31
Figura 1. 28: Modelación de las puertas del primer piso	32
Figura 1. 29: Modelación de las puertas del segundo piso	32
Figura 1. 30: Modelación de las puertas del tercer piso.....	33



Figura 1. 31: Modelación de las puertas del cuarto piso.....	33
Figura 1. 32: Modelación de las puertas del quinto piso	34
Figura 1. 33: Modelación de las puertas del sexto piso	34
Figura 1. 34: Modelación de las puertas de la terraza.....	35
Figura 1. 35: Modelación de las escaleras del subsuelo.....	36
Figura 1. 36: Modelación de las escaleras del primer piso	36
Figura 1. 37: Modelación de las escaleras del segundo piso	37
Figura 1. 38: Modelación de las escaleras del tercer piso.....	37
Figura 1. 39: Modelación de las escaleras del cuarto piso.....	38
Figura 1. 40: Modelación de las escaleras del quinto piso.....	38
Figura 1. 41: Modelación de las escaleras del sexto piso	39
Figura 1. 42: Modelación de las escaleras de la terraza.....	39
Figura 1. 43: Modelación de las escaleras (vista lateral)	40
Figura 1. 44: Modelación de las escaleras del hospital (vista en 3D).....	40
Figura 1. 45: Modelación de las escaleras del hospital (vista en 3D).....	41
Figura 1. 46: Modelación de la estructura hospitalaria (vista en 3D).....	41
Figura 1. 47: Ascensores en la simulación del software especializado.....	42
Figura 2. 1: Software especializado de evacuación, ejemplo estructural en 3D.....	43
Figura 2. 2: Ejemplo de triangulación en una edificación	44
: Figura 2. 3: Movimientos de los ocupantes a las salidas	44
Figura 2. 4: Visualización 3D de alta calidad en una estructura.....	45
Figura 2. 5: Parcelas de contorno en una estructura de ejemplificación.....	46
Figura 2. 6: Evacuación asistida por asistentes designados	46
Figura 2. 7: Ocupantes en la simulación del software especializado.....	47
Figura 2. 8: Poblaciones personalizables en la simulación del software especializado	47
Figura 2. 9: Escaleras y rampas en la simulación del software especializado	48
Figura 2. 10: Torniquetes y otras restricciones en el flujo en la simulación del software especializado	49
Figura 2. 11: Modelación final del subsuelo.....	65
Figura 2. 12: Modelación final del primer piso	66

Figura 2. 13: Modelación final del segundo piso.....	66
Figura 2. 14: Modelación final del tercer piso	67
Figura 2. 15: Modelación final del cuarto piso	67
Figura 2. 16: Modelación final del quinto piso	68
Figura 2. 17: Modelación final del sexto piso.....	69
Figura 2. 18: Modelación final séptimo piso	69
Figura 2. 19: Vista uno de la modelación en 3D.....	71
Figura 2. 20: Vista dos de la modelación en 3D	73
Figura 2. 21: Número de ocupantes en habitaciones seleccionadas.....	73
Figura 2. 22: Densidad de los ocupantes en el tiempo 0 seg	74
Figura 2. 23: Densidad de los ocupantes en el tiempo 10,7 seg	75
Figura 2. 24: Densidad de los ocupantes en el tiempo 35,1 seg	75
Figura 2. 25: Densidad de los ocupantes en el tiempo 118,4 seg	76
Figura 2. 26: Densidad de los ocupantes en el tiempo 235,0 seg	76
Figura 2. 27: Ubicación de los puntos de encuentro de la unidad hospitalaria	78
Figura 2. 28: Modelación final de la unidad hospitalaria	80
Figura 2. 29: Modelación final del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso con tiempos basados en un simulacro real	82
Figura 3. 1 Fotografía satelital Hospital “Vicente Corral Moscoso”	85
Figura 3.2: Vista 3D del bloque principal a ser analizado	86
Figura 3.3: Vista en 3D del sub bloque A.....	87
Figura 3.4: Vista en 3D del sub bloque B	87
Figura 3. 5: Ampliación en la vista 3D de la junta constructiva	88
Figura 3. 6: Espectro de diseño período de retorno 2500 años – inelástico.....	91
Figura 3.7: Espectro de diseño 475 años.....	96
Figura 3.8: Espectro de diseño 2500 años.....	97
Figura 3.9: Aislador de simple péndulo	98
Figura 3.10: Evolución de los aisladores de fricción	99
Figura 3.11: Aislador con núcleo de plomo (LRB).....	100
Figura 3.12: Resultados Tiempo-Historia 3 registros sísmicos bloque A.....	103
Figura 3.13: Resultados Tiempo-Historia 3 registros sísmicos bloque A.....	104



Figura 3.14: Resultados tiempo de evacuación versus posibilidad de colapso en el bloque A de la estructura.....	106
Figura 3.15: Resultados tiempo de evacuación versus posibilidad de colapso en el bloque B de la estructura.....	107
Figura 3.16: Resultados tiempo de evacuación versus posibilidad de colapso en el bloque B de la estructura.....	108
Figura 3.17: Resultados tiempo de evacuación versus posibilidad de colapso en el bloque B de la estructura.....	109
Figura 3.18: Hospital Regional Vicente Corral Moscoso	113



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1: Personal de salud.....	54
Tabla 2. 2: Personal de limpieza y mantenimiento	55
Tabla 2. 3 Personal administrativo.....	56
Tabla 2. 4 Número de camas por piso.....	58
Tabla 2. 5: Pacientes atendidos en consulta externa de enero a junio 2018.....	59
Tabla 2. 6 Niveles de confianza	61
Tabla 2. 7 Clasificación de la muestra	62
Tabla 2. 8: Cálculo de la velocidad de paso.....	64
Tabla 2. 9: Tiempos que tardan las personas en llegar a los puntos de encuentro desde las salidas	79
Tabla 2. 10: Cálculo de la velocidad de paso de los ocupantes	81
Tabla 3.1: Derivas superiores al valor máximo permisible de 2% (NEC) del Bloque A y B.	94
Tabla 3.2: Derivas superiores al valor máximo permisible de 2% (NEC) del Bloque A y B.	106
Tabla 3.3 Resultados tiempo de evacuación versus posibilidad de colapso de la estructura.....	109



ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: MARCO TEÓRICO.....	8
Definiciones fundamentales.....	2
ANEXO 2: MAPA DE RIESGO - SEÑALIZACIÓN DE RUTAS DE EVACUACIÓN.....	8

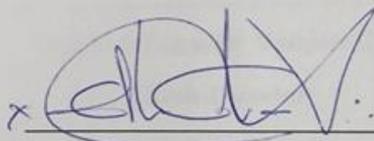
RESUMEN

“DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE EVACUACIÓN Y LAS POSIBLES VÍCTIMAS POR UN EVENTO EXTREMO EN EL HOSPITAL REGIONAL VICENTE CORRAL MOSCOSO, DE LA CIUDAD DE CUENCA, PROVINCIA DEL AZUAY, UTILIZANDO EL ANÁLISIS NO LINEAL EN 3D”

RESUMEN

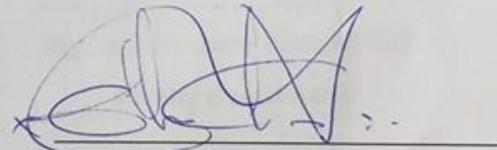
La investigación se basa en realizar una modelación y simulación de la evacuación del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso de la ciudad de Cuenca, mediante la ayuda de un software especializado. Se obtendrá teóricamente el número total de ocupantes que evacuarán la unidad hospitalaria con una modelación de tiempo y se comparará con un simulacro real realizado en el hospital. Esto permite confrontar el tiempo obtenido en la modelación, con el tiempo de ocurrencia de la deriva máxima, determinado en una investigación anterior mediante el análisis dinámico no lineal en 3D. Este análisis permitirá determinar las posibles víctimas ante una amenaza sísmica por un posible colapso de la estructura hospitalaria.

Palabras claves: modelación, simulación, deriva máxima, análisis dinámico no lineal.



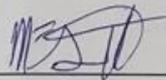
Ing. José Fernando Vázquez Calero

Director del Trabajo de Titulación



Ing. José Fernando Vázquez Calero

Coordinador de Escuela



María Fernanda Oliveros Gordillo

Autor



ABSTRACT

“DETERMINATION OF THE EVACUATION TIME AND POSSIBLE VICTIMS BY AN EXTREME EVENT THROUGH NON-LINEAR 3D ANALYSIS AT THE VICENTE CORRAL MOSCOSO REGIONAL HOSPITAL OF CUENCA, AZUAY”

ABSTRACT

This research was based on the modeling and evacuation simulation with specialized software at the Vicente Corral Moscoso Regional Hospital, Cuenca. The total number of occupants who would evacuate the hospital unit was theoretically obtained with a time model and was compared with a real simulation performed in the hospital. This allowed to compare the time obtained in the modeling with the time of the maximum drift determined in a previous investigation through nonlinear 3D dynamic analysis. This analysis allowed to determine the possible victims in a seismic event in case the hospital structure collapses.

Keywords: modeling, simulation, maximum drift, nonlinear dynamic analysis.

Ing. José Fernando Vázquez Calero

Thesis Director

Ing. José Fernando Vázquez Calero

Faculty Coordinator

María Fernanda Oliveros Gordillo

Author



Oliveros Gordillo María Fernanda

Trabajo de Titulación

Ing. José Fernando Vázquez Calero, M.Sc.

Noviembre, 2018

**“DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE EVACUACIÓN Y LAS POSIBLES
VÍCTIMAS POR UN EVENTO EXTREMO EN EL HOSPITAL REGIONAL
VICENTE CORRAL MOSCOSO, DE LA CIUDAD DE CUENCA,
PROVINCIA DEL AZUAY, UTILIZANDO EL ANÁLISIS NO LINEAL EN
3D”**

INTRODUCCIÓN

Una catástrofe sísmica en la mayoría de los casos ocasiona daños físicos en las estructuras o el colapso de las mismas, poniendo en riesgo la vida de sus ocupantes. Entre las perspectivas internacionales se encuentra el estudio de la ocurrencia, la mitigación y las consecuencias ante la presencia de eventos catastróficos, ya que muchas estructuras fueron construidas en épocas donde las exigencias sobre amenazas sísmicas no eran un factor imprescindible para la construcción.

Los desastres de origen geológico son impredecibles en cuanto a su magnitud y su tiempo de duración, para enfrentarlos y disminuir los daños que causan, deberíamos estar preparados con planes de mitigación y tener respuestas hospitalarias seguras para brindar una atención continua después de ocurrido un evento sísmico extremo, garantizando la seguridad de los usuarios, quienes en el caso de un hospital son personas que necesitan de alguien más para poder movilizarse (Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), 2010).

Las edificaciones hospitalarias deben tener un correcto diseño de evacuación, rutas debidamente señalizadas y accesibles; permitiendo evacuaciones masivas, en lo posible sin pérdidas humanas o con el mínimo de ellas. Cabe recalcar que en la mayoría de las edificaciones hospitalarias, la altura, la distribución, el tipo de paciente y el



número de ocupantes provocan un serio problema al momento del desalojo ante una situación de crisis (Rivera, Mazadiego, & Martinez, 2011).

Se presenta un breve resumen sobre los temas que se abarcará en el trabajo de graduación:

En el capítulo I se realizará el levantamiento de la información, basados en investigaciones anteriores y de la misma manera se recopilará información en la edificación hospitalaria, para proceder a realizar la modelación de la edificación utilizando un software especializado.

En el capítulo II se realizará la modelación de la evacuación de la edificación ante situaciones de riesgo, con su respectivo plan de rutas de escape, personal de salud, pacientes en consulta, pacientes en hospitalización y visitas. Seguidamente se realizará el análisis en corredores, puntos críticos, escaleras, para determinar el tiempo de evacuación de la edificación en su estado actual.

En el capítulo III se realizará la comparación técnica de evacuación versus la posibilidad de colapso de la estructura, mediante la sistematización de la información del comportamiento dinámico no lineal en 3D en su estado actual y con una medida de mitigación.

Finalmente se presentarán las conclusiones y la bibliografía, complementando de esta manera la investigación realizada.

GENERALIDADES

Antecedentes

Los diversos acontecimientos catastróficos han generado extensas pérdidas de vidas humanas, especialmente en los sectores que son vulnerables a sufrir este tipo de sucesos. En la ciudad de Cuenca se han identificado 60 sectores vulnerables. Según estudios realizados, Cuenca es susceptible a sufrir tres tipos de problemas:



inundaciones, inestabilidad de terrenos y la presencia de sismos de gran magnitud (El Tiempo, 2014).

La Organización Panamericana de la Salud (OPS), define como Hospital Seguro al “Establecimiento con Servicios de Salud que debe permanecer accesible y funcionando a su máxima capacidad y en su misma estructura, inmediatamente después de un fenómeno destructivo de origen natural”.

En el año 2005 inició la Campaña para la Reducción de Desastres, la misma que tiene como finalidad proponer una metodología de “Hospitales Seguros Frente a los Desastres para reducir el riesgo, proteger las instalaciones de salud y salvar vidas”. Desde el inicio de este proyecto, la secretaría de Estrategia Internacional de las Naciones Unidas para la Reducción de Desastres (ONU/EIRD) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), se asociaron con diversos gobiernos, organizaciones no gubernamentales, organismos nacionales e internacionales y personas de todo el mundo con el fin de aumentar conciencia acerca de cómo y por qué se deben redoblar los esfuerzos para proteger las infraestructuras de salud (Salud, 2009). Esta campaña además establece, que se debe proteger y mejorar las instalaciones públicas e infraestructuras de importancia como son las escuelas, hospitales, centros de abastecimiento de agua y las centrales eléctricas, las líneas de comunicaciones y transportes y los centros de alerta de desastres haciéndolos resistentes a los peligros (Bambaren Alatrística & Alatrística Gutierrez, 2007).

Las edificaciones hospitalarias deben brindar funcionalidad continua ante cualquier emergencia, ofreciendo servicios de primera calidad a los pacientes que están internados en sus instalaciones, al mismo tiempo deben estar listas para albergar a la mayor cantidad de usuarios que requieran de atención prioritaria, ya que después de suscitado un desastre es de vital importancia atender y preservar la salud de la población. La función principal que cumplen los hospitales es la de salvaguardar la salud de los pacientes y buscar la recuperación de la comunidad ante un desastre, pero en muchas ocasiones, la parte estructural sufre daños severos, los cuales comprometen seriamente el comportamiento y la forma de sus elementos estructurales; por lo que se debe tomar la decisión de evacuar el establecimiento de salud.



La evacuación de un hospital es la última medida a considerarse, es por esta razón que es necesario tener preestablecido un “plan de evacuación hospitalaria”. La evacuación total de un hospital es poco probable, por lo general se realizan evacuaciones parciales, para esto, cada área del hospital debe contar con su propio plan de evacuación y éste debe ser acorde al plan general de evacuación de la unidad de salud (Bermeo Moyano, Cornejo de Grunauer, Zorrilla, Bermúdez, & Estacio, 2010) y (Capote, D., O., & Lázaro M. y Cuesta, 2009).

Una evacuación masiva en un hospital resulta delicada y peligrosa, principalmente para aquellos pacientes que están asistidos por equipos e insumos médicos, siendo lo mejor en estos casos, permanecer en el interior de la estructura. En consecuencia, se debe realizar una clasificación y selección de pacientes (triage), en función a la prioridad de atención que requieren, y así poder determinar el traslado o su permanencia en el hospital (Capote, D., O., & Lázaro M. y Cuesta, 2009).

Investigaciones anteriores, han determinado que el promedio de acompañantes en el área de consulta externa es de una persona por paciente, mientras que en el área de hospitalización, el número varía entre uno para los turnos de mañana, dos para el turno de la tarde y 0.5 en la noche (Cuesta Pinedo, 2013).

El presente trabajo de graduación, forma parte de la línea de investigación científica que está llevando adelante la Universidad del Azuay, en la Facultad de Ciencia y Tecnología, dentro de la escuela de Ingeniería Civil, en el cual se pretende representar con un software especializado el tiempo total de evacuación del hospital regional “Vicente Corral Moscoso” y el número de personas evacuadas ante un sismo muy raro en su estado actual y con la implementación de una medida de mitigación (aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB)), utilizando el tiempo del análisis no lineal en 3D, ya que esta unidad hospitalaria presta sus servicios a la mayor cantidad de personas de la provincia del Azuay y de provincias cercanas.



Objetivos

Objetivo general

Cuantificar las posibles pérdidas humanas que tendría el hospital regional “Vicente Corral Moscoso” de la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, una vez determinado el tiempo de evacuación ante un sismo muy raro, antes del colapso en su estado actual y mediante la implementación de una medida de mitigación en modelos 3D.

Objetivos específicos

- Determinar el tiempo de evacuación total de los ocupantes en la edificación hospitalaria.
- Analizar el tiempo del análisis no lineal en 3D de la edificación hospitalaria, determinando el número de personas que podrían desalojar el hospital antes del colapso de la estructura en su estado actual y con la aplicación de una medida de mitigación ante una amenaza sísmica mediante un software especializado de modelos 3D.
- Comparar en el tiempo la cantidad de personas evacuadas vs el tiempo del colapso de la estructura ante sismos extremos.

Justificación

Se considera un “hospital seguro”, un establecimiento de salud cuyos servicios permanecen accesibles y funcionando a su máxima capacidad y en su misma infraestructura inmediatamente después de presentarse un fenómeno natural de gran magnitud (Bambaren Alatrística & Alatrística Gutierrez, 2007).

Existe poca información sobre el problema de evacuación de personas vulnerables en caso de un sismo extremo, esto se debe a que una edificación hospitalaria debería continuar funcional después de cualquier tipo de emergencia. Al no ser esto posible, se recurre a realizar evacuaciones parciales, tratando de llevar a los pacientes a lugares seguros en pisos adyacentes o en el mismo piso; una evacuación total en una unidad hospitalaria es poco probable, debido al peligro que se corre al momento de la movilización de los pacientes que están asistidos por equipos e insumos médicos (Cuesta Pinedo, 2013).



Durante las evacuaciones, se producen diversas situaciones muy difíciles de prever, como son los cuellos de botella en las salidas, ataques de pánico o gente que quiere recuperar algún objeto, aún más en edificaciones esenciales como son los hospitales, debido a que la mayoría de personas necesitan de alguien más para poder movilizarse (Desastres, 2009) y (Rosas, 2010).

En el presente trabajo de graduación se analizará el tiempo y flujo de evacuación en el hospital regional “Vicente Corral Moscoso”, ante los desastres provocados por sismicidad, de la misma manera se cuantificarán las posibles víctimas debido al colapso de la estructura.

Metodología

Se recolectará y se clasificará la información arquitectónica y de ingeniería del hospital, para ello se realizarán visitas a la entidad hospitalaria, de la misma manera se revisará la tesis realizada por la Ing. Carla Vintimilla y la Ing. Adriana Fajardo, con el fin de identificar las rutas de evacuación existentes, las salidas de emergencia, la señalización de las rutas de escape, el número de pacientes internados, pacientes en consulta externa, personal de salud en general, visitas, estudiantes, acompañantes de pacientes y demás factores que se necesiten para realizar el presente trabajo de graduación.

Seguidamente se procederá a realizar la modelación de la unidad hospitalaria, utilizando un software comercial especializado, con el cual se determinará el tiempo total de evacuación de los ocupantes, considerando la tipología de paciente, personal de salud y las particularidades de cada bloque que conforma la unidad hospitalaria.

En la modelación de la edificación, se considerará la capacidad operativa máxima de la misma, es decir se tomará el número máximo de usuarios que se encuentren en el interior del hospital, basándose en el servicio de atención de urgencias, cirugía y cuidados intensivos en condiciones normales y con el reforzamiento del mismo, seguidamente se establecerá un flujo de pacientes en consulta externa, de acompañantes y visitas dentro de la unidad hospitalaria (Castillo, 2011).



Se empleará el tiempo obtenido en el análisis dinámico no lineal en 3D mediante la utilización del software de código abierto OpenSees ante una amenaza sísmica, para obtener el número de víctimas por el colapso de la estructura en su estado actual y con la implementación de una medida de mitigación (aisladores elastoméricos con núcleo de plomo).

Por último se realizará un análisis comparativo en el tiempo del número de personas evacuadas vs el tiempo de colapso del hospital ante la presencia de un sismo extremo.

Estado del arte y marco teórico

Las edificaciones consideradas como esenciales deben garantizar la ocupación inmediata y su funcionalidad continua (NEC, 2015), brindando las debidas medidas de seguridad a los usuarios en el caso de un desastre.

Se estima que el 50% de los 15000 hospitales existentes en América Latina y el Caribe, se encuentran ubicados en zonas de alto riesgo. Un total de 93 hospitales y 538 centros de salud fueron dañados por desastres naturales entre los años de 1980 a 1995, por lo que las pérdidas producto de los diversos desastres en quince años en la región de América Latina y el Caribe ascendieron a 3120 millones de dólares (Bambaren Alatrística & Alatrística Gutierrez, 2007).

En Northridge, California en el año de 1994, tras un sismo extremo, las visitas ambulatorias se incrementaron de 800 a 2300, de la misma manera en el servicio de traumatología/ortopedia pasaron de 200 a 1500 atenciones, dicha demanda regresó a la situación basal doce días después de ocurrido el sismo (Bambaren Alatrística & Alatrística Gutierrez, 2007).

Se deben implementar medidas de mitigación y prevención en cuanto a la construcción de nuevas estructuras esenciales, de la misma manera se deben adoptar medidas de protección y seguridad en aquellas estructuras que se encuentran operando y que son vulnerables a desastres.

Definiciones fundamentales

Ver **Anexo 1**.

CAPÍTULO I

MODELACIÓN GEOMÉTRICA

1.1 Levantamiento de la información

El Hospital Regional “Vicente Corral Moscoso” se localiza en la parroquia Huayna Cápac, ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, en las avenidas 12 de abril y avenida Paraíso.

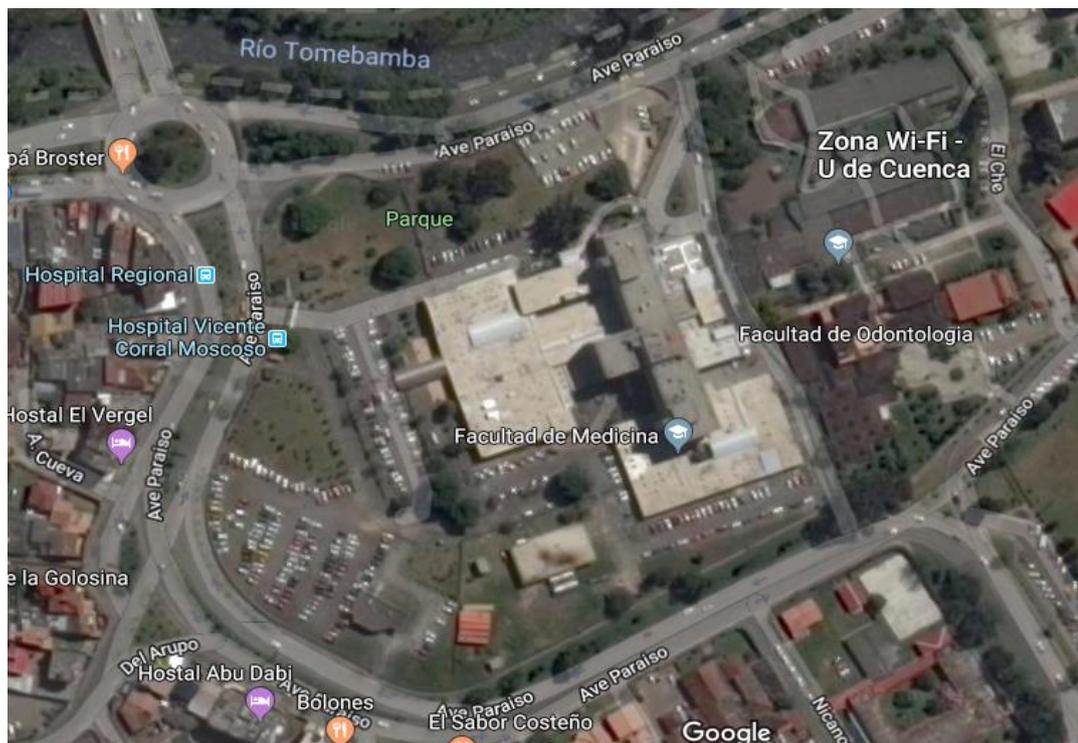


Figura 1. 1: Ubicación del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso

Fuente: Google Maps – septiembre 2018

La unidad hospitalaria forma parte de la coordinación zonal de salud número 6, cuenta con 291 camas en servicio para la comunidad y ofrece las siguientes especialidades: consulta externa, hospitalización, emergencia, centro químico y obstétrico, laboratorio clínico, imagenología, unidad de neonatología, unidad de cuidados intensivos y unidad de diálisis; además existe un equipamiento con salas de rayos X, ecosonógrafo y tomógrafo (Vintimilla & Fajardo, 2016).



1.1.1 Infraestructura física

La edificación hospitalaria tiene un área total de terreno equivalente a 41.111 metros cuadrados, consta de una superficie de construcción en planta baja igual a 9.796 metros cuadrados, tiene un área de espacios verdes equivalente a 20.357,58 metros cuadrados y su área de construcción total de 23.212 metros cuadrados.

Está construida de hormigón armado y posee terrazas de ladrillo impermeabilizado con geomembrana en tres bloques principales:

1. Hospitalización, Emergencia-Centro de trauma.
2. Consulta externa.
3. Casa de máquinas.

En la parte derecha de la puerta de ingreso principal de toda la edificación hospitalaria, se encuentran los pacientes en estado crítico, mientras que en la sección izquierda, se encuentran los pacientes considerados como estables. A continuación se detalla los servicios que brinda la unidad hospitalaria en cada piso, estos datos fueron obtenidos mediante inspecciones realizadas a la unidad hospitalaria por parte de quien suscribe la presente tesis.

Planta subsuelo dos: en la parte derecha existen bodegas de activos fijos, cuarto de costura, taller eléctrico, lavandería, taller de mecánica, bodega de suministros y alimentos, taller de carpintería, bodega de mantenimiento, cuarto de ropería, cuarto para lavar la vajilla, cuarto de nutrición y dieta, vestidor de mujeres y vestidor de hombres.

En la sección izquierda están localizados los servicios de urgencias, existen salas de observación de hombres y mujeres, vestidores, cuarto de almacenamiento de muestras de anatomía patológica, cuarto de archivo documental, consultorios de médicos tratantes, estaciones de enfermería, la unidad de cuidados críticos, terapia ocupacional, auditorio, sala de yesos, oficinas de emergencia, quirófano de emergencia, medicina interna, gimnasio, pediatría, sindicato de obreros, servicios generales, consultorio de médicos fisiatras, hidroterapia, electro terapia, terapia de lenguaje, terapia, cuarto de almacenamiento de muestras de anatomía patológica, cuarto de archivo documental, sindicato de enfermería y banco de ojos.



Planta subsuelo uno o planta baja: en la parte posterior existen pacientes internados. Consta de servicios de: emergencia, sala de clasificación de pacientes (Triage), centro de trauma, rehabilitación, central de cableado telefónico, laboratorio patológico, morgue, lavandería, costura, nutrición, comedor, parqueadero para personal de emergencia y parqueadero temporal para familiares de pacientes, mantenimiento, bodega de insumos y materiales, casa de máquinas, secretaría, IESS, atención al usuario y gestión financiera. En este piso la unidad hospitalaria en la parte frontal brinda los servicios de consulta externa como son: odontología, otorrinolaringología, cirugía maxilofacial, coloproctología, traumatología, neumología, neurocirugía, cuarto de tratantes, nefrología, cardiología, gastroenterología, dermatología, endocrinología, hematología, nutrición pediátrica y de adultos, cirugía plástica, reumatología, medicina interna, genética, oncología, registro civil, urología, infectología, psicología psiquiátrica, audiología, vacunación, entrega de resultados, monitorización, valoración de recién nacidos, anestesia y gineco obstetricia. Existe también una sala de tomografía, sala de radiación, cuarto de mandos, sala de procedimientos de fluoroscopia, salas de rayos X, sala de recuperación y sala de mamografía.

Segundo piso: oficinas de gerencia hospitalaria, dirección hospitalaria, recaudación (red pública integral de salud), neonatología y ginecología.

Tercer piso: cirugía con sus diferentes especialidades, administración de cirugía y trabajo social.

Cuarto piso: infectología, cirugía hombres, administración clínica y trabajo social.

Quinto piso: unidad de cuidados intensivos, bodega y oficina de activos fijos, asesoría jurídica, biblioteca y activos fijos.

Sexto piso: pediatría y sus especialidades, unidad de quemados.

Séptimo piso: terraza y sala de juegos de niños.



Cuenta con tres puertas principales de acceso externo; consulta externa, emergencia y centro de trauma, mantenimiento y tres puertas de acceso interno (nutrición, mantenimiento y área administrativa).

1.1.2 Recopilación de la información arquitectónica

El Departamento de Infraestructura Física del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”, proporcionó información correspondiente a planos arquitectónicos, estructurales y de instalaciones sanitarias actualizadas.

- Las paredes son de mampostería de ladrillo enlucidas con hormigón y están revestidas de pintura.
- Las áreas de rayos x están revestidas con placas de plomo en puertas y paredes.
- En el subterráneo las paredes están recubiertas con azulejo para poder facilitar la limpieza de las mismas.
- La losa del entrepiso es alivianada y está revestida con cerámica.
- La mayoría de pasillos y habitaciones tienen cielo raso.
- Las puertas de ingreso a las habitaciones de los pacientes, residentes y los consultorios son de madera.
- Existen puertas de ingreso a cada área de vidrio y aluminio.
- Las ventanas son de hierro y vidrio.
- Las baterías sanitarias constan de inodoros, lavamanos y en el caso de los pacientes internos cuenta también con duchas.

Seguidamente se presentan los planos arquitectónicos de la Unidad Hospitalaria.

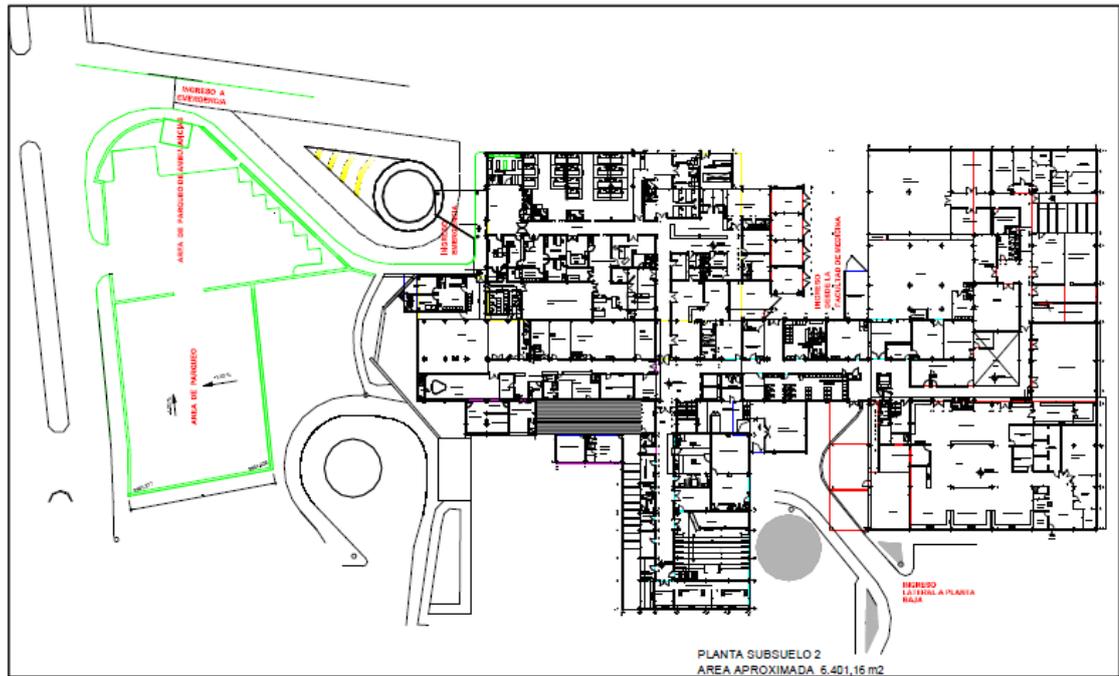


Figura 1. 2: Piso del subsuelo del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”

Fuente: Departamento de infraestructura del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”

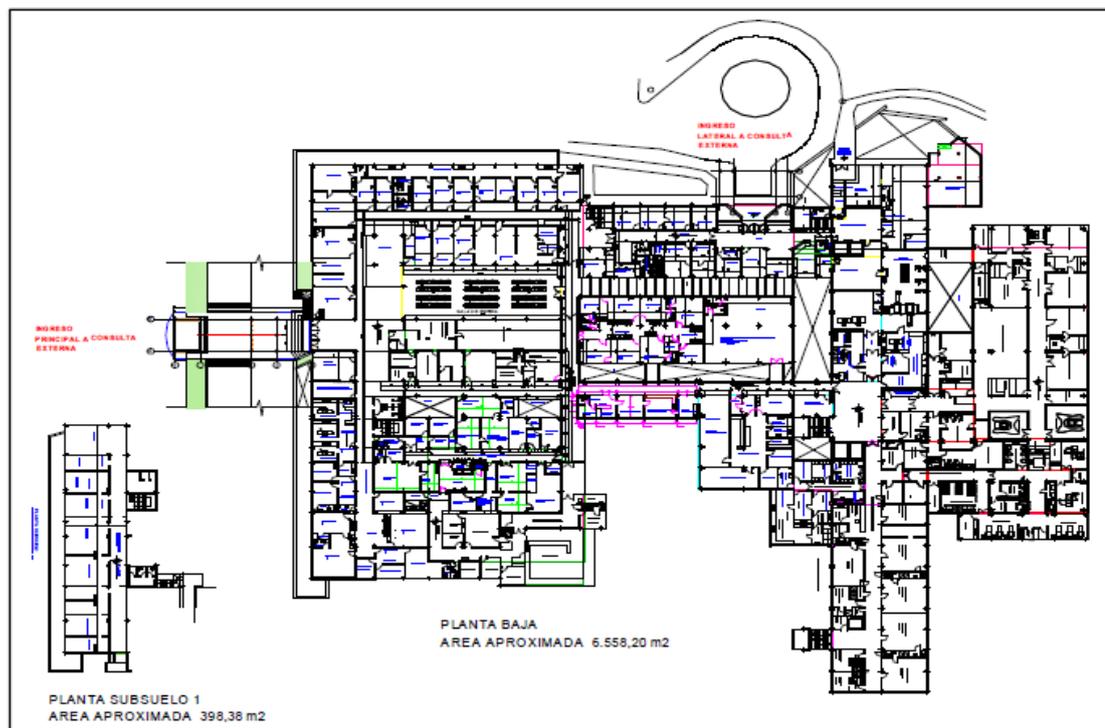


Figura 1. 3: Primer piso del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”

Fuente: Departamento de infraestructura del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”

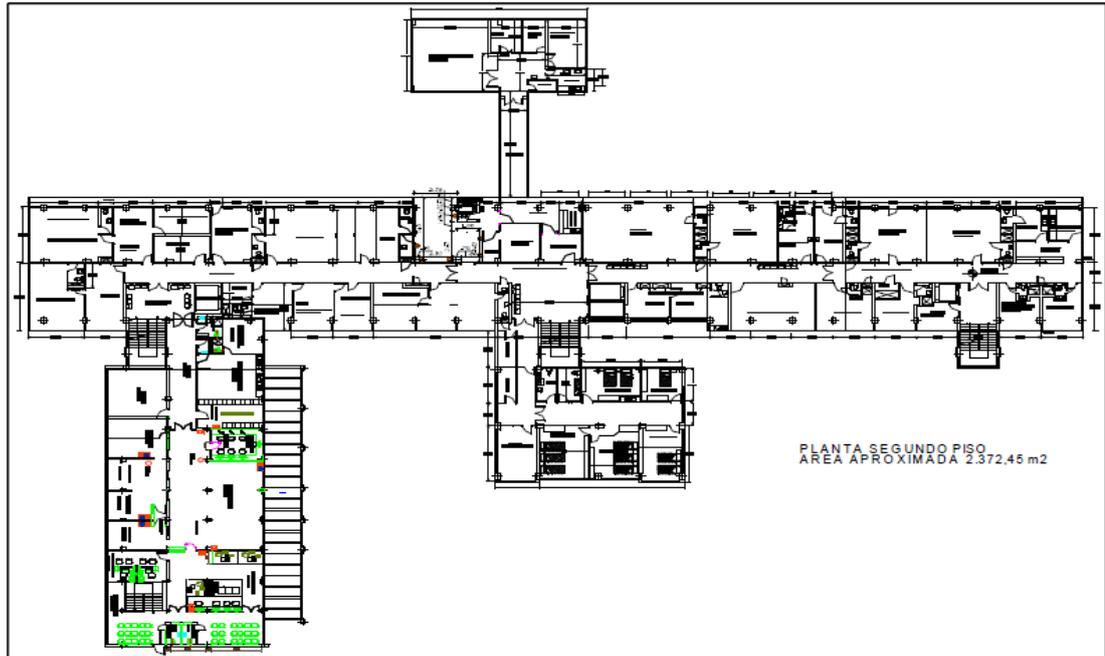


Figura 1. 4: Segundo piso del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”

Fuente: Departamento de infraestructura del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”

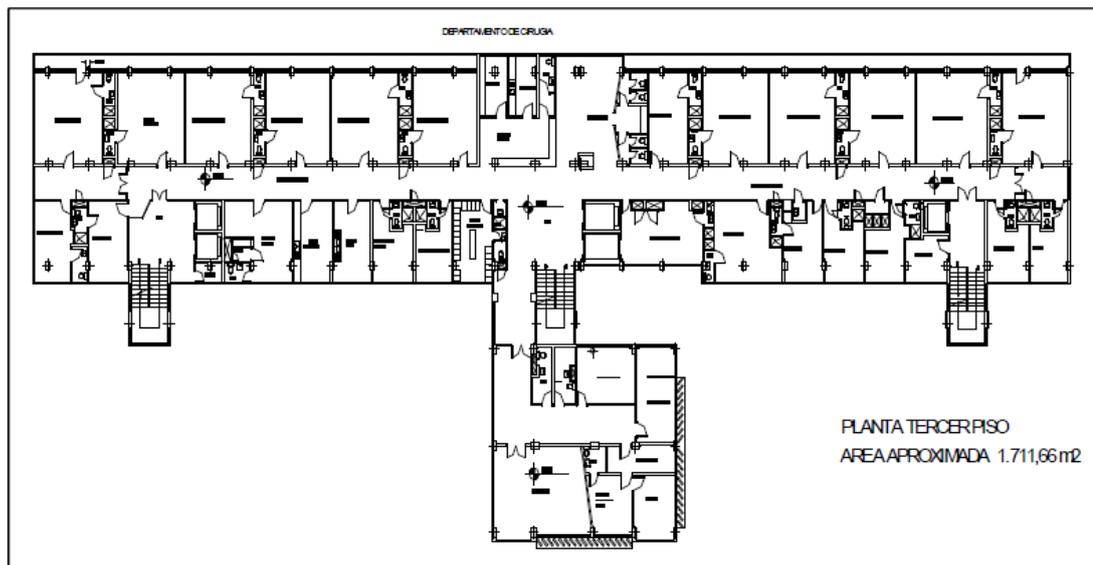


Figura 1. 5: Tercer piso del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”

Fuente: Departamento de Infraestructura del Hospital Regional “Vicente Corral Moscoso”

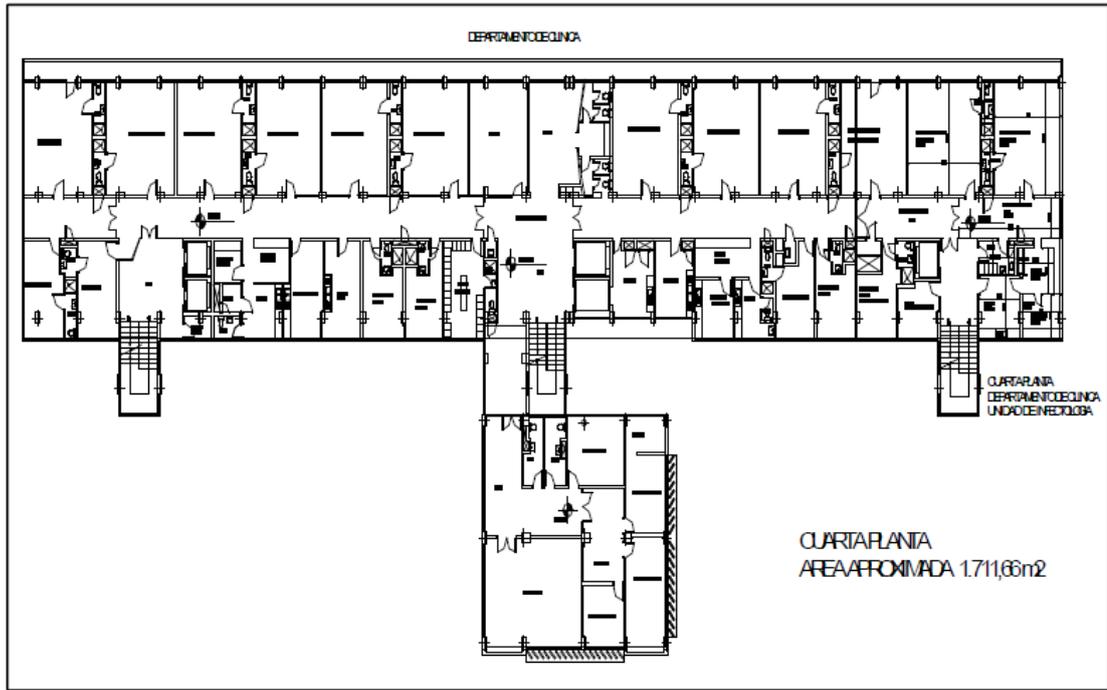


Figura 1. 6: Cuarto piso del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”

Fuente: Departamento de infraestructura del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”

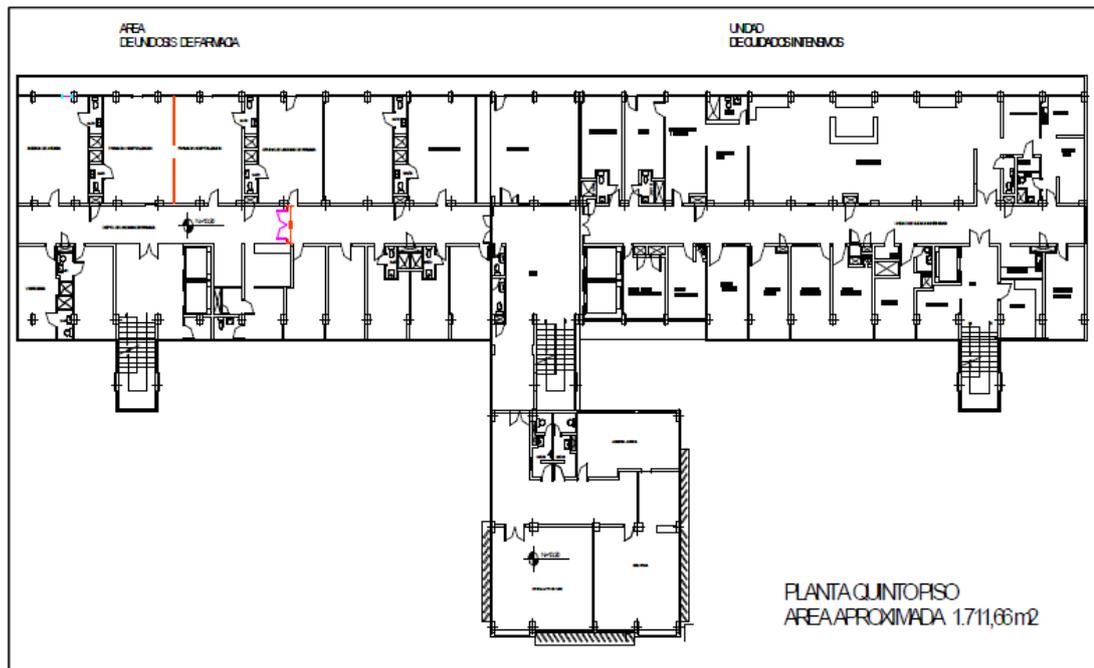


Figura 1. 7: Quinto piso del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”

Fuente: Departamento de infraestructura del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”

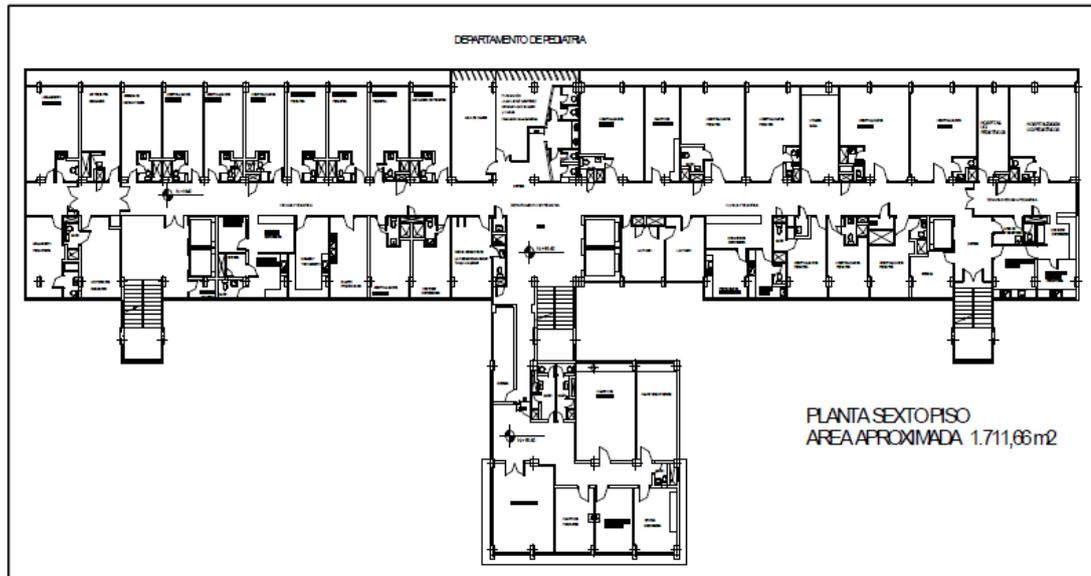


Figura 1. 8: Sexto piso del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”

Fuente: Departamento de infraestructura del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”

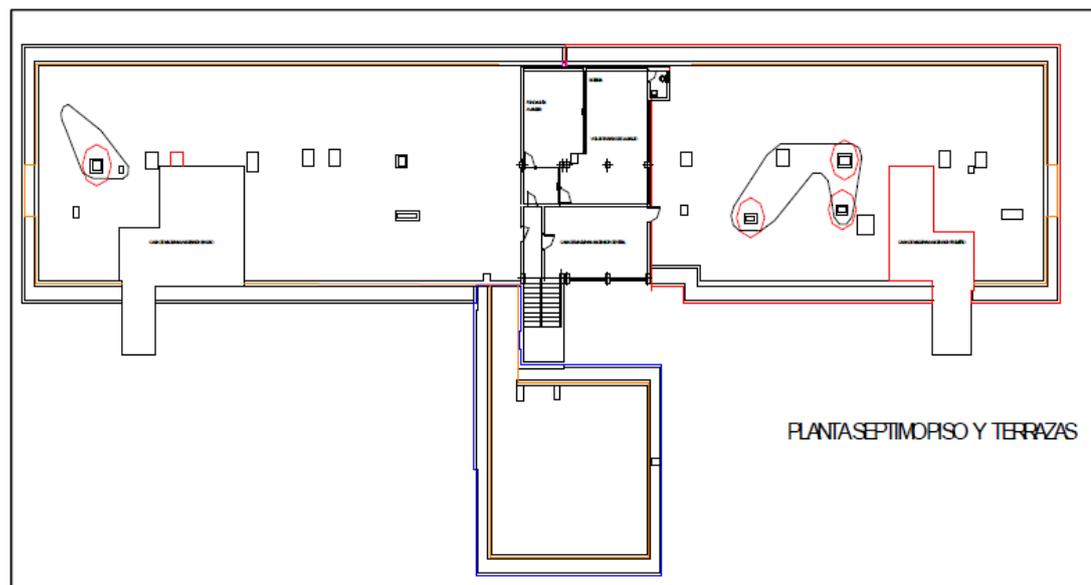


Figura 1. 9: Séptimo piso del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”

Fuente: Departamento de infraestructura del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”

A continuación se presenta información extraída de la tesis titulada “Evaluación estructural de la entidad hospitalaria “Hospital Vicente Corral Moscoso” de la ciudad de Cuenca – provincia del Azuay para cuantificar las amenazas y la vulnerabilidad de la edificación hospitalaria”, la misma que es necesaria para la realización del presente trabajo de graduación (Vintimilla & Fajardo, 2016).

1.1.3 Aspectos relacionados con la ubicación geográfica del establecimiento de salud

La unidad hospitalaria está afectada por varias amenazas como son los fenómenos geológicos, fenómenos hidrometeorológicos, fenómenos sociales, fenómenos sanitario-ecológicos y fenómenos químico-tecnológicos.

La presente investigación se enfoca en los fenómenos geológicos, que son los que causan mayor daño a la edificación.

Fenómenos geológicos

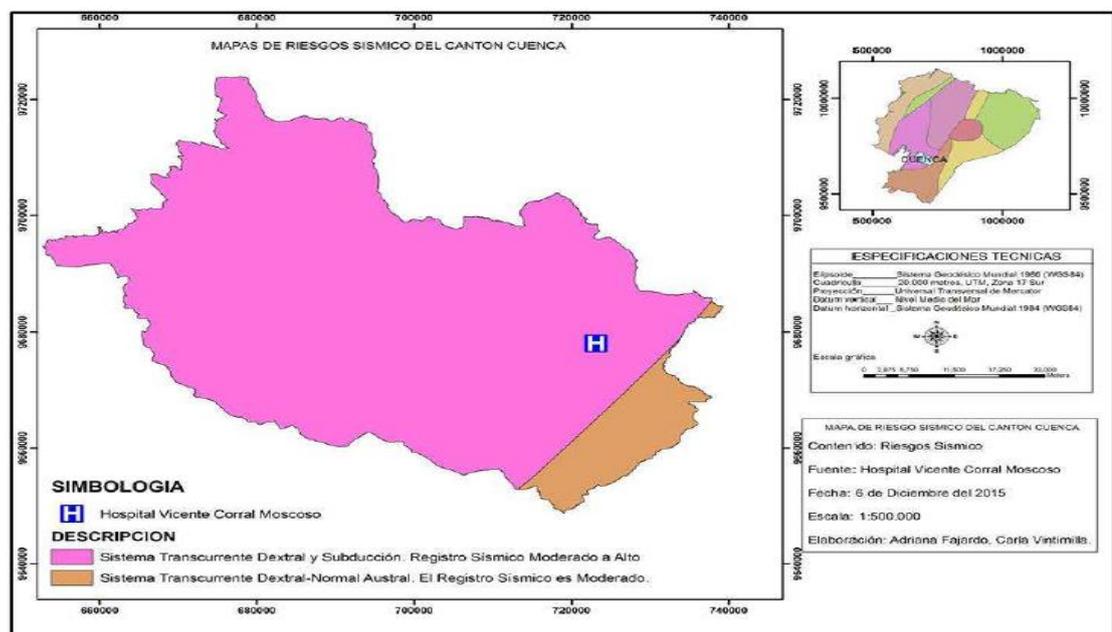


Figura 1. 10: Mapa de actividad sísmica del Cantón Cuenca

Fuente: Instituto Geofísico (<http://www.igepn.edu.ec/>)

Cuenca ha sido escenario de enormes pérdidas materiales y sobre todo de vidas humanas, causadas por eventos o fenómenos naturales como sismos, inundaciones, deslizamientos de tierra, entre otros. Eso es debido a que se encuentra dentro de una zona de alto peligro sísmico, esto se confirma con el mapa de actividad sísmica de la parroquia Huayna-Cápac, en donde se encuentra la unidad hospitalaria, (NEC-SE, 2014), como se puede observar en la figura 1.10.



1.1.4 Elementos arquitectónicos

Se observan deteriorados diversos elementos físicos de hospital, como son las puertas localizadas en la parte interior, ya que no cuentan con vidrio laminado de seguridad, tampoco existe un sistema de apertura en el área de emergencia, exceptuando el área de hospitalización.

Es necesario restaurar la perfilería de aluminio, ya que las ventanas se encuentran en mal estado, pudiendo verse afectadas por el viento o por un sismo.

No existe un orden de distribución correcto de cableado para los tomacorrientes, pudiéndose generar cortocircuitos.

Sistema contra incendios

El hospital cuenta con un sistema contraincendios como: extintores, hachas y pequeñas alarmas de emergencia; excepto el laboratorio que cuenta con detectores de humo.

No se cuenta con tomas de agua en cada planta, únicamente se tiene un hidrante para todo el hospital, el cual está localizado en el área de emergencia, siendo esto muy peligroso ya que al generarse un incendio este sistema no abastecería.

Ascensores

El hospital cuenta con seis ascensores divididos en tres grupos:

- El primero se localiza en el extremo derecho del hospital y es de uso exclusivo para la transportación de ropa y desechos contaminados.
- Los ascensores localizados en la parte central son utilizados para trasladar las camillas, para el transporte de alimentos y el uso de personas en general.
- Los ascensores localizados en el extremo izquierdo del hospital están fuera de servicio hace más de 15 años, estos ascensores tiene una capacidad 1400 kg y han sido reemplazados tres veces durante los últimos 25 años.



Gradas y escaleras

El hospital cuenta con tres grupos de escaleras principales localizadas junto a los ascensores, todas ellas tienen ventanales, lo que podría ser muy peligroso ante un sismo, ya que pueden romperse ocasionando daños a los ocupantes de la edificación y dificultarían el proceso de evacuación.

La unidad hospitalaria no tiene escaleras externas de emergencia, se considera un punto seguro para evacuar una terraza localizada en el séptimo piso, pero esta azotea no cuenta con acceso hacia el primer piso resultando ineficiente y peligroso.

Señalización

Las señalizaciones existentes no son lo suficientemente claras para guiar a las personas hacia los diferentes puntos seguros y salidas de emergencia, en el caso de ocurrir un sismo extremo, una explosión o un incendio, el hospital quedaría fuera de servicio, debido a que no existe una correcta preparación de recursos humanos ni el material correspondiente.

El hospital está rodeado de numerosos árboles, los cuales alcanzan una gran altura, por lo que al caer podrían obstaculizar las entradas y dejar sin acceso a la edificación hospitalaria. Para controlar esto; es necesario que se talen las ramas de los árboles que puedan generar peligro de caerse y puedan provocar accidentes (Vintimilla & Fajardo, 2016).

De acuerdo a la información recopilada en el trabajo de graduación realizado por las ingenieras Carla Vintimilla y Adriana Fajardo, el hospital se encuentra en categoría B, lo que implica que se necesita tomar medidas de seguridad a corto plazo, ya que el nivel de seguridad actual está afectando su funcionamiento durante y después de un desastre.

1.2 Modelación de la edificación en software especializado

Se realizará el modelo en 3D del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso, empleando los datos de la investigación realizada por las ingenieras Carla Vintimilla y Adriana Fajardo. Para la modelación del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”

en el software de evacuación, es necesario generar muros, columnas, vigas, losas y las divisiones de los diferentes espacios.

El modelado del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso se realizó en el software ARCHICAD de libre acceso con una licencia estudiantil, lo que dificulta la importación del archivo al software de evacuación. Se pretende importar el modelo en 3D del hospital al software de evacuación, para poder generar la estructura en 3D.

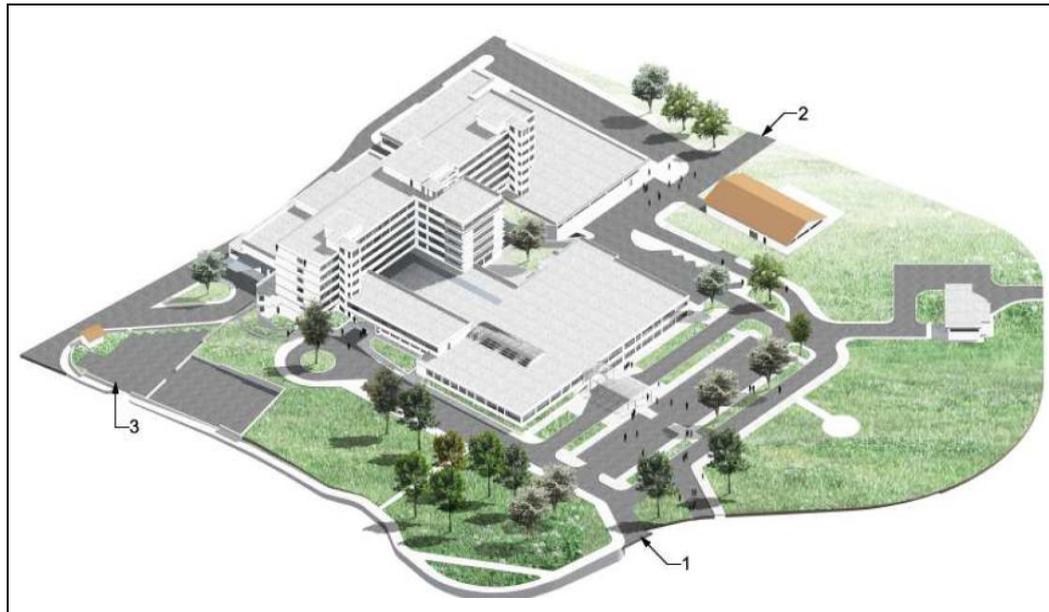
A continuación se presenta el modelado en 3D del hospital regional, en formato reducido para su interpretación, el mismo que ha sido realizado en el software ARCHICAD:



MAQUETA VIRTUAL	Hospital Regional "Vicente Corral Moscoso"	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 1. 11: Maqueta Virtual, Render del Hospital Regional “Vicente Corral Moscoso”

Fuente: Autoría propia, maqueta virtual del hospital.



MAQUETA VIRTUAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. Acceso a consulta externa 2. Acceso a emergencia 3. Acceso a mantenimiento 		UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 1. 12: Render Axonometría Hospital Regional Vicente Corral Moscoso

Fuente: Elaboración propia, maqueta virtual del hospital

El programa de evacuación nos permite importar modelados en 3D en formato DWG, por lo que se vio la necesidad de cambiar el formato del software ARCHICAD (con formatos PLA y PLH) al formato de AutoCAD (DWG), debido a que el software de evacuación no es compatible con el software de ARCHICAD.

1.2.1 Importación del modelado de la estructura en 3D al software de evacuación

El software especializado para la evacuación nos permite importar documentos en 3D, en este caso en formato DWG, por lo que se realizó inicialmente la importación una vez finalizado el modelado de la estructura en 3D. A continuación se mostrará el documento en 3D importado de AutoCAD al software especializado:



MAQUETA VIRTUAL	Hospital Regional "Vicente Corral Moscoso"	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
			Elaborado por: María Fernanda Oliveros
			Escala: Las indicadas

Figura 1. 13: Importación del hospital al software especializado

Fuente: Autoría propia

El archivo no permaneció con las propiedades de cada elemento que se realizó en los programas ARCHICAD Y AutoCAD, ya que adquirió las propiedades del programa de evacuación. El modelo fue realizado por capas, y se procedió a darle las propiedades específicas del programa, como se puede apreciar en la siguiente figura:



MAQUETA VIRTUAL	Hospital Regional "Vicente Corral Moscoso"	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
			Elaborado por: María Fernanda Oliveros
			Escala: Las indicadas

Figura 1. 14: Modelación del hospital en el software especializado

Fuente: Autoría propia

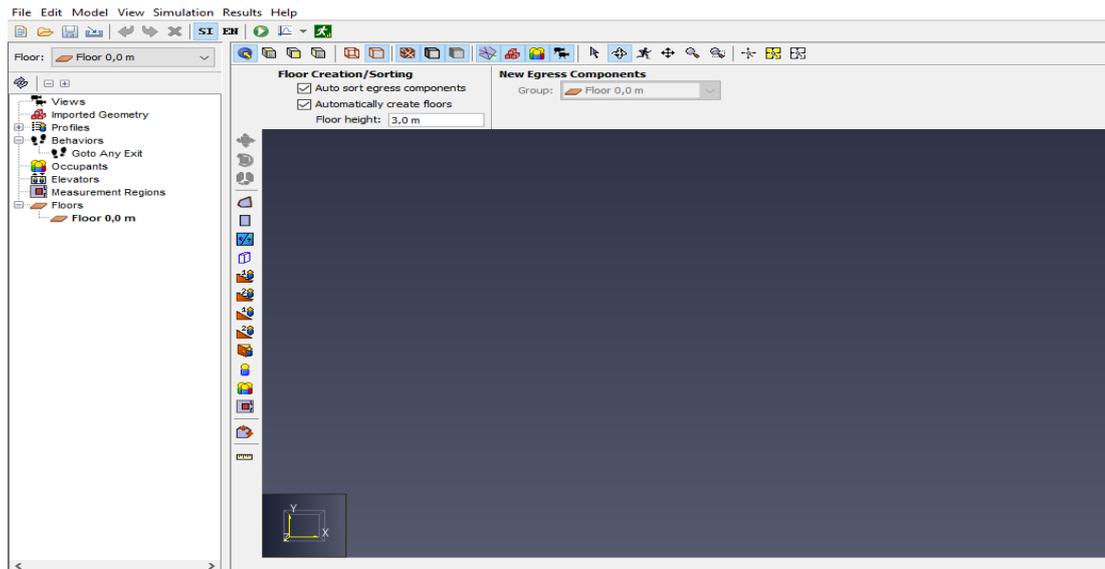


Figura 1. 15: Ventana principal del software especializado

Fuente: Autoría propia

El software especializado es un simulador de salida de emergencia que incluye una interfaz de usuario integrada y resultados en 3D animados. Permite valorar modelos de evacuación rápidamente y origina gráficos realistas (Thunderhead Engineering, 2018).



Figura 1. 16: Software especializado ejemplo estructural en 3D

Fuente: (Thunderhead Engineering, 2018)

Malla de movimiento continuo

El software usa una malla triangulada en 3D para representar la geometría del modelo, dando como resultado curvas geométricas y detalles a precisión.

La triangulación facilita el movimiento continuo de personas en todo el modelo, mientras que otros simuladores subdividen el espacio; restringiendo artificialmente el movimiento de los ocupantes (Thunderhead Engineering, 2018).

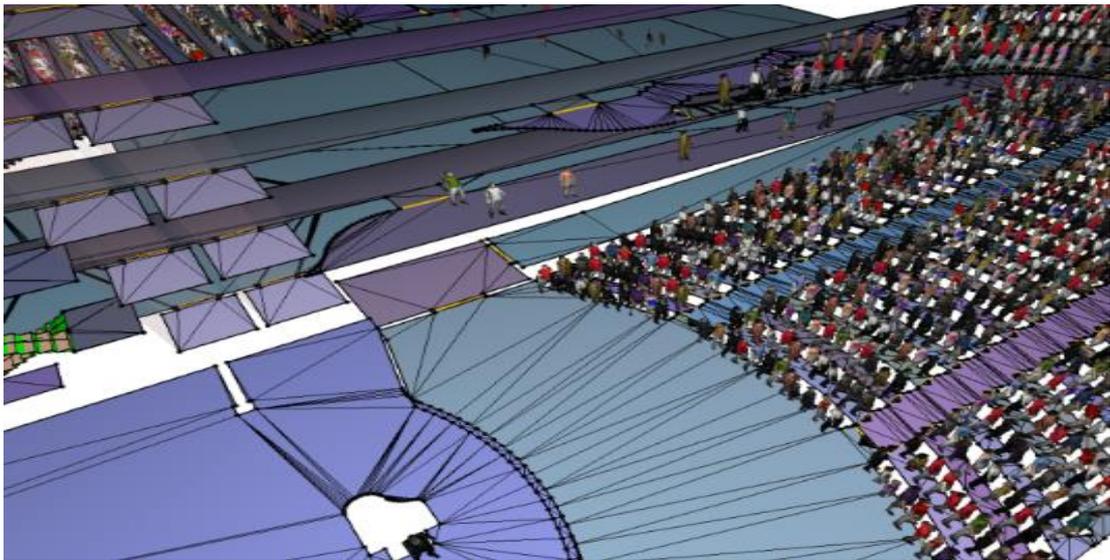


Figura 1. 17: Ejemplo de triangulación en una edificación

Fuente: (Thunderhead Engineering, 2018)

1.2.2 Modelación de pisos y divisiones del centro hospitalario

Se procede a la creación de las losas en cada piso con sus respectivas divisiones en las diferentes áreas del hospital. Para ello, se necesita especificar la altura de la planta en cada losa que se está generando.

Para la creación de las losas, se deben respetar los espacios dónde están localizados, los baños, lavabos, duchas, sillas, mesones y demás implementos de la unidad hospitalaria, ya que al momento de la modelación de los ocupantes, éstos no podrán transitar por las áreas nombradas anteriormente.

En la siguiente imagen se observa cómo se generó la losa perteneciente a los baños, en dónde no se dibujó la losa en el espacio de los lavabos, baños y mesones. También se aprecian las diferentes divisiones de cada área que conforma el centro hospitalario.



MAQUETA VIRTUAL	Representación de losa	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
			Elaborado por: María Fernanda Oliveros
			Escala: Las indicadas

Figura 1. 18: Modelación del hospital en el software especializado

Fuente: Autoría propia

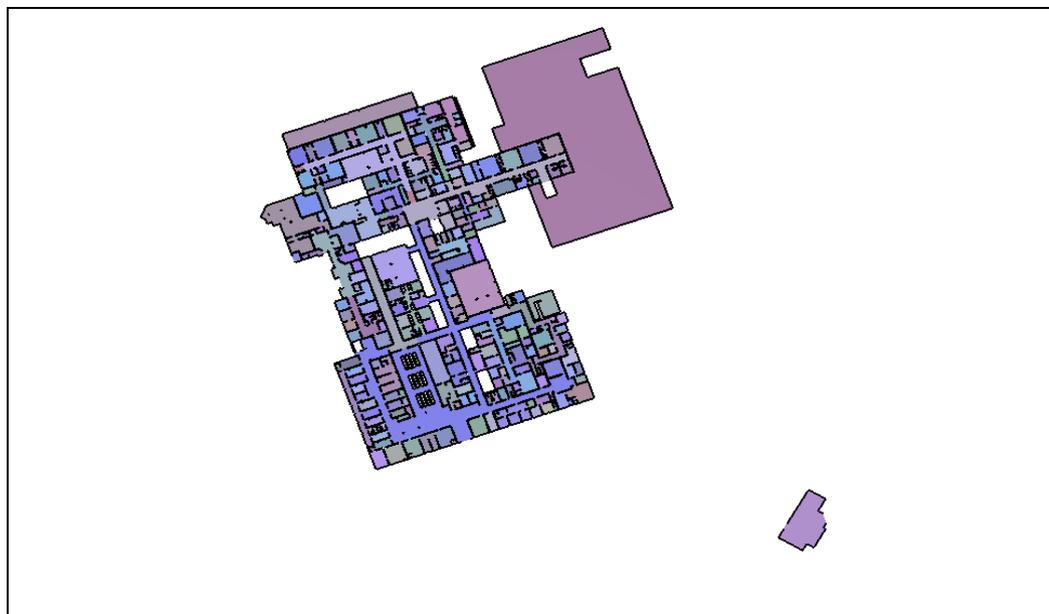
Se presentan imágenes de la modelación de cada piso del centro hospitalario, en la modelación constan principalmente las losas de las habitaciones, consultorios, áreas administrativas, salas de reuniones, baterías sanitarias, pasillos, entre otros:



MAQUETA VIRTUAL	Modelación del piso del Subsuelo	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 1. 19: Modelación del piso del Subsuelo

Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación del primer piso	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 1. 20: Modelación del piso del primer piso

Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación del segundo piso	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
			Escala: Las indicadas

Figura 1. 21: Modelación del piso del segundo piso

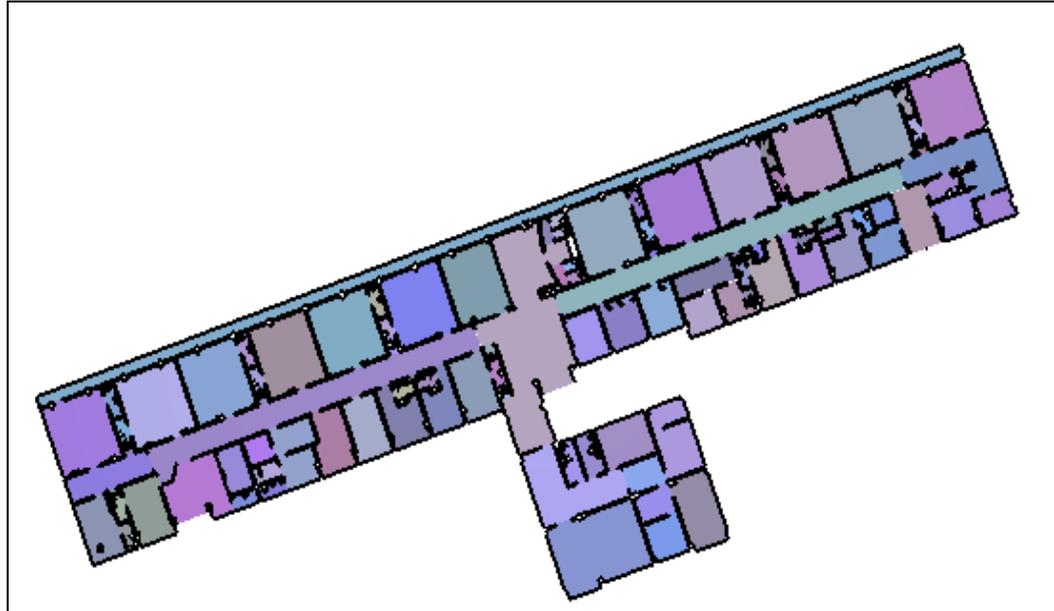
Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación del tercer piso	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
			Escala: Las indicadas

Figura 1. 22: Modelación del tercer piso

Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación del cuarto piso	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 1. 23: Modelación del cuarto piso

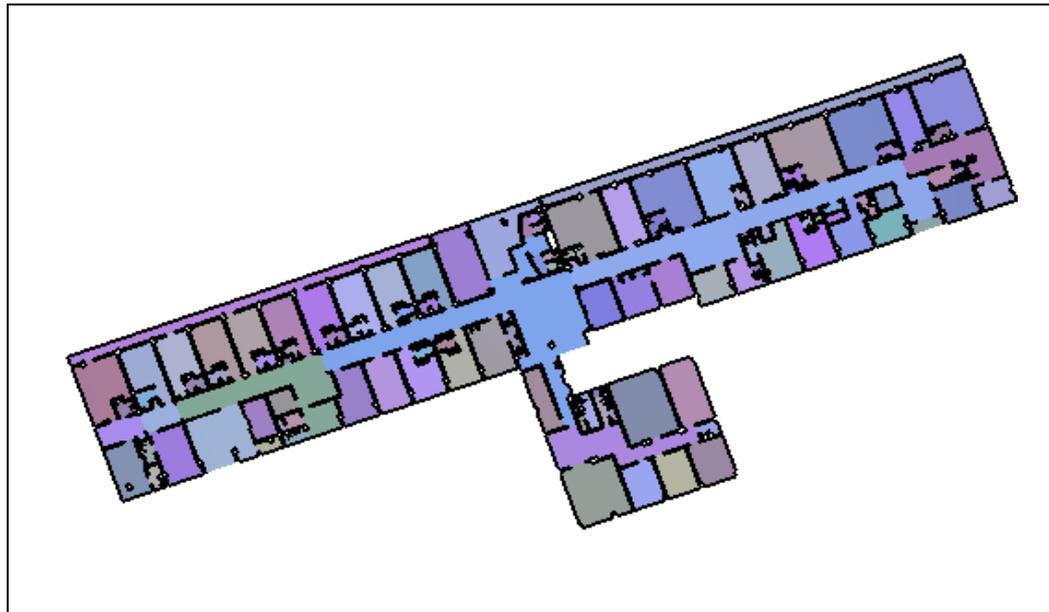
Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación del quinto piso	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 1. 24: Modelación del piso del quinto piso

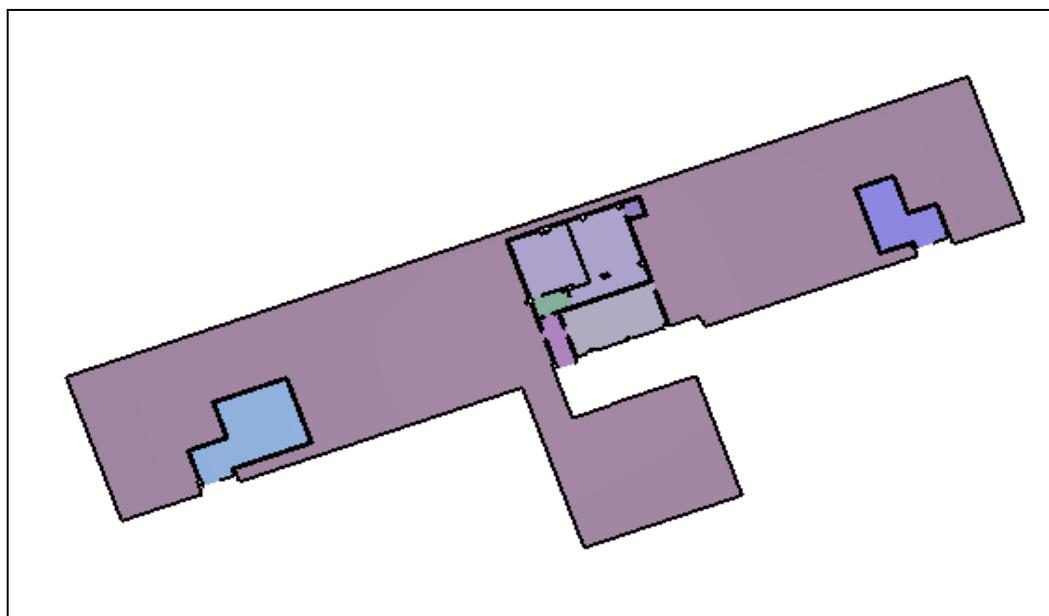
Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación del sexto piso	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 1. 25: Modelación del sexto piso

Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación del piso de la terraza	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 1. 26: Modelación del piso de la terraza

Fuente: Autoría propia

1.2.3 Modelación de puertas del centro hospitalario

Seguidamente se procedió a la colocación de las puertas tanto internas como externas en toda la edificación hospitalaria.

Cada puerta del hospital tiene una dimensión diferente, dependiendo del ambiente del hospital.

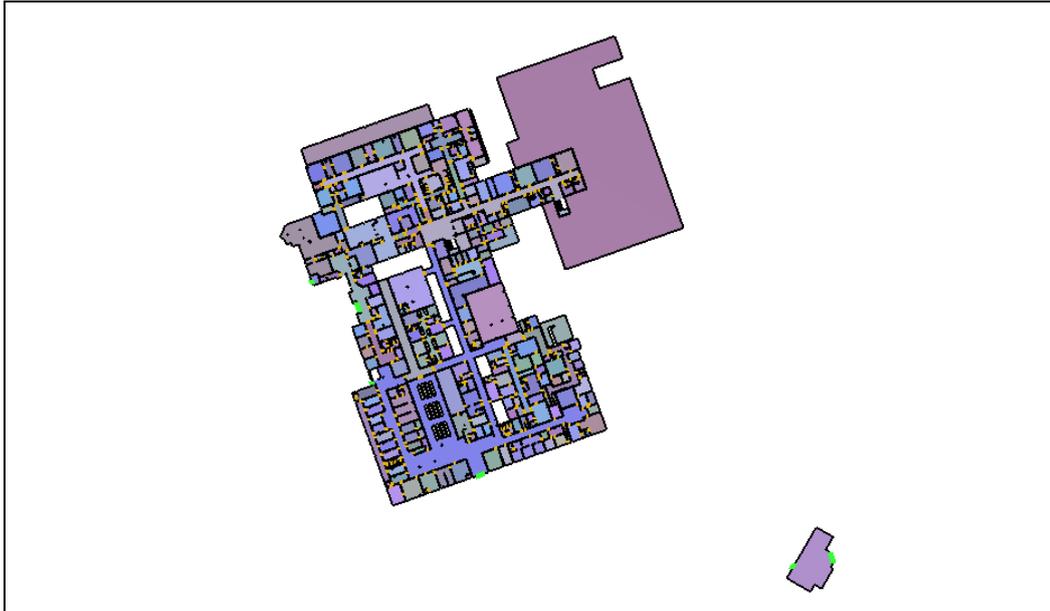
El programa de evacuación diferencia a las puertas de salida con un color verde, mientras que todas las demás puertas que están dentro de la estructura son de color café.



MAQUETA VIRTUAL	Modelación de las puertas del subsuelo	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 1. 27: Modelación de las puertas del subsuelo

Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación de las puertas del primer piso	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
			Elaborado por: María Fernanda Oliveros
			Escala: Las indicadas

Figura 1. 28: Modelación de las puertas del primer piso

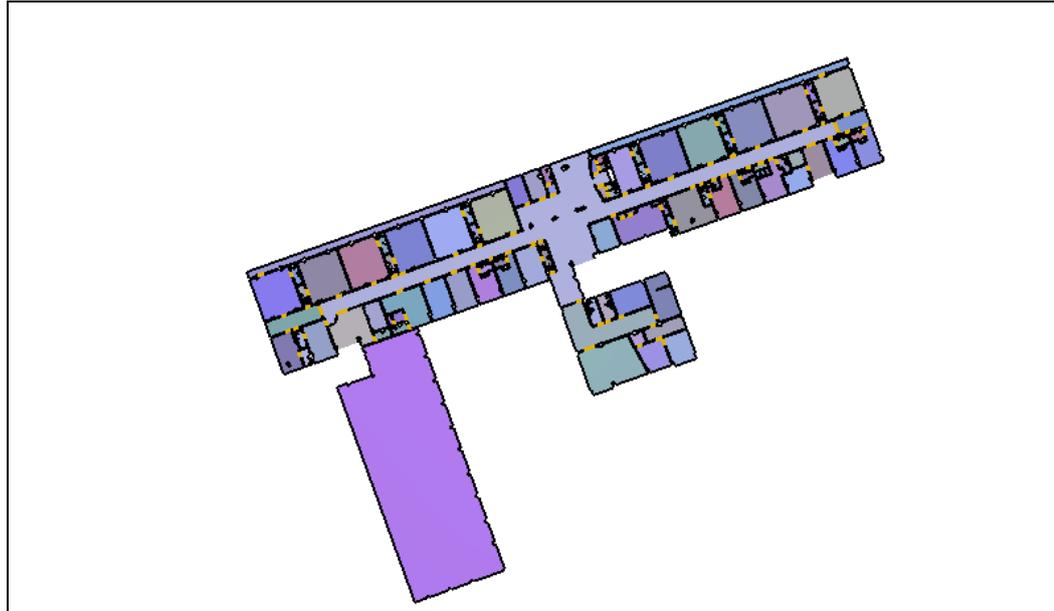
Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación de las puertas segundo piso	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
			Elaborado por: María Fernanda Oliveros
			Escala: Las indicadas

Figura 1. 29: Modelación de las puertas del segundo piso

Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación de las puertas tercer piso	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 1. 30: Modelación de las puertas del tercer piso

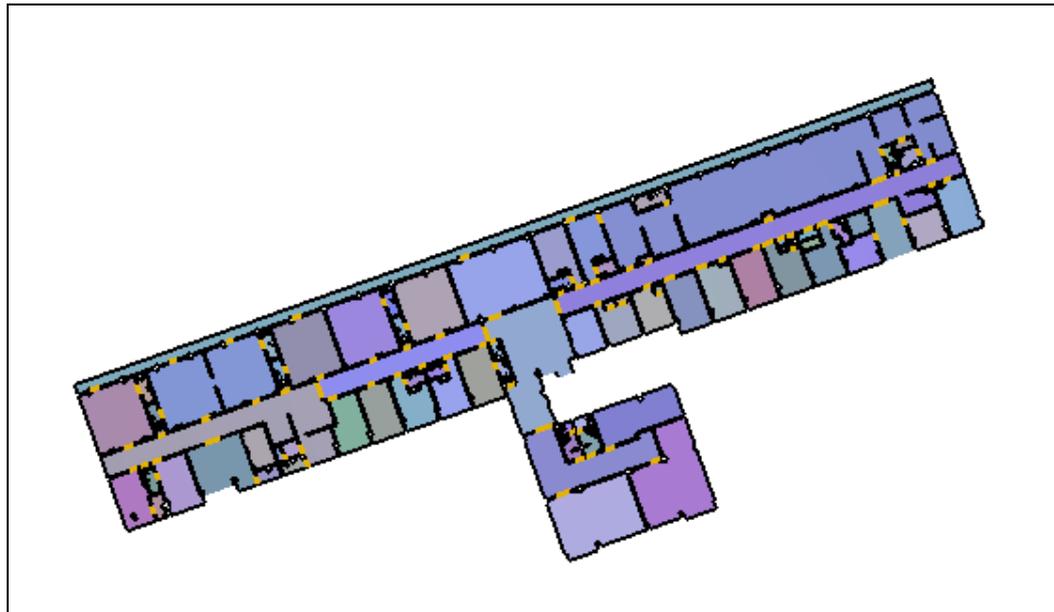
Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación de las puertas cuarto piso	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 1. 31: Modelación de las puertas del cuarto piso

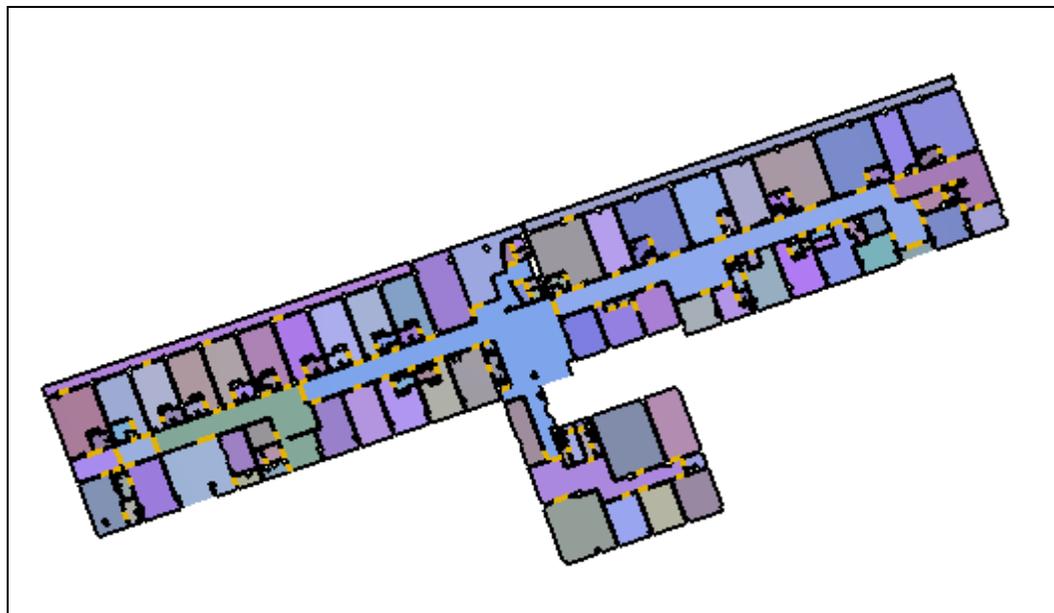
Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación de las puertas del quinto piso	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 1. 32: Modelación de las puertas del quinto piso

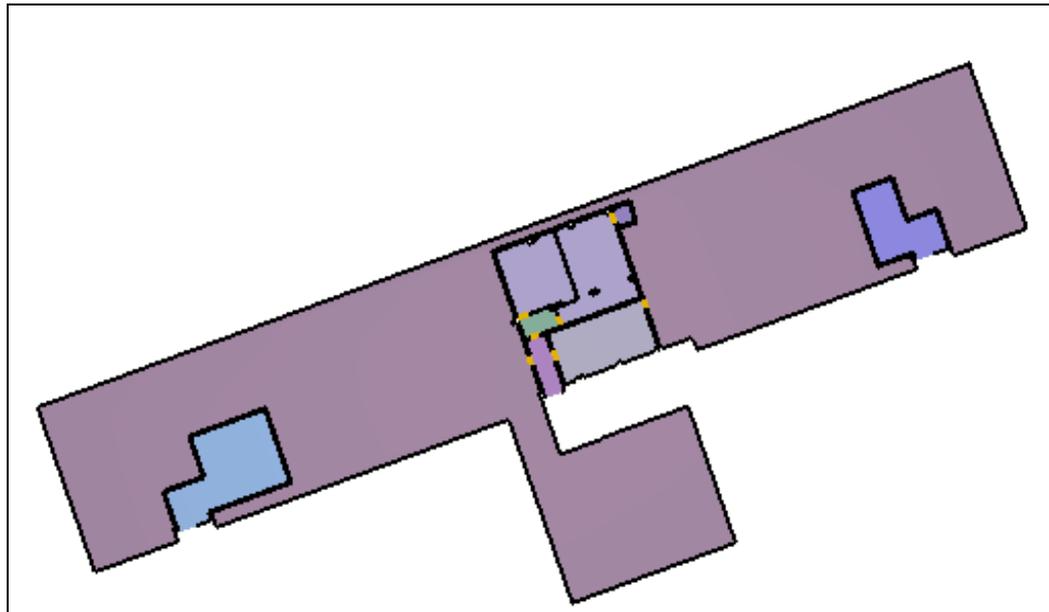
Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación de las puertas del sexto piso	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 1. 33: Modelación de las puertas del sexto piso

Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación de las puertas de la terraza		UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

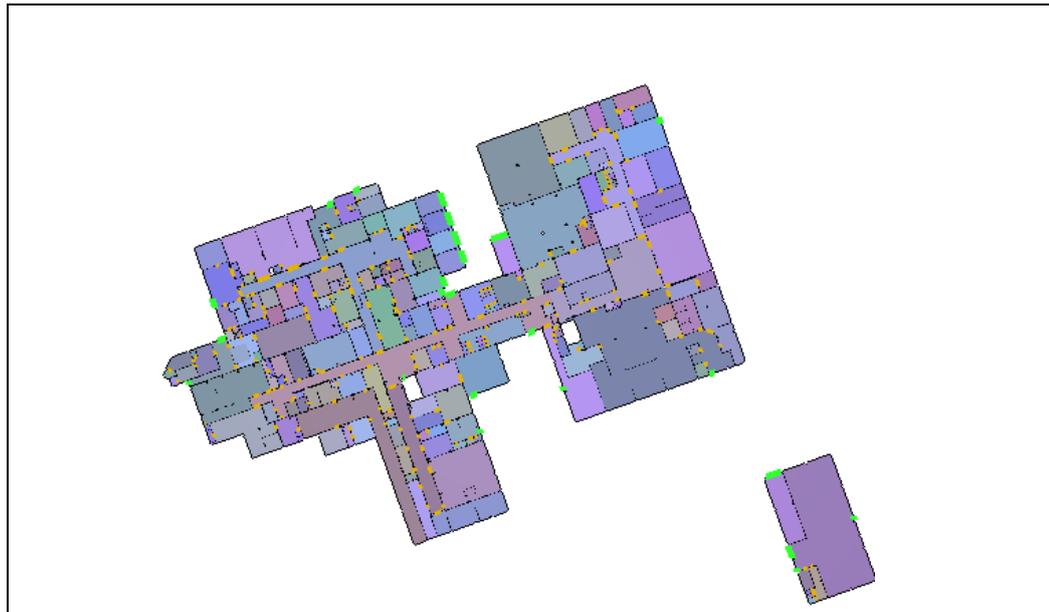
Figura 1. 34: Modelación de las puertas de la terraza

Fuente: Autoría propia

1.2.4 Modelación de escaleras, escaleras mecánicas, pasillos móviles y rampas

Las escaleras y las rampas se pueden usar para representar escaleras mecánicas y pasillos móviles (inclinadas o planas). Estas son usadas para generar el modelo del sistema de evacuación.

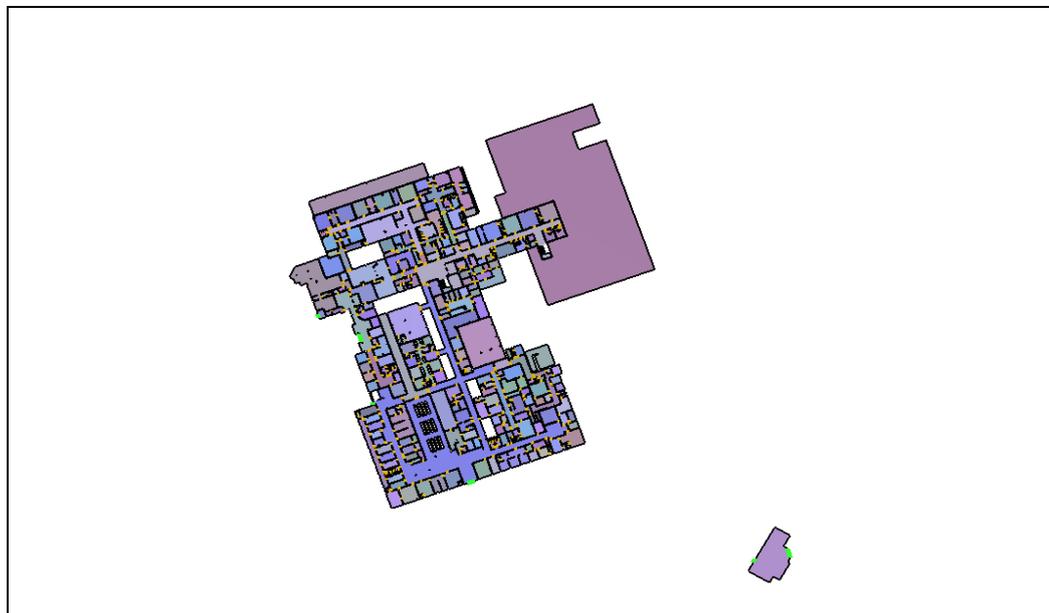
El software de evacuación nos permite generar las escaleras y las rampas con puntos específicos de inicio y fin. La forma de las escaleras y rampas, están predeterminadas en el programa, por lo que se necesita colocar las condiciones reales de la edificación como son: las dimensiones de las gradas, las alturas a las que se encuentran los descansos en las escaleras, etc.



MAQUETA VIRTUAL	Modelación de las escaleras del subsuelo	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 1. 35: Modelación de las escaleras del subsuelo

Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación de las escaleras del primer piso	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 1. 36: Modelación de las escaleras del primer piso

Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación de las escaleras del segundo piso	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 1. 37: Modelación de las escaleras del segundo piso

Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación de las escaleras del tercer piso	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 1. 38: Modelación de las escaleras del tercer piso

Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación de las escaleras del cuarto piso	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 1. 39: Modelación de las escaleras del cuarto piso

Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación de las escaleras del quinto piso	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 1. 40: Modelación de las escaleras del quinto piso

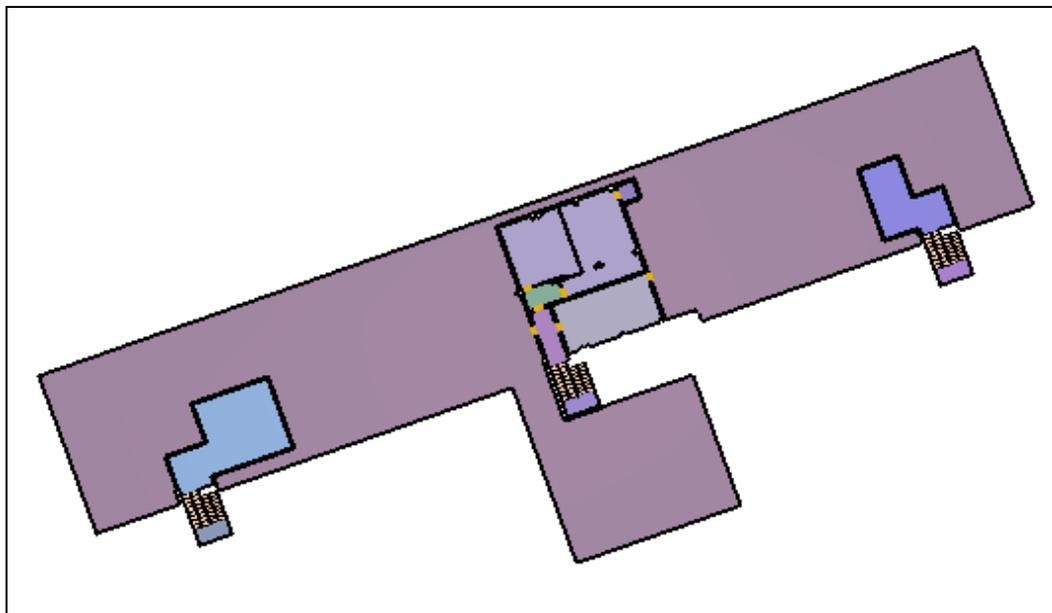
Fuente: Autoría Propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación de las escaleras del sexto piso	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 1. 41: Modelación de las escaleras del sexto piso

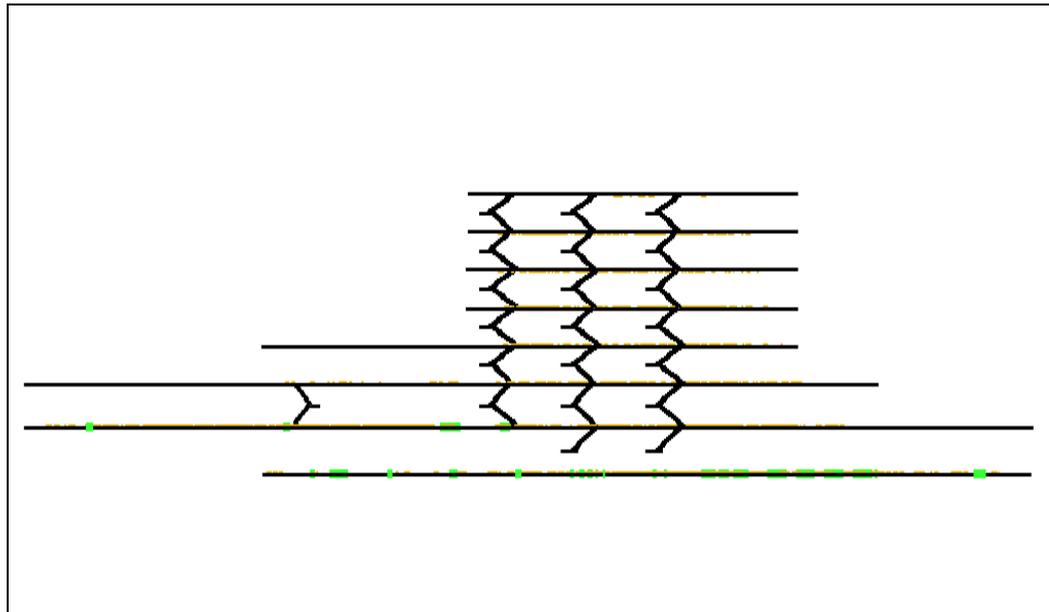
Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación de las escaleras de la terraza	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 1. 42: Modelación de las escaleras de la terraza

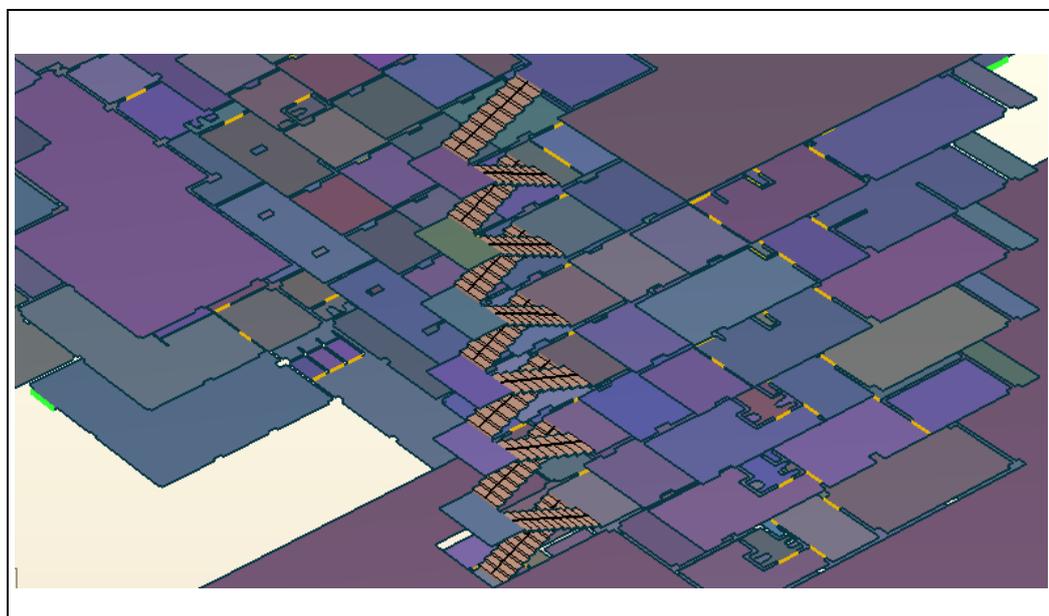
Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación de las escaleras (vista lateral)	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 1. 43: Modelación de las escaleras (vista lateral)

Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación de las escaleras (vista en 3D)	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 1. 44: Modelación de las escaleras del hospital (vista en 3D)

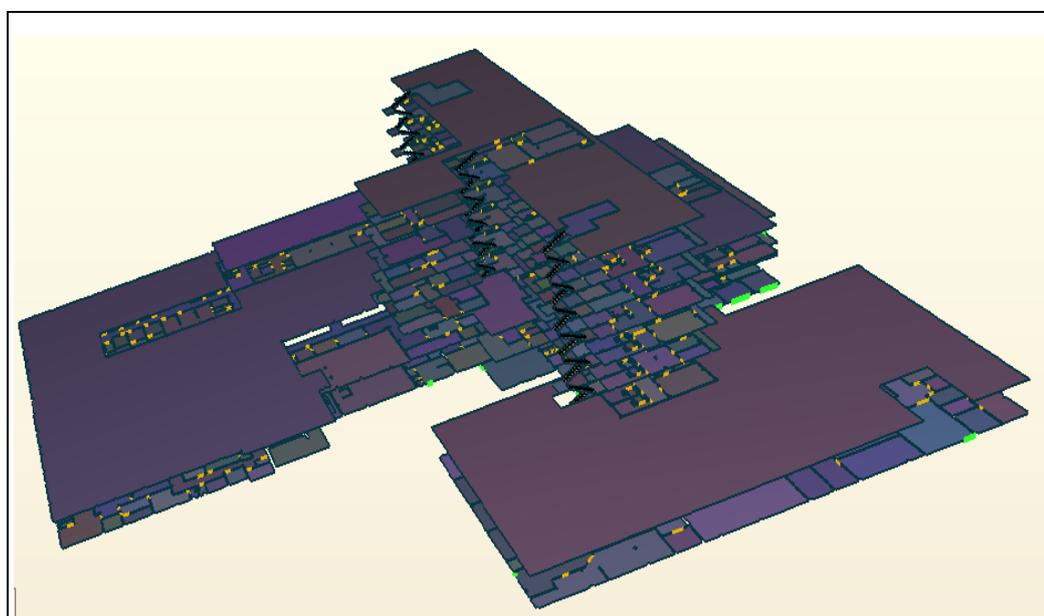
Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación de las escaleras (vista en 3D)	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 1. 45: Modelación de las escaleras del hospital (vista en 3D)

Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación de la estructura hospitalaria (vista en 3D)	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 1. 46: Modelación de la estructura hospitalaria (vista en 3D)

Fuente: Autoría propia

1.2.5 Elevadores y ascensores

El software brinda la posibilidad de evaluar las opciones de evacuación usando elevadores. Cada elevador tiene una lista de preferencia de pisos, recolección y piso de descarga. Las personas pueden moverse directamente al elevador más cercano o a un piso de refugio y esperar hasta ser evacuadas por el elevador. Los respondedores de emergencia pueden controlar los elevadores seleccionados para llevarlos a las puntos deseados (Thunderhead Engineering, 2018).



Figura 1. 47: Ascensores en la simulación del software especializado

Fuente: (Thunderhead Engineering, 2018)

No se realizó la modelación de los ascensores, ya que en el caso de que se presente un sismo extremo, por seguridad de los usuarios no se va a permitir la utilización de los mismos.

CAPÍTULO II

PUNTOS DE ENCUENTRO

2.1 Modelación de la evacuación de la edificación ante una situación de riesgo

El software especializado de evacuación es un simulador de salida de emergencia que incluye un interfaz de usuario integrada y resultados en 3D animados. Permite valorar modelos de evacuación rápidamente y origina gráficos realistas (Thunderhead Engineering, 2018).

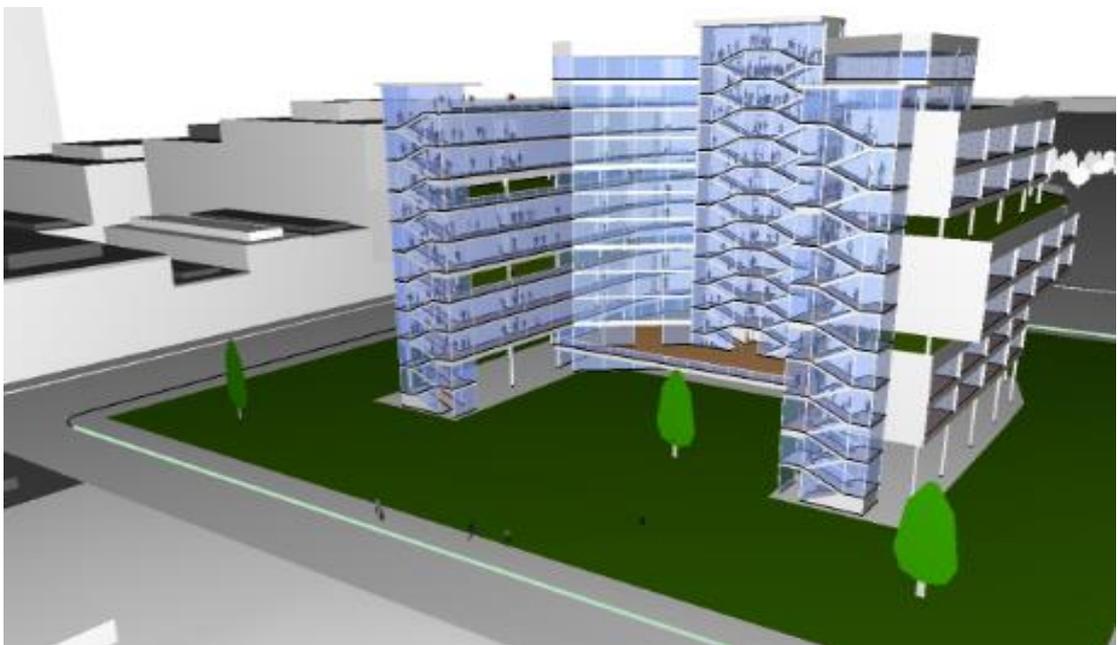


Figura 2. 1: Software especializado de evacuación, ejemplo estructural en 3D

Fuente: (Thunderhead Engineering, 2018)

2.1.1 Malla de movimiento continuo

El software emplea una malla triangulada en 3D para representar la geometría del modelo, dando como resultado curvas geométricas y detalles a precisión. La triangulación facilita el movimiento continuo de personas en todo el modelo, mientras que otros simuladores subdividen el espacio; restringiendo artificialmente el movimiento de los ocupantes (Thunderhead Engineering, 2018).

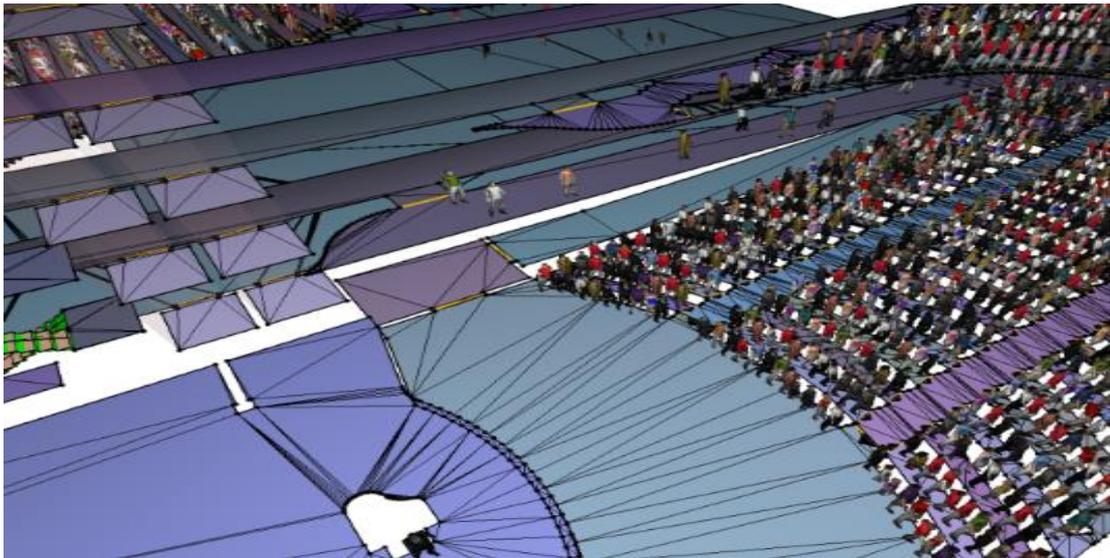


Figura 2. 2: Ejemplo de triangulación en una edificación

Fuente: (Thunderhead Engineering, 2018)

2.1.2 Movimiento de ocupantes a las salidas

El software de evacuación permite usar una serie de parámetros para la selección de la ruta que deben seguir los ocupantes, ya que los agentes responden dinámicamente a las colas cambiantes, cierres y aperturas de puertas y a las restricciones de velocidad. (Thunderhead Engineering, 2018).

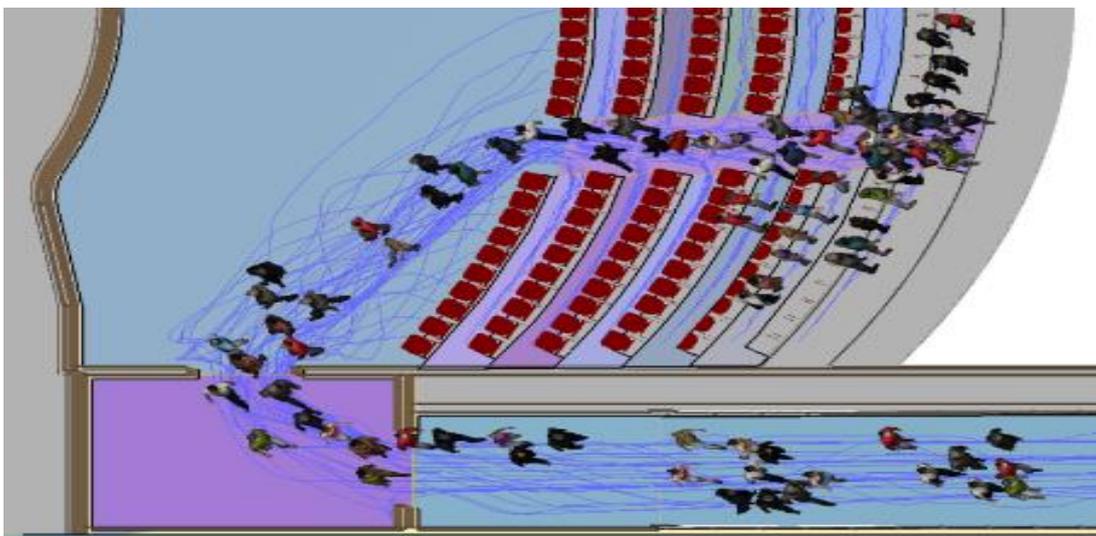


Figura 2. 3: Movimientos de los ocupantes a las salidas

Fuente: (Thunderhead Engineering, 2018)

2.1.3 Visualización 3D de alta calidad

El software de evacuación contiene una diversidad de modelos humanos, de diferentes culturas, edades, vestimenta y servicios de emergencia, permitiendo una representación equilibrada del grupo de interés.

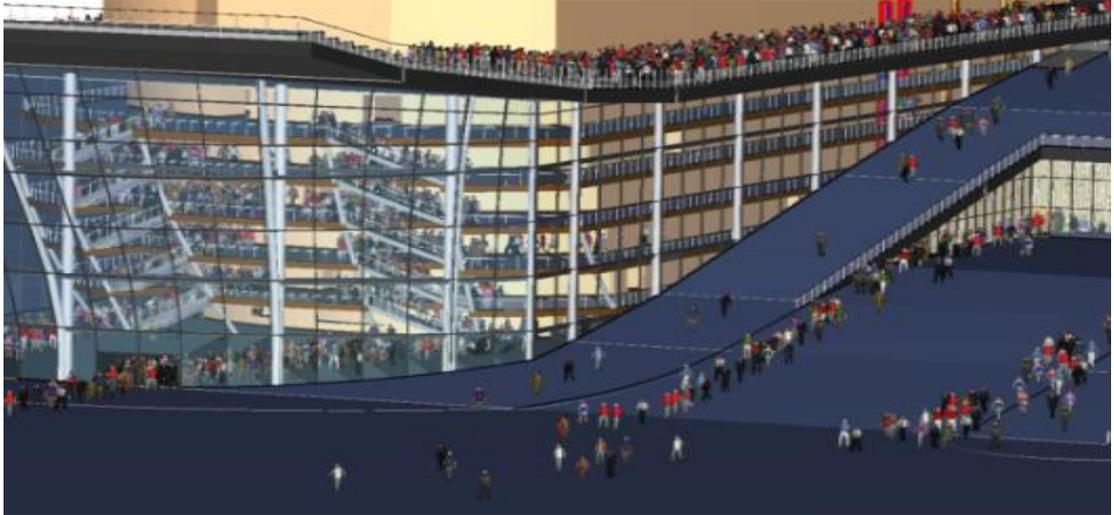


Figura 2. 4: Visualización 3D de alta calidad en una estructura

Fuente: (Thunderhead Engineering, 2018)

2.1.4 Parcelas de contorno

Permite la visualización de datos de una manera fácil y rápida. Los diagramas disponibles incluyen densidad, uso, nivel de servicio etc. Cada uno de éstos se puede personalizar modificando opciones como la cantidad de cubos, rangos de valores, sombreado de colores y difuminado (Thunderhead Engineering, 2018).

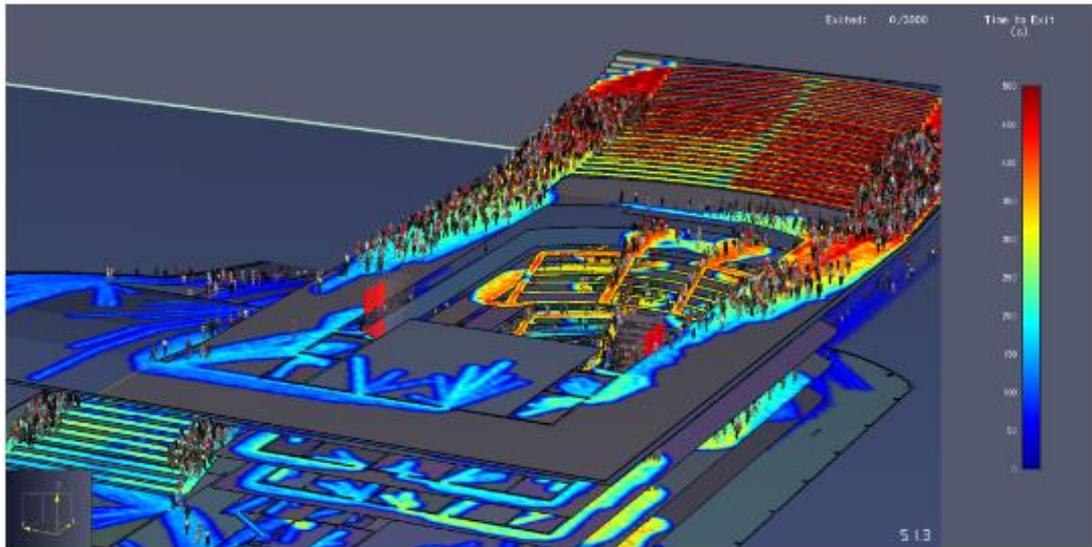


Figura 2. 5: Parcelas de contorno en una estructura de ejemplificación

Fuente: (Thunderhead Engineering, 2018)

2.1.5 Evacuación asistida

El software de evacuación permite la modelación de ocupantes con características especiales como sillas de ruedas y camas de hospital, éstos serán movilizados por personas determinadas en la modelación.

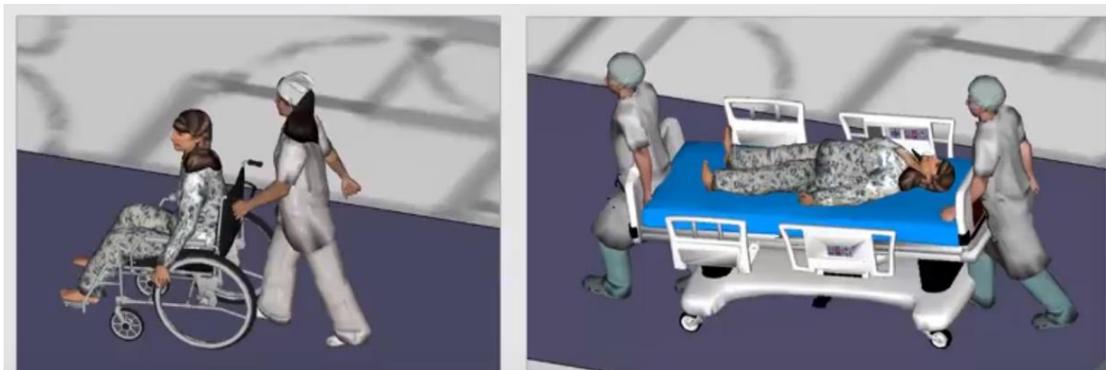


Figura 2. 6: Evacuación asistida por asistentes designados

Fuente: (Thunderhead Engineering, 2018)

2.1.6 Ocupantes

El software de evacuación permite realizar una dinámica a un modelo basado en una tabla de tasa de flujo predeterminada. Esta función admite que los modelos tengan fuentes de nuevos ocupantes que ingresen en diferentes momentos para simular el flujo de tráfico desde las entradas fuera del área simulada (Thunderhead Engineering, 2018).



Figura 2. 7: Ocupantes en la simulación del software especializado

Fuente: (Thunderhead Engineering, 2018)

2.1.7 Poblaciones personalizables

El programa permite que cada persona use su entorno local para tomar decisiones sobre las rutas de salida, es posible crear varios perfiles y colas o responder al cierre de puertas. Los parámetros en cada perfil pueden describirse usando distribuciones constantes, uniformes, estándares normales, etc. Por ejemplo, se pueden crear perfiles que representan a niños y adultos y luego se puede asignar a la población un 80% de adultos y un 20% de niños. Del mismo modo, se pueden crear múltiples comportamientos y asignarlos a las poblaciones. Las personas pueden tener diferentes objetivos de salida y pueden pasar a puntos intermedios o esperar antes de continuar (Thunderhead Engineering, 2018).



Figura 2. 8: Poblaciones personalizables en la simulación del software especializado

Fuente: (Thunderhead Engineering, 2018)

2.1.8 Diagrama fundamental de personalización

Proporciona al usuario una relación velocidad-densidad, ya que tiene una amplia aceptación y estimaciones conservadoras. Con los puntos de datos adecuados de un diagrama dado, se puede configurar un perfil de agente para modelar cualquier curva de velocidad-densidad (Thunderhead Engineering, 2018).

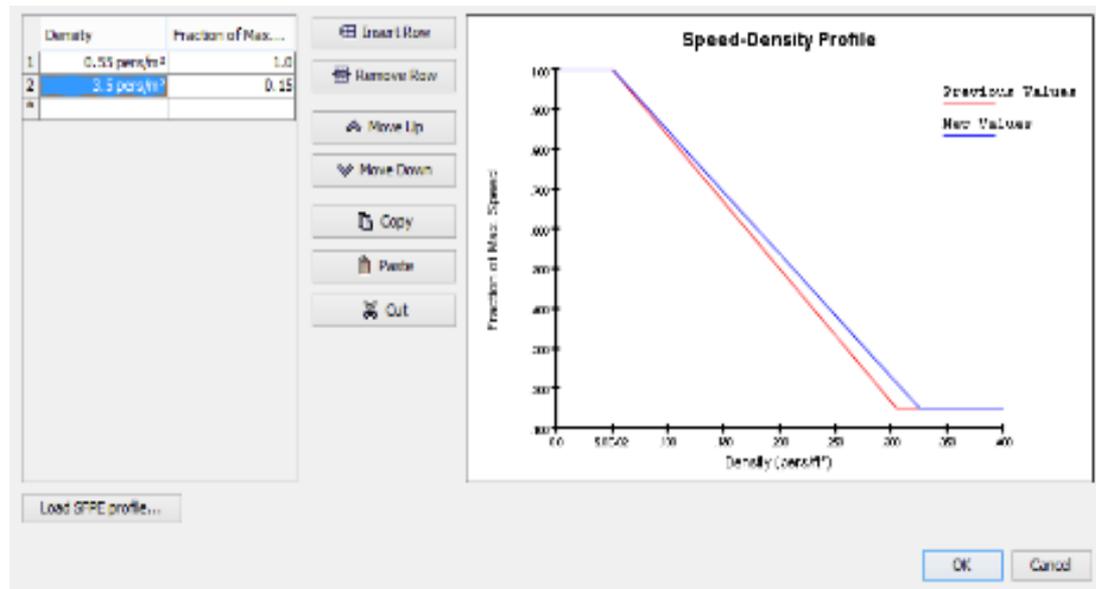


Figura 2. 9: Escaleras y rampas en la simulación del software especializado

Fuente: (Thunderhead Engineering, 2018)

2.1.9 Evaluación de resultados de gran alcance

La visualización de los resultados en 3D está disponible durante el cálculo. La pantalla 3D permite al usuario visualizar interactivamente el movimiento de los ocupantes, avanzar y retroceder en el tiempo, ver las rutas y seleccionar a las personas a observar. El archivo de salida resumido incluye los tiempos de salida mínimo, máximo, promedio, los tiempos de entrada y salida de habitaciones y puertas. La información detallada está disponible en archivos CVS, incluido el movimiento de personas individuales (Thunderhead Engineering, 2018).

Los cuadros de ocupación de la habitación y las tasas de flujo de la puerta lo ayudan a evaluar rápidamente los puntos de congestión (Thunderhead Engineering, 2018).

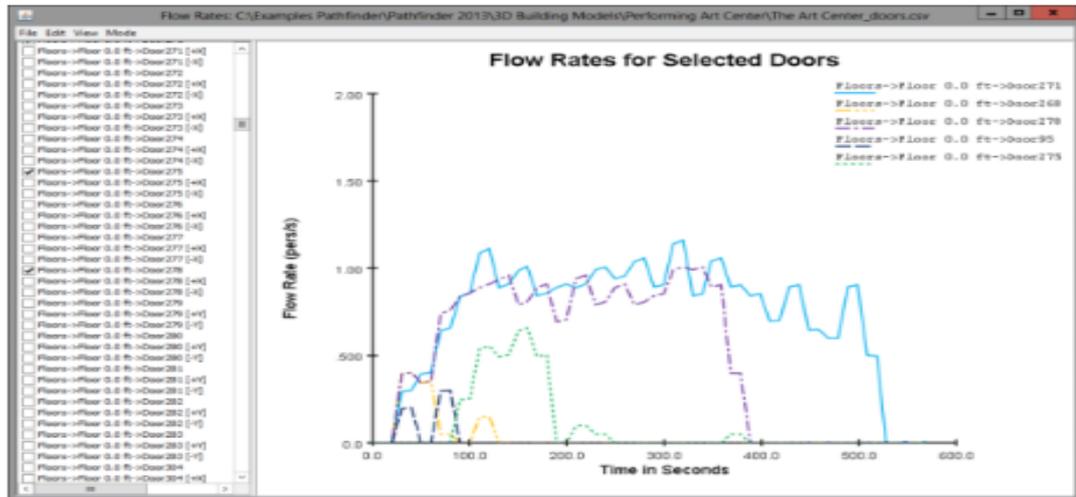


Figura 2. 10: Torniquetes y otras restricciones en el flujo en la simulación del software especializado
Fuente: (Thunderhead Engineering, 2018)

2.2 Plan de rutas de escape

Evacuar un hospital representa la última consideración que debe hacer un Comité de Operaciones de Emergencias y Desastres, pero sin duda es un procedimiento que debe ser considerado en la elaboración de planes hospitalarios (Martínez Valdés, y otros, 2010). Es importante que las vías de evacuación estén bien determinadas, sin obstáculos y que sigan una ruta de evacuación específica desde cualquier punto del inmueble hospitalaria hasta las áreas seguras definidas con anterioridad en el mismo piso, pisos contiguos o en el exterior de la estructura, tratando de resguardar la vida y la integridad física de trabajadores en general y estudiantes, pacientes, acompañantes y visitas que acuden al centro hospitalario.

Los usuarios ajenos a la edificación hospitalaria no están familiarizados con el entorno del hospital, ya que por lo general sólo conocen las áreas no restringidas; esto ocasionaría inconvenientes en la evacuación de la estructura, debido a que el flujo de evacuación no sería el correcto, incrementándose considerablemente el tiempo de evacuación.

En caso de un sismo extremo, los ocupantes de la estructura hospitalaria deben tener la suficiente información sobre las medidas de seguridad a tomar, por ejemplo: una correcta señalización, rutas de evacuación bien definidas, tarjetas de acción, entre otros (Morales Soto, 2000).



En el caso de un sismo de gran magnitud, la evacuación debe iniciar en cuanto termine el fenómeno geológico y una vez que se verifiquen las condiciones de riesgo de la estructura, principalmente en el caso de que existan daños estructurales o perjuicios en las vías vitales de la edificación. En el desalojo del hospital, deben salir en primer lugar los ocupantes de las plantas bajas y simultáneamente los ocupantes de las plantas superiores.

El destino de la evacuación debe ser de fácil acceso, en lo posible al aire libre y debe tener la capacidad de albergar la cantidad de personas estimadas a evacuar por esa ruta. Se deben establecer prioridades con el siguiente orden: menores, incapacitados físicos o mentales, mujeres y por último hombres (Sánchez Parra, Franco, Alvarez, & Recuero, 2013).

Tradicionalmente cualquier ruta de evacuación debe tomar un máximo de tres minutos desde un área de trabajo hasta el punto de reunión o hasta la puerta de emergencia. La distancia ideal desde cualquier lugar hasta la salida de emergencia deberá ser menor de 30 metros, más de 100 metros se considera de riesgo (Desastres, 2009).

Las rutas de evacuación deben estar señalizadas con flechas de color blanco o verde a la altura de las personas y debajo o adentro de cada flecha se debe indicar la salida de emergencia o la ruta de evacuación (Desastres, 2009) y (Sánchez Parra, Franco, Alvarez, & Recuero, 2013).

En cuanto a los obstáculos en las salidas de emergencia podemos indicar:

- a) Las escaleras o pendientes hacia abajo incrementan la velocidad, mientras las que son hacia arriba reducen la velocidad.
- b) Las curvas causan aglomeración de personas y contribuyen a demeritar el éxito de la evacuación.
- c) Los pasillos angostos causan desesperación y angustia provocando actitudes como gritos y llanto.
- d) Las áreas abiertas contribuyen a crear competencia y por lo general no se respetan las rutas establecidas, sino que se busca llegar de la manera que se cree más fácil (Desastres, 2009).



Las rutas de evacuación pueden ser de dos tipos:

- Principales: se utilizan en primera instancia para conducir la evacuación, son anchas por lo que permiten el paso de los pacientes en camillas y del equipo médico, tiene baja vulnerabilidad, una corta distancia para recorrer y un buen estado funcional.
- Alternas: sus características no nos permiten usarlas como primera opción, pero éstas se utilizarán cuando una o varias rutas principales se encuentren bloqueadas (Morales Soto, 2000).

Las zonas de seguridad internas deben estar establecidas con claridad y deben ser lugares cercanos a columnas o muros de contención, ya que en muchos casos, al evacuar una unidad hospitalaria, los pacientes, familiares y el personal no logran salir de la edificación. Por otro lado, las zonas seguras externas deben localizarse en lugares alejados de edificios elevados, y sobretodo deben estar apartadas de amenazas internas inherentes a un hospital como son gases medicinales, cables eléctricos, combustibles, entre otros (Morales Soto, 2000).

Análisis retrospectivos de hospitales que han implementado procedimientos de evacuación, han demostrado que poco más del 85% de los pacientes hospitalizados en el momento del impacto del fenómeno destructivo pueden desalojar el hospital por sí mismos o con mínima ayuda y casi un 10% son completamente dependientes, por lo que requieren auxilio de los rescatadores, ya sea con soporte de vida o sin él (Sánchez Parra, Franco, Alvarez, & Recuero, 2013).

La unidad hospitalaria cuenta con un plan de rutas de escape preestablecido, el mismo que ha sido sigilosamente analizado, de tal manera que al momento de realizar una evacuación masiva, los usuarios puedan dirigirse a la ruta de evacuación más cercana para disminuir el congestionamiento en los trayectos a seguir.

La edificación hospitalaria no cuenta con gradas de emergencia exteriores, pero tiene gradas en la parte central, derecha e izquierda, estas escaleras son usadas para el ingreso y salida de pacientes, personal de salud, trabajadores en general y visitas. Los



escalones son considerados como las rutas de evacuación a seguir para desalojar el hospital en caso de un evento siniestro.

Ver planos en **ANEXO 2.**

2.3 Modelación de la ocupación de la edificación (personal de salud, pacientes en consulta, en hospitalización y visitas)

2.3.1 Áreas de la unidad hospitalaria

- **Área de hospitalización**

En esta área los cuidados de enfermería se aplican por turnos las 24 horas del día, ya que las personas que se encuentran hospitalizadas requieren de vigilancia y cuidado constante por parte del personal médico (Pinedo, 2013).

- **Área de consultas o asistencia primaria**

Recibe a pacientes con cita previa y durante un horario restringido, se realiza el diagnóstico, tratamiento o seguimiento de un paciente con base a su historia clínica y la valoración física (Pinedo, 2013).

- **Área de urgencias**

Se da prioridad a situaciones que ponen en riesgo la vida del paciente, la función del servicio de urgencias es valorar al paciente para posteriormente diagnosticarlo, tratarlo, evaluarlo y así decidir si el paciente ingresa o se va a casa con los cuidados que debe seguir. El área de urgencias funciona todo el día con pacientes que ingresan por emergencia, en esta área se realizan intervenciones quirúrgicas de gran índole (Pinedo, 2013).

2.3.2 Número de personas en el hospital regional “Vicente Corral Moscoso”

En una edificación hospitalaria sobresalen tres áreas sustanciales, dependiendo del tratamiento que requieran los pacientes, el tiempo de permanencia y la gravedad en el estado de salud de los pacientes. Cada una de estas áreas cuenta con espacios propios del uso médico como son consultas, habitaciones, salas de espera, quirófanos, entre otros. Una edificación hospitalaria cuenta además con despachos, vestuarios, administrativos, cocina, cafetería, oficinas, entre otras.



Los datos considerados en el presente trabajo de graduación fueron proporcionados por el personal de la unidad hospitalaria.

Para el estudio se consideraron datos del mes de junio del año 2018. También se procedió a tomar muestras de varios días en la unidad hospitalaria, para comprobar que los datos estimados coincidan con su estado actual, el mismo que varió en un número de dos a tres personas en cada piso de la edificación.

Para la obtención de resultados semejantes a la realidad, se consideró la población máxima de la unidad hospitalaria, la misma que consta de trabajadores en general, pacientes internos y externos, visitas, acompañantes de pacientes externos, posgradistas, etc.

2.3.2.1 Trabajadores en general

2.3.2.1.1 Personal de salud

Entre el personal de salud tenemos: médicos, licenciadas en enfermería, enfermeros, auxiliares en diferentes áreas, internos en diferentes ámbitos, posgradistas y residentes. A continuación se especifica el número del personal de salud en cada piso:

Tabla 2. 1: Personal de salud

PLANTA	NÚMERO DE PERSONAS
Planta subsuelo dos	90 personas
Planta baja	85 personas
Segundo piso	40 personas
Tercer piso	46 personas
Cuarto piso	89 personas
Quinto piso	29 personas
Sexto piso	46 personas
TOTAL	425 personas

Fuente: Hospital Regional Vicente Corral Moscoso y autoría propia

Se considerará un total de 425 personas para la modelación del personal de salud en los pisos.

2.3.2.1.2 Guardias

Existen un total de 36 guardias en la edificación hospitalaria, los mismos que se dividen en tres grupos de 12 personas. Cada grupo labora en diferentes turnos de 8 horas.

Para la modelación se considerará un total de 9 guardias distribuidos en toda la edificación.

Tres guardias no se considerarán en la modelación del hospital, ya que el programa de evacuación consta solo de la parte interna de la unidad hospitalaria.

2.3.2.1.3 Limpieza y mantenimiento

El número de personas que trabajan en el área de limpieza y mantenimiento en cada piso del hospital se detalla a continuación:

Tabla 2. 2: Personal de limpieza y mantenimiento

PLANTA	PERSONAL DE LIMPIEZA	PERSONAL DE MANTENIMIENTO
Planta subsuelo dos	8 personas	1 persona
Planta baja	2 personas	2 personas
Segundo piso	1 persona	0 personas
Tercer piso	2 personas	1 persona
Cuarto piso	6 personas	0 personas
Quinto piso	1 persona	0 personas
Sexto piso	3 personas	0 personas

Fuente: Hospital Regional Vicente Corral Moscoso y autoría propia

Se considera que el personal de mantenimiento trabaja de manera rotatoria en todos los pisos del hospital. Se suponen 23 personas de limpieza y 4 personas de mantenimiento.

2.3.2.1.4 Cocina y lavador de vajilla

El área de cocina está conformada aproximadamente por 7 personas, las mismas que serán consideradas en la modelación.

2.3.2.1.5 Lavandería

Trabajan 7 personas en el área de lavandería, las mismas que se encargan de la recolección y el traslado de la ropa de las diferentes especialidades que conforman la unidad hospitalaria.

2.3.2.1.6 Cafetería, bar

Se supone un número de 4 personas.

2.3.2.1.7 Costureras

En el área de costura laboran alrededor de 5 personas.

2.3.2.1.8 Personal administrativo

Se determinó el número del personal administrativo dependiendo el cargo en cada piso

del hospital:

Tabla 2. 3 Personal administrativo

PLANTA	PERSONAL ADMINISTRATIVO
Planta subsuelo dos	9 personas
Planta baja	15 personas
Segundo piso	41 personas
Tercer piso	3 personas
Cuarto piso	9 personas
Quinto piso	10 personas
Sexto piso	11 personas
Séptimo piso	0 personas

Fuente: Hospital Regional Vicente Corral Moscoso y autoría propia

Se utilizará 98 personas para la modelación del área administrativa.

2.3.2.1.9 Carpintería y taller

No está definido, pero se tomará de 1 a 2 sujetos en cada área.

Se modelarán 13 personas en esta área.

2.3.2.1.10 Laboratorio clínico

Son personas ambulatorias, por lo que se considerarán un mínimo de 7 personas.

2.3.2.2 Visitas (familiares de pacientes internos)

Se consideró un mínimo de 2 familiares por cada paciente, ya que por lo general los pacientes están acompañados de 2 o más personas, estimándose un total de 285 visitas.

2.3.2.3 Pacientes

Cuando ingresan los pacientes a la unidad hospitalaria se procede a realizar un triage, en el que se clasifica a los pacientes en base a diferentes criterios como son: edad, grado de movilidad, consumo de recursos, diagnóstico, entre otros.



Existen Sistemas de Clasificación de Pacientes (SCP) para las diferentes áreas de un centro hospitalario, y entre los SCP se encuentran: Grupos Relacionados por el Diagnóstico (GRD), Disease Stating y Patient Management Categories, siendo el primero el de mayor difusión y uso internacional (Pinedo, 2013).

Los sistemas de clasificación de pacientes miden el consumo de recursos y la productividad asistencial, estableciendo un orden de atención a cada paciente en las diferentes áreas del hospital, sin existir un criterio oficial que los clasifique en función a su vulnerabilidad en caso de una evacuación masiva. También se clasifica a los pacientes por el tipo de patología que presenten, el tiempo que vayan a estar internados o el tratamiento médico que necesiten (Martínez Valdés, y otros, 2010) y (Sánchez Parra, Franco, Alvarez, & Recuero, 2013).

En el proceso de evacuación, la clasificación que caracteriza a los pacientes está ligada al grado de movilidad de los mismos, ya que es una característica primordial para la evacuación parcial o total de las instalaciones hospitalarias (Morales Soto, 2000) y (Desastres, 2009).

Tipos de pacientes

- **Pacientes con movilidad reducida:** tienen dificultad para desplazarse por sí solos, por lo que necesitan la ayuda parcial del personal para poder movilizarse.
- **Pacientes ambulantes:** son aquellos pacientes que pueden movilizarse dentro de las instalaciones sin la ayuda de otra persona.
- **Pacientes no ambulantes:** no pueden movilizarse por sus propios medios, por lo que necesitan de personal y medios auxiliares para su traslado.
- **Pacientes conectados a quipos de soporte vital:** en el caso de producirse una emergencia que requiera la evacuación de las instalaciones hospitalarias, pueden darse dos casos: el primero es que se puedan desconectar a los paciente de los equipos de soporte vital, convirtiéndose en uno de los casos anteriores, o caso

contrario que el paciente necesite de personal calificado para poder evacuar el hospital (Pinedo, 2013) y (Salud, 2009).

Se han dado casos en los que por la gravedad de los pacientes y el riesgo que trae movilizarlos fuera de las instalaciones hospitalarias, se ha tenido que recurrir a un lugar seguro de la edificación llamado refugio de evacuación (Pinedo, 2013) y (Salud, 2009).

Medios de traslado de los pacientes

Son considerados como medios de traslado de los pacientes las sillas de ruedas, camillas o las camas en las que se encuentran.

2.3.2.3.1 Pacientes internos

El número de pacientes internos se consideró de acuerdo al número de camas existentes en cada piso de la edificación hospitalaria.

2.3.2.3.1.1 Número de camas por piso

Tabla 2. 4 Número de camas por piso

PLANTA	NÚMERO DE CAMAS POR PISO		
	DERECHA	IZQUIERDA	TOTAL
Planta subsuelo dos	28	39	67
Planta baja	31	0	31
Segundo piso	37	0	37
Tercer piso	31	28	59
Cuarto piso	28	22	50
Quinto piso	3	9	12
Sexto piso	24	15	39
TOTAL	172	113	285

Fuente: Hospital Regional Vicente Corral Moscoso y autoría propia

En la modelación se consideró solo a pacientes que pueden evacuar por sus propios medios. La mayoría de pacientes en estado crítico están internados en la parte derecha del hospital, por lo tanto se tomó un total de 172 pacientes, que son los que corresponden al lado izquierdo de la edificación y 10 pacientes localizados en la parte derecha, que corresponderían a las pacientes de ginecología.

Se consideraron 182 pacientes internados para realizar la simulación de la evacuación de la unidad hospitalaria.

2.3.2.3.2 Pacientes en consulta externa

Mediante la documentación adquirida en la edificación hospitalaria, se procedió a determinar un promedio por hora de pacientes que acuden diariamente al hospital. En los expedientes se detalla el total de pacientes que fueron atendidos en el área de consulta externa durante el período de enero a junio del presente año.

El número de pacientes atendidos en consulta externa en el período de enero a junio es de 83.022 pacientes, a continuación se detalla el cálculo de los pacientes considerados:

Tabla 2. 5: Pacientes atendidos en consulta externa de enero a junio 2018

Mes	N° DÍAS LABORABLES
Enero	22
Febrero	18
Marzo	20
Abril	20
Mayo	22
Junio	21
Total	123

Fuente: Hospital Regional Vicente Corral Moscoso

$$\text{Pacientes atendidos por día} = \frac{83022 \text{ pacientes}}{123 \text{ días}}$$

$$\text{Pacientes atendidos por día} = 675 \frac{\text{pacientes}}{\text{día}}$$

$$\text{Pacientes atendidos por hora} = \frac{675}{8}$$

$$\text{Pacientes atendidos por hora} = 85 \frac{\text{pacientes}}{\text{hora}}$$

Se obtiene un total de 85 pacientes que son atendidos en consulta externa cada hora.

2.3.2.4 Acompañantes de pacientes externos

La mayoría de pacientes que acuden a la edificación hospitalaria van acompañadas por uno o dos personas y en ciertos casos van con más de dos acompañantes; se consideró un factor de 1.5 adicional al número de pacientes en consulta externa:

$$\text{Total de acompañantes de pacientes externos} = (1.5 * 85)$$

Total de acompañantes de pacientes externos = 128 acompañantes/hora

2.3.3 Modelación de la evacuación de los ocupantes

En el literal anterior, se calculó el número total de ocupantes del hospital, considerando el personal de salud en general, pacientes internos y externos, visitas y acompañantes de pacientes externos.

Para la modelación de los ocupantes, se realizaron varios registros a diferentes horas del día y en diferentes días, obteniéndose el mayor número de usuarios en el horario de visitas de 10H00 - 11H00 am.

2.3.3.1 Velocidad de paso de las personas que acuden a consulta externa

Se calculó una velocidad promedio de los usuarios mediante la determinación de un tamaño muestral para la optimización de recursos.

Un tamaño de muestra demasiado grande representa un desperdicio de recursos materiales y humanos. Además la calidad del estudio, dado dicho incremento, puede verse afectada en un sentido negativo (Valdivieso Taborga, Castellón Valdivieso, & Valdivieso Taborga, 2011).

Un tamaño demasiado pequeño es un desperdicio de esfuerzo, pues no podrá detectar un efecto significativo o se tendrán menos probabilidades de hacerlo (Valdivieso Taborga, Castellón Valdivieso, & Valdivieso Taborga, 2011).

2.3.3.1.1 Determinación del tamaño de la muestra

Para calcular el tamaño de la muestra suele utilizarse la siguiente ecuación (1):

$$n = \frac{N\sigma^2 Z^2}{(N-1)e^2 + \sigma^2 Z^2} \text{ ecuación (1)}$$

Donde:

n = el tamaño de la muestra.

N = tamaño de la población.

σ = desviación estándar de la población que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor constante de 0,5.

Z = valor obtenido mediante niveles de confianza. Es un valor constante que, si no se tiene su valor, se lo toma en relación al 95% de confianza equivale a 1,96 (como más usual) o en relación al 99% de confianza equivale 2,58, valor que queda a criterio del investigador.

Tabla 2. 6 Niveles de confianza

Nivel de confianza deseado	Valor de Z
80%	1.28
85%	1.44
90%	1.65
95%	1.96
99%	2.58

Fuente: (Suarez Ibujés, 2004)

e = límite aceptable de error muestral, cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor que varía entre el 3% (0,03) y 5% (0,05), valor que queda a criterio del encuestador.

La fórmula del tamaño de la muestra se obtiene de la ecuación (2) para calcular la estimación del intervalo de confianza para la media, la cual es:

$$\bar{X} - Z \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \leq \mu \leq \bar{X} + Z \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \text{ ecuación (2)}$$

De donde el error es la ecuación (3):

$$e = Z \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \text{ ecuación (3)}$$

Para calcular el tamaño de la muestra es la siguiente ecuación (4):

$$n = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{e^2(N-1) + Z^2 \sigma^2} \text{ ecuación (4)}$$

(Suarez Ibujés, 2004).

Reemplazando los valores:

$$e = 0.05$$

$$N=213$$

$$\sigma= 0.5$$

$$Z= 1.96$$

$$n = \frac{(1.96)^2 * (0.5)^2 * (213)}{(0.05)^2(213 - 1) + (1.96)^2(0.5)^2}$$

$$n = 137 \text{ personas}$$

2.3.3.1.2 Clasificación de la muestra

A partir del tamaño de la muestra calculado en el literal anterior, se sacó un porcentaje según el tipo de paciente y acompañante que asiste a consulta externa; se consideraron usuarios con diferentes capacidades físicas e intelectuales:

Tabla 2. 7 Clasificación de la muestra

CLASIFICACIÓN DE PERSONAS	PORCENTAJE	NÚMERO DE PERSONAS
Niños	21%	28
Jóvenes y adultos	50%	69
Tercera edad	13%	18
Personas con discapacidad	9%	12
Embarazadas	5%	7
Personas en sillas de rueda	2%	3
TOTAL	100%	137

Fuente: Autoría propia



2.3.3.1.3 Cálculo de la velocidad de paso

Con la ayuda de un cronómetro se tomaron los tiempos que tardan cada uno de los usuarios en dar un paso y se sacó un promedio de tiempo en cada caso.

También se consideró una distancia promedio de pisada para cada tipo de persona considerada anteriormente. Para el cálculo de la velocidad de cada peatón, se usó la fórmula de la velocidad de Movimiento Rectilíneo Uniforme (MRU).

Por último se procedió a poner las diferentes velocidades de las personas en el software de evacuación.

Tabla 2. 8: Cálculo de la velocidad de paso

	CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE PASO					
	NIÑOS	JOVENES Y ADULTOS	TERCERA EDAD	PERSONAS CON DISCAPACIDAD	EMBARAZADAS	SILLA DERUEDAS
	0.48	0.54	0.58	0.55	0.62	0.63
	0.45	0.49	0.5	0.6	0.7	0.56
	0.46	0.66	0.5	0.65	0.72	0.64
	0.62	0.79	0.46	0.52	0.68	
	0.43	0.59	0.45	0.52	0.65	
	0.49	0.42	0.5	0.59	0.67	
	0.4	0.53	0.5	0.53	0.66	
	0.53	0.55	0.54	0.5		
	0.4	0.5	0.52	0.6		
	0.39	0.49	0.52	0.62		
	0.39	0.55	0.52	0.58		
	0.42	0.51	0.52	0.65		
	0.35	0.5	0.6			
	0.38	0.5	0.56			
	0.39	0.55	0.47			
	0.38	0.57	0.45			
	0.36	0.58	0.6			
	0.4	0.52	0.55			
	0.36	0.53				
	0.36	0.5				
	0.41	0.53				
	0.35	0.55				
	0.35	0.57				
	0.35	0.53				
	0.38	0.52				
	0.35	0.56				
	0.36	0.53				
	0.36	0.51				
		0.56				
		0.5				
		0.53				
		0.5				
		0.5				
		0.53				
		0.58				
		0.56				
		0.5				
		0.58				
		0.53				
		0.53				
		0.55				
		0.53				
		0.58				
		0.52				
		0.58				
		0.52				
		0.56				
		0.59				
		0.52				
		0.52				
		0.54				
		0.45				
		0.61				
		0.58				
		0.52				
		0.55				
		0.59				
		0.59				
		0.58				
		0.58				
		0.59				
		0.57				
		0.6				
		0.58				
		0.55				
		0.5				
		0.5				
		0.51				
		0.59				
Promedio tiempo (seg)	0.405	0.545	0.519	0.580	0.680	0.610
Distancia de paso (m)	0.3	0.45	0.3	0.35	0.45	0.45
Velocidad (m/seg)	0.74	0.83	0.58	0.60	0.66	0.74

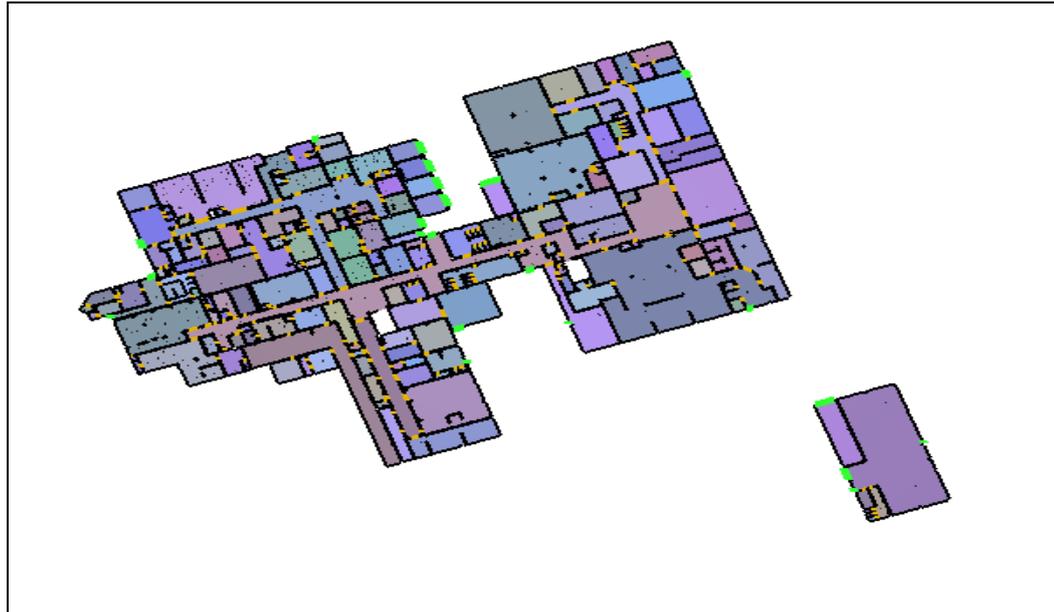
Fuente: Autoría propia

2.3.3.2 Velocidad de paso del personal del hospital

Se considera que el personal de hospital está dentro de un rango de edad de 20 a 65 años, por lo que son considerados como adultos según la clasificación anterior. La velocidad de paso del personal considerada en el software es de $0.85 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$.

2.3.3.3 Modelación en el simulador

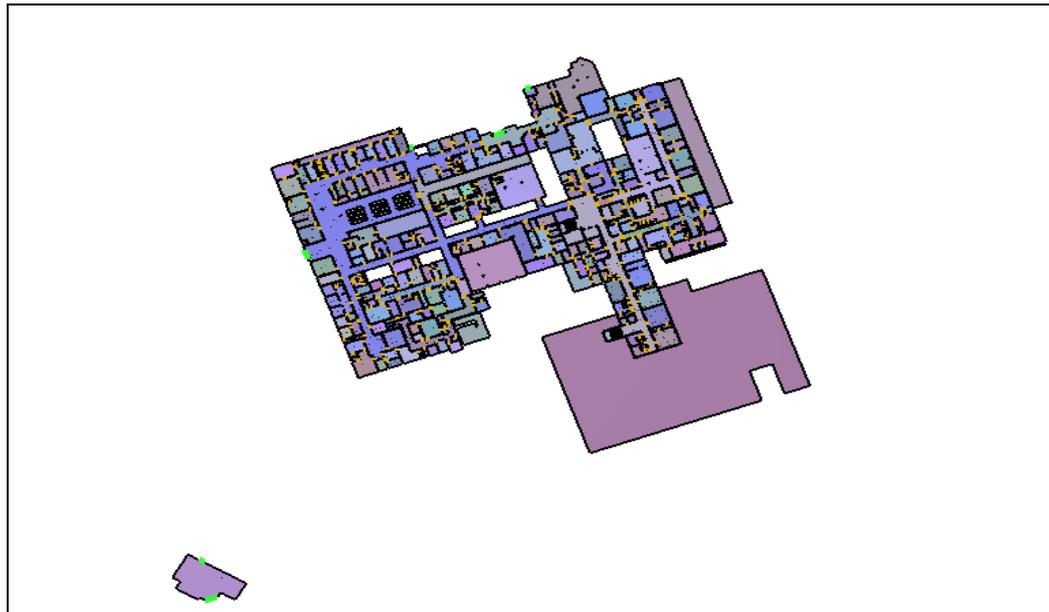
Se muestra el resultado final de la modelación de la unidad hospitalaria.



MAQUETA VIRTUAL	Modelación del piso del subsuelo	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 2. 11: Modelación final del subsuelo

Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación del primer piso	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
			Escala: Las indicadas

Figura 2. 12: Modelación final del primer piso

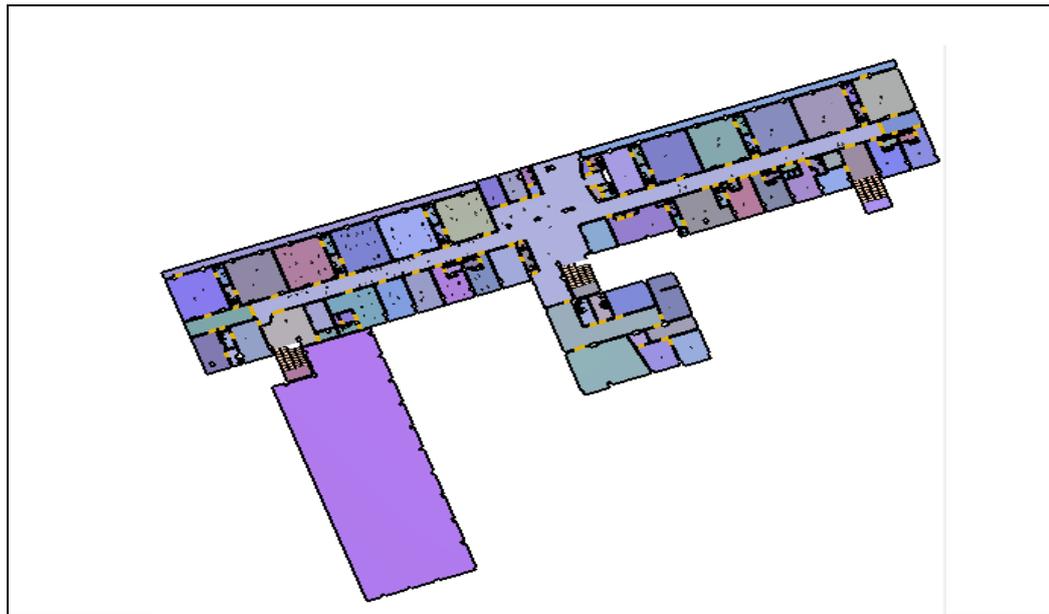
Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación del segundo piso	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
			Escala: Las indicadas

Figura 2. 13: Modelación final del segundo piso

Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación del tercer piso	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
			Escala: Las indicadas

Figura 2. 14: Modelación final del tercer piso

Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación del cuarto piso	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
			Escala: Las indicadas

Figura 2. 15: Modelación final del cuarto piso

Fuente: Autoría propia

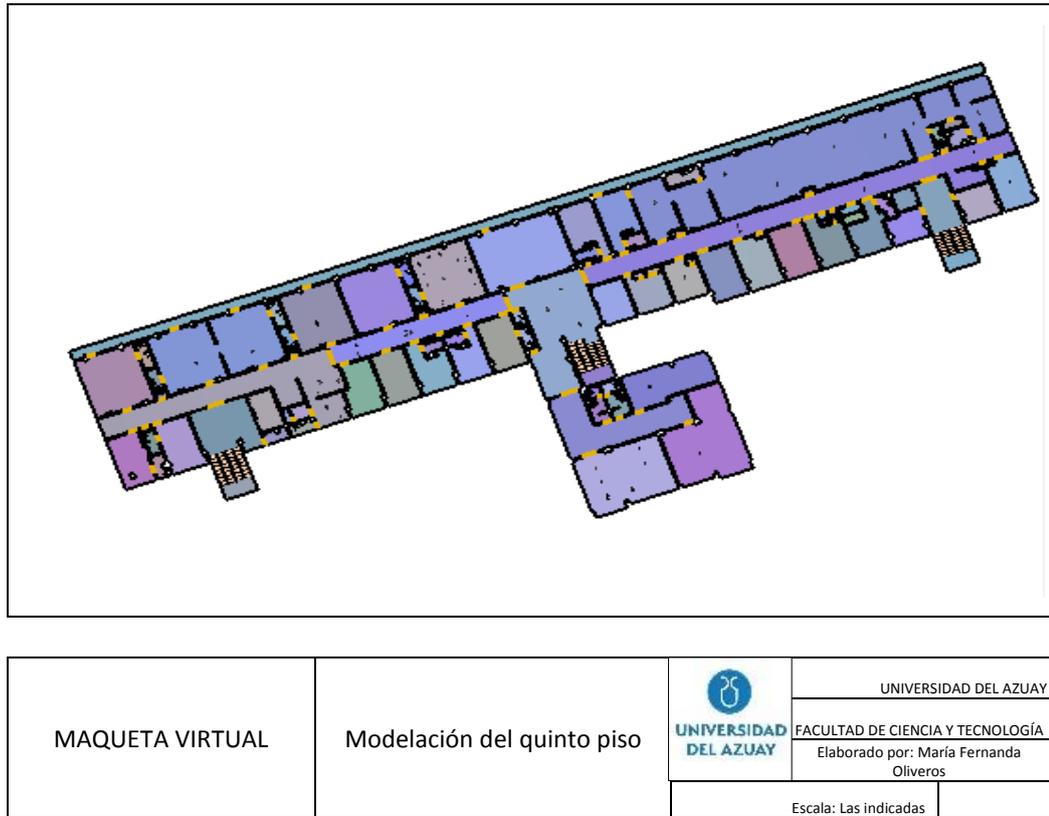


Figura 2. 16: Modelación final del quinto piso

Fuente: Autoría propia

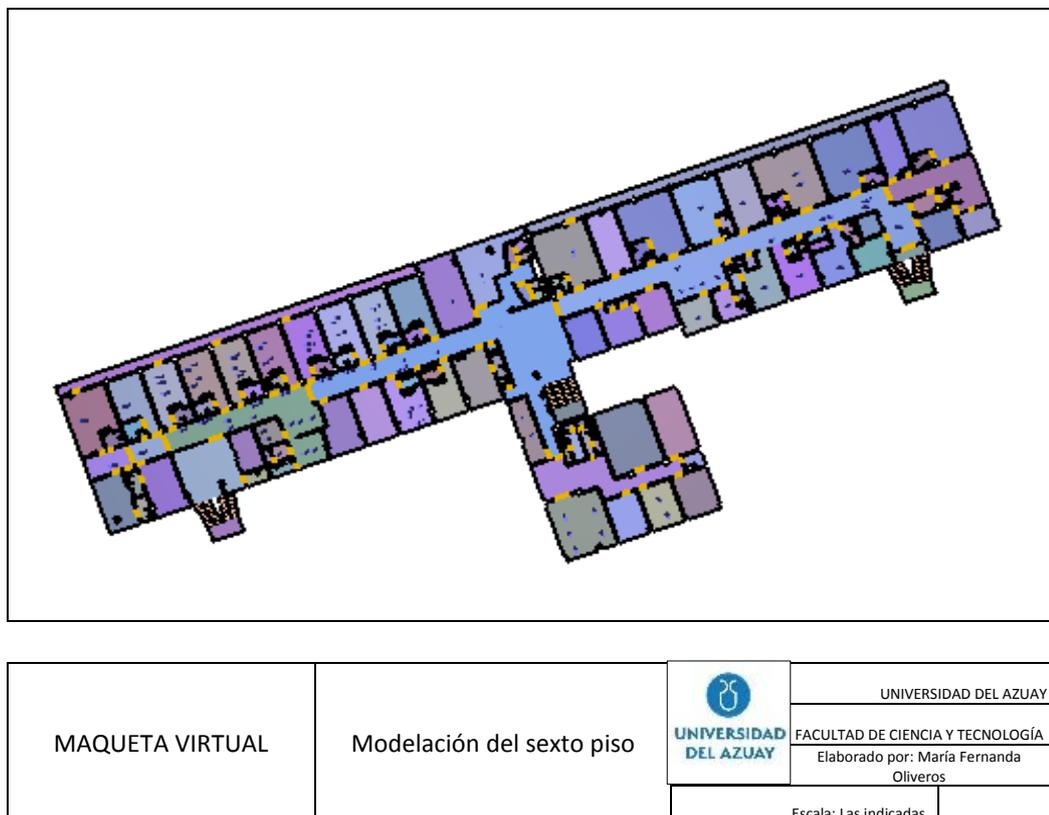
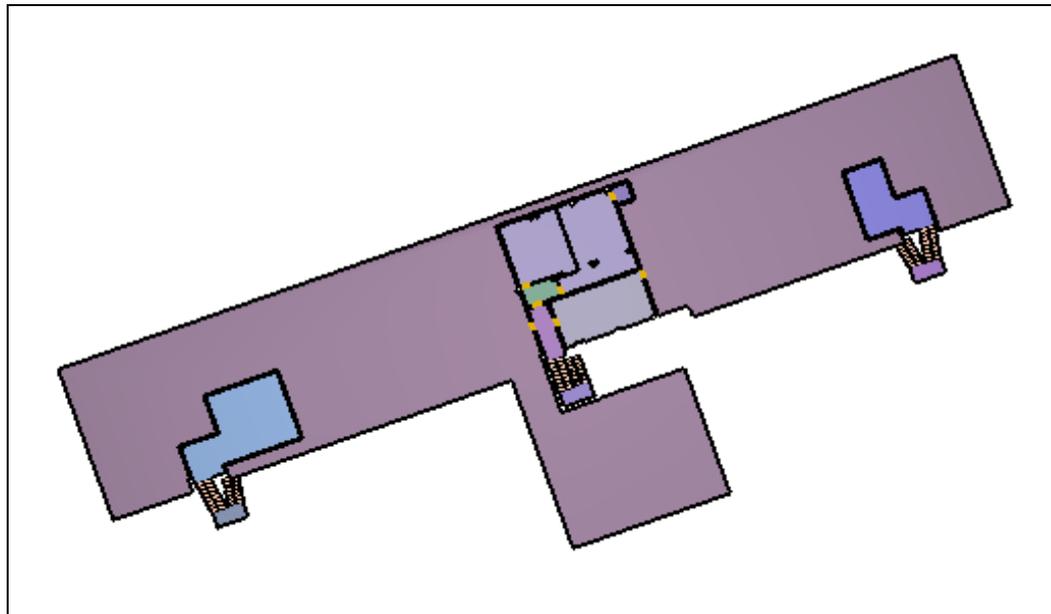


Figura 2. 17: Modelación final del sexto piso

Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Modelación del séptimo piso	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 2. 18: Modelación final séptimo piso

Fuente: Autoría propia

2.3.3.4 Triage

En toda unidad hospitalaria, es necesario contar con un “plan de evacuación hospitalaria”, por lo que es de gran importancia saber cuándo se debe tomar la decisión de evacuar y sobretodo cómo se debe realizar la evacuación.

El objetivo de una evacuación es disminuir pérdidas de vidas humanas, dando prioridad a los enfermos, familiares, personal de salud y luego a los expedientes y bienes del hospital.

Para poder desalojar a los pacientes de las áreas críticas, como son las unidades de medicina crítica, salas de cirugía, unidades neonatales, unidades de aislados (infecto contagiosos) y unidades de hemodiálisis, se debe tener en cuenta el tipo de patología que presenta el paciente, la amplitud de la ruta de evacuación a seguir, los medios disponibles para la evacuación (camillas o sillas de ruedas), el tipo de desplazamiento



que se debe realizar (horizontal o vertical) y la premura de tiempo que se tiene. Ante un evento catastrófico, muchas de estas personas no podrán salir del hospital, debido a la complejidad de los equipos que necesitan para poder permanecer estables, por ello, estos usuarios serían los últimos en evacuar (Desastres, 2009), (Martínez Valdés, y otros, 2010) y (Salud, 2009).

2.4 Análisis en corredores, puntos críticos, escaleras, entre otras

Ante la presencia de un evento catastrófico, lo ideal sería realizar una evacuación inmediata de la totalidad de los individuos que están en la edificación hospitalaria, pero debido al estado de salud en el que se encuentran, esto es poco probable. A continuación se hablará de los diferentes problemas que pueden ocasionar un congestionamiento al momento de una evacuación masiva en el hospital.

Al iniciar una evacuación masiva, se van a congestionar las salidas, las escaleras y los corredores, ya que el ancho de las puertas localizadas en los pasillos limita el flujo en los mismos, provocando cuellos de botella y por ende demoras en la evacuación.

No se cuenta con escaleras externas de emergencia, siendo éste un factor importante que influye en el congestionamiento de las vías de evacuación.

La mayoría de personas desconocen las salidas de emergencia y las rutas a seguir para llegar hasta ellas, ocasionando entorpecimientos en el flujo de evacuación en las diferentes partes del hospital.

En el caso de un sismo extremo, los ascensores del hospital quedarían deshabilitados, por lo que la única opción de evacuación serían las escaleras.

Al existir una alta concentración de personas en la edificación hospitalaria, se generaría una gran congestión en las puertas de salida, incrementándose considerablemente el tiempo de evacuación.

En la zona de las escaleras, puede haber tropiezos, empujes entre usuarios, caída de objetos cortos punzantes (vidrios), caída de personas, etc. Disminuyendo la velocidad de descenso.

Al estar cerrada una salida de emergencia o fuera de servicio, provocaría un entorpecimiento en cuanto al flujo de evacuación.

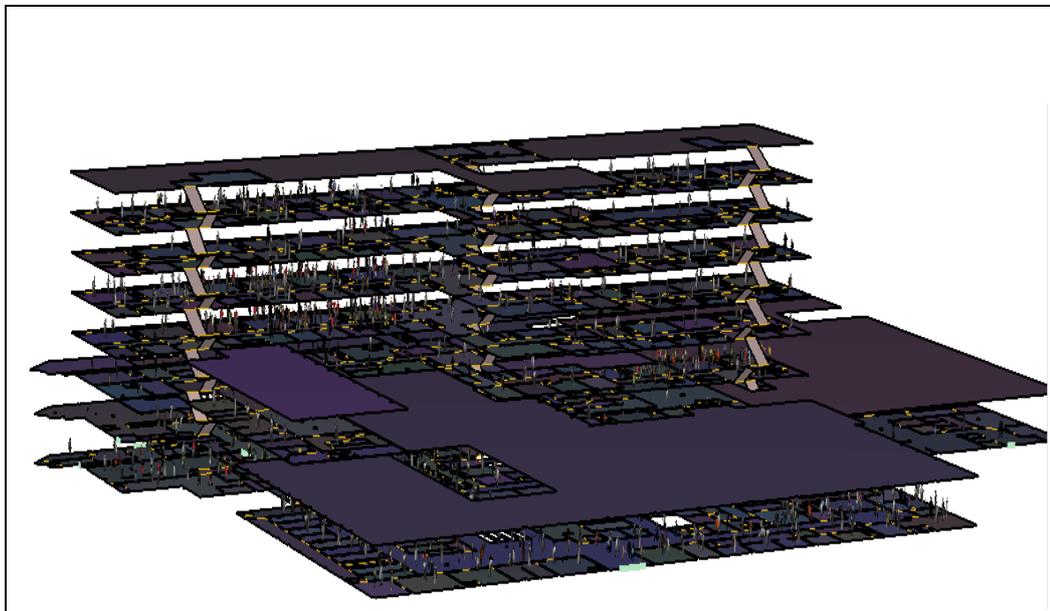
2.5 Cuantificación del tiempo de evacuación

Existen varios factores que incrementan considerablemente el tiempo de evacuación, como son: la altura de las edificaciones, salidas y escaleras congestionadas, obstáculos en el camino, puertas cerradas, presencia de objetos cortantes, puntos críticos, desconocimiento de las salidas, ocupantes en pánico, caída de personas entre otros.

El programa puede generar demoras en el ocupante hasta que sepa que debe evacuar, es decir, el ocupante puede subir o bajar gradas, ir de un lugar a otro o también ingresar personas hasta que empiece la evacuación.

2.5.1 Modelación e interpretación de resultados

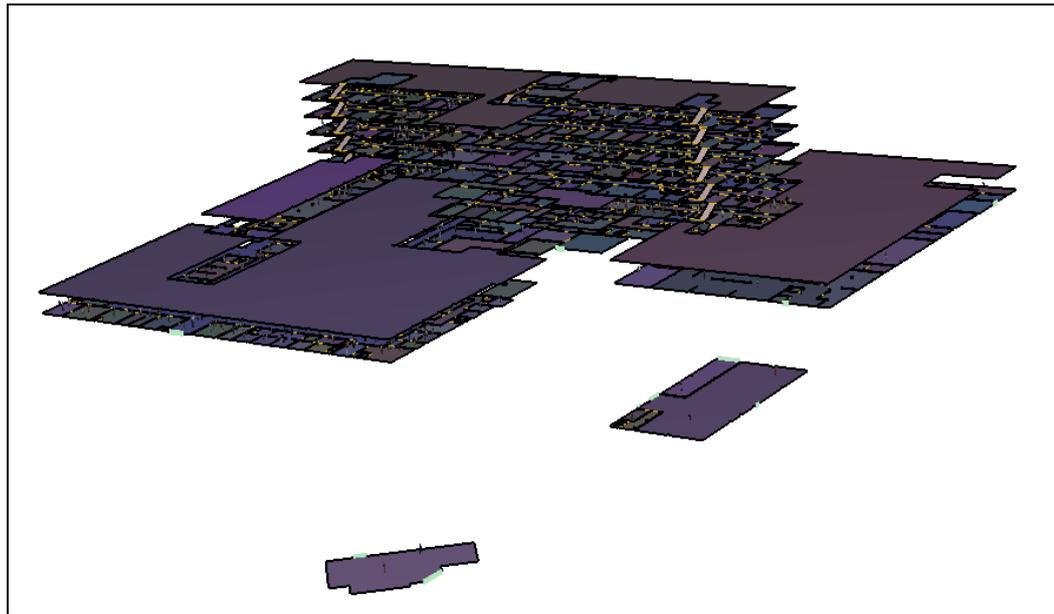
Se realizó la modelación de la evacuación en el Hospital Regional Vicente Corral Moscoso, en dónde no se consideró la evacuación de los pacientes en estado crítico, consiguiendo que la modelación de la evacuación sea semejante a la realidad, como podemos observar en las siguientes imágenes:



MAQUETA VIRTUAL	Vista uno de modelación 3D	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 2. 19: Vista uno de la modelación en 3D

Fuente: Autoría propia



MAQUETA VIRTUAL	Vista dos modelación 3D		UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
			Escala: Las indicadas

Figura 2. 20: Vista dos de la modelación en 3D

Fuente: Autoría propia

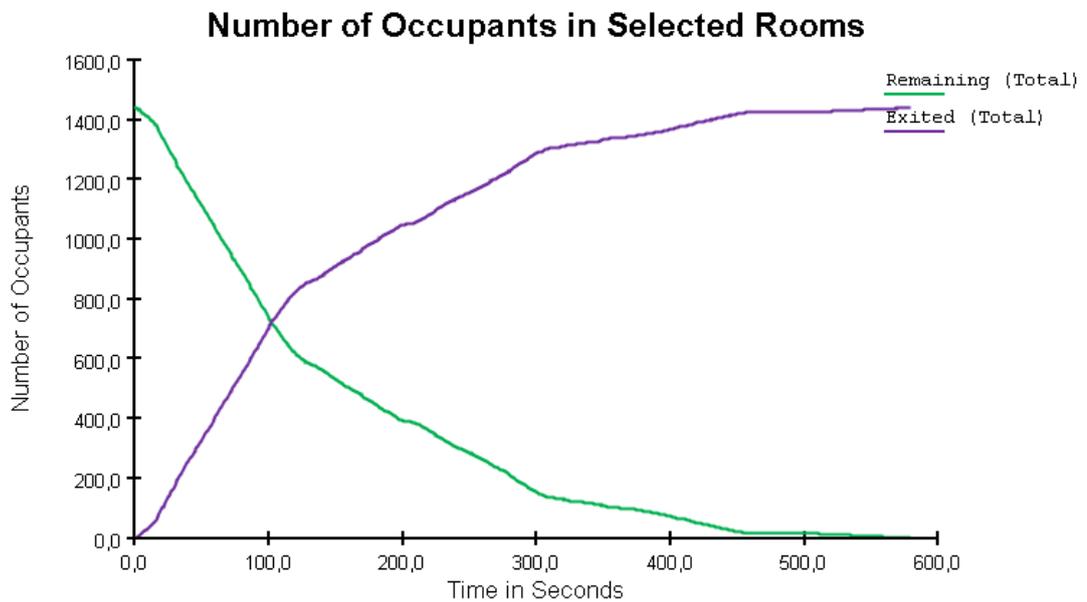


Figura 2. 21: Número de ocupantes en habitaciones seleccionadas

Fuente: Autoría propia (software)

En la figura 2.21, la línea de color verde, representa el número de personas que no han evacuado aún la edificación hospitalaria en un determinado tiempo, mientras que la

línea de color morado, representa, el número de personas evacuadas, respecto al tiempo.

2.5.2 Densidad de personas

La densidad varía de acuerdo a la cantidad de personas que se encuentran en un lugar específico. La densidad se incrementa en espacios reducidos, pasillos, escaleras y sobretodo en las puertas de salida. En seguida se presentan imágenes en dónde se muestra como varía la densidad en función del tiempo:



Densidad de ocupantes	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
	FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros	
	Escala: Las indicadas	

Figura 2. 22: Densidad de los ocupantes en el tiempo 0 seg

Fuente: Autoría propia



	Densidad de ocupantes	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 2. 23: Densidad de los ocupantes en el tiempo 10,7 seg

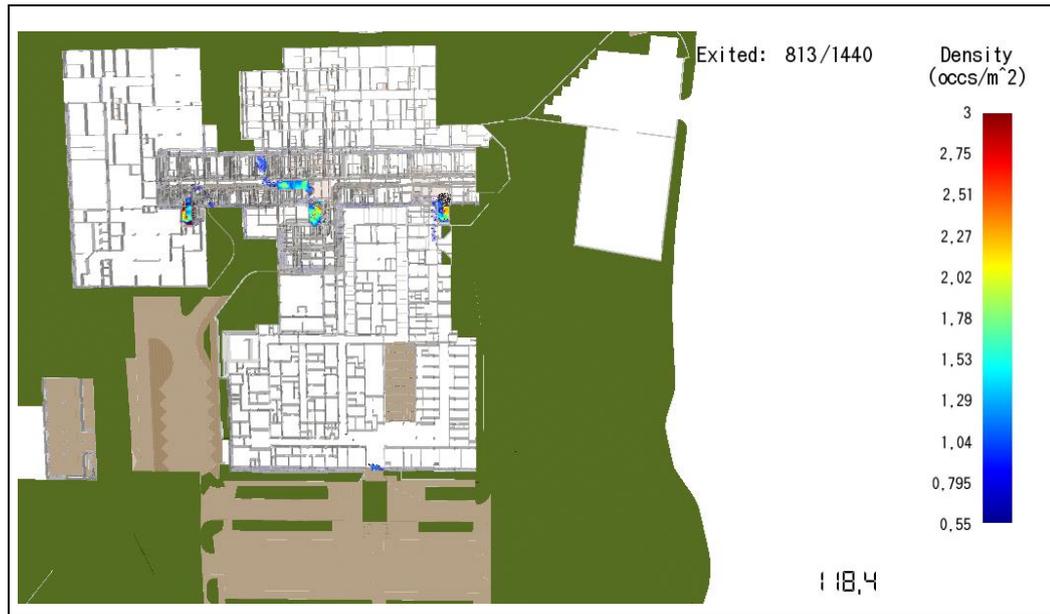
Fuente: Autoría propia



	Densidad de ocupantes	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

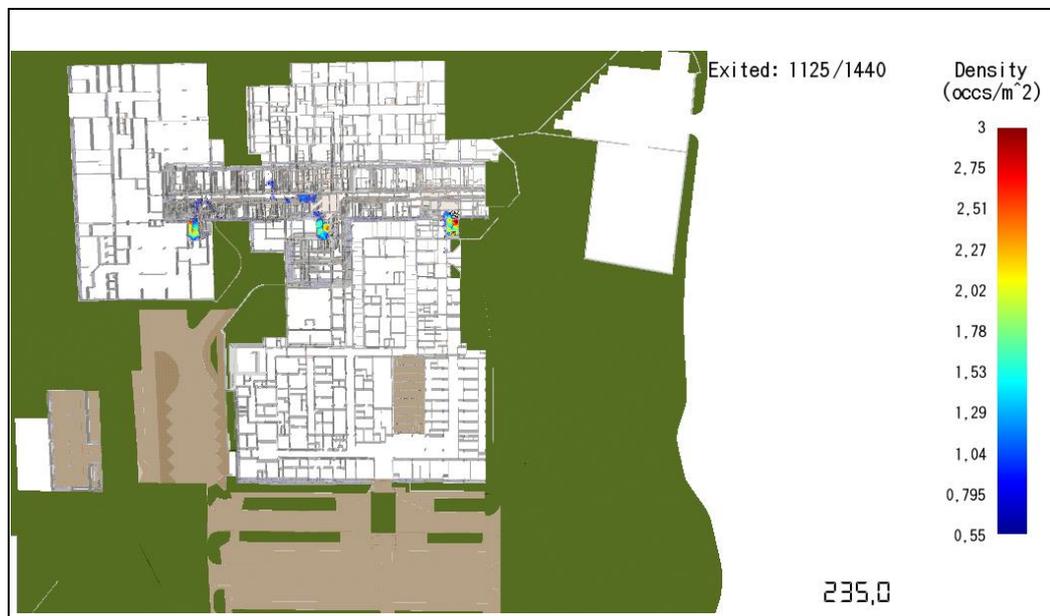
Figura 2. 24: Densidad de los ocupantes en el tiempo 35,1 seg

Fuente: Autoría propia



Densidad de ocupantes		UNIVERSIDAD DEL AZUAY
		FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas

Figura 2. 25: Densidad de los ocupantes en el tiempo 118,4 seg
 Fuente: Autoría propia



Densidad de ocupantes		UNIVERSIDAD DEL AZUAY
		FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas

Figura 2. 26: Densidad de los ocupantes en el tiempo 235,0 seg



Fuente: Autoría propia

2.5.3 Persona más alejada y más cercana (distancia, tiempo)

Las personas localizadas en lugares cercanos a las salidas fueron las primeras en evacuar la edificación hospitalaria, con un tiempo mínimo de 1.4 seg; mientras que la persona más alejada a la puerta de salida tardó un tiempo de 577,8 seg.

La distancia mínima de la persona más cercana a la salida es de 0,7 m y la distancia máxima de la persona más alejada a la salida es 167,4 m.

2.5.3.1 Tiempos de evacuación desde las puertas de salida a los puntos de encuentro

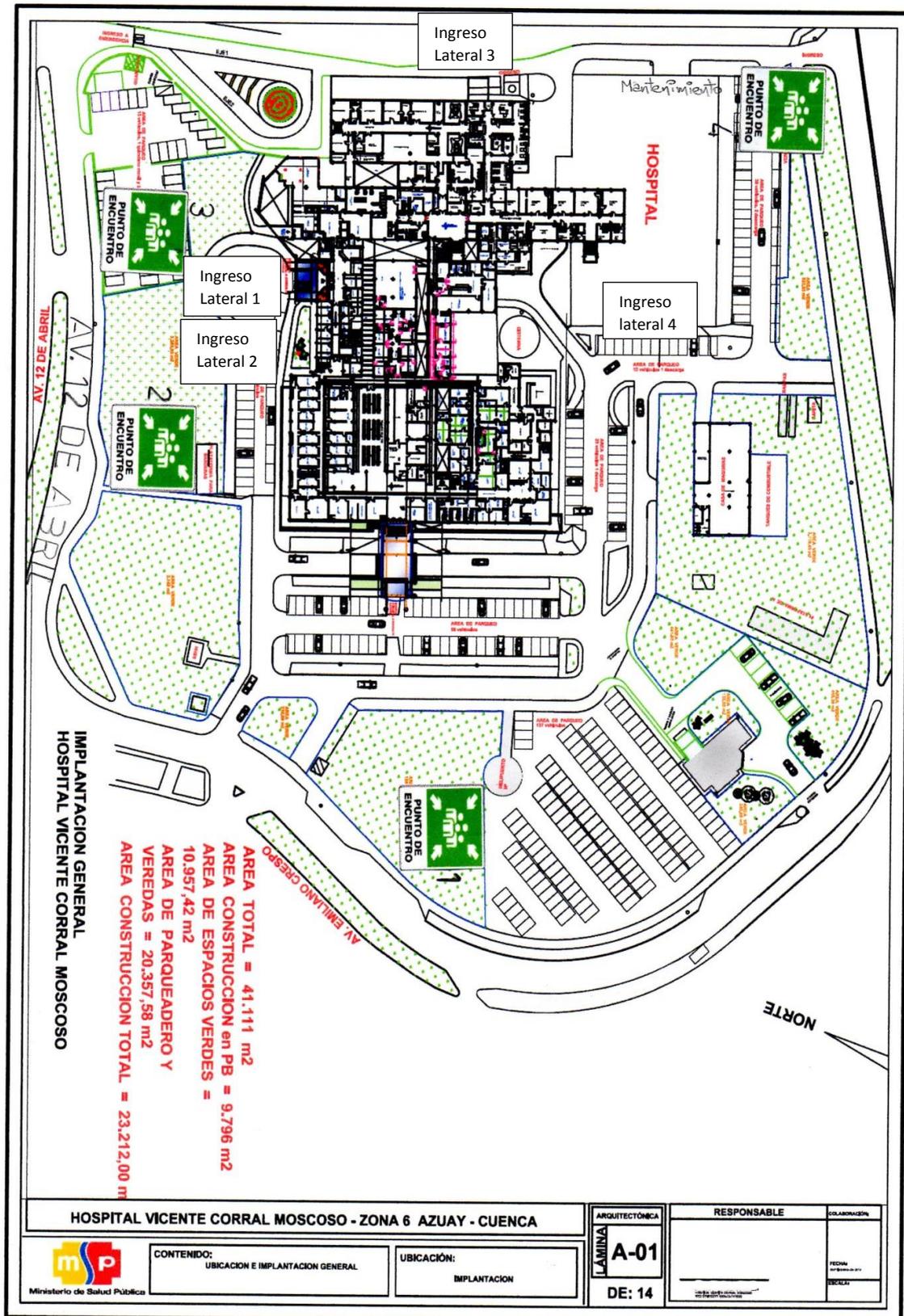


Figura 2. 27: Ubicación de los puntos de encuentro de la unidad hospitalaria

Fuente: Hospital Regional Vicente Corral Moscoso

El software de evacuación no considera el tiempo que tardan los ocupantes en ir desde las diferentes puertas de salida hasta los puntos de encuentro, para considerar estos tiempos, se usó un cronómetro y se procedió a tomar un tiempo promedio desde cada salida hasta los diferentes puntos de encuentro detallados en la figura 2.27.

A continuación se presentan los tiempos promedio que tardan los ocupantes en llegar desde las diferentes salidas hasta los puntos de encuentro más cercanos, los mismos que fueron calculados por la tesista.

Tabla 2. 9: Tiempos que tardan las personas en llegar a los puntos de encuentro desde las salidas

TIEMPOS QUE TARDAN LAS PERSONAS EN LLEGAR A LOS PUNTOS DE ENCUENTRO DESDE LAS SALIDAS		
SALIDAS	PUNTOS DE ENCUENTRO	TIEMPO
Ingreso principal a consulta externa	Punto de encuentro 1	53 seg
Ingreso lateral 4	Punto de encuentro 1	152 seg
Ingreso lateral a consulta externa 1	Punto de encuentro 2	55 seg
Ingreso lateral a consulta externa 2	Punto de encuentro 2	42 seg
Ingreso lateral 3	Punto de encuentro 4	80 seg
Puerta de emergencia	Punto de encuentro 3	53 seg

Fuente: Autoría propia

2.5.4 Tiempo final de evacuación

Se consideraron 1440 personas evacuadas en la modelación con el software de evacuación. No se consideró la evacuación de los pacientes cuyo estado de salud es crítico, ya que lo mejor para ellos sería permanecer en el interior de la edificación hospitalaria, debido a la complejidad en su traslado.

El tiempo total que duró la evacuación es de 577.80 seg, equivalente a 9.63 min.



MAQUETA VIRTUAL	Hospital Regional “Vicente Corral Moscoso”	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
			Escala: Las indicadas

Figura 2. 28: Modelación final de la unidad hospitalaria

Fuente: Autoría propia

2.5.5 Modelación del hospital en el software especializado variando la velocidad de paso de los ocupantes en función de un simulacro real

Anteriormente se realizó la modelación del hospital regional “Vicente Corral Moscoso” considerando una distancia de pisada promedio de las personas en función de su edad y su estado de salud, de la misma manera se tomó el tiempo promedio que tardan los usuarios en dar una pisada. A partir de estos datos, se procedió a calcular velocidades promedio de los usuarios, para realizar la modelación en el software de evacuación.

En el presente literal se realizó la modelación en el software de evacuación utilizando las velocidades del simulacro realizado el día miércoles 31 de octubre del 2018 aproximadamente a las 14H30, donde se obtuvieron los siguientes datos:



Tabla 2. 10: Cálculo de la velocidad de paso de los ocupantes

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE PASO						
NIÑOS	JÓVENES Y ADULTOS	TERCERA EDAD	PERSONAS CON DISCAPACIDAD	EMBARAZADAS	SILLAS DE RUEDA	
0.62	0.71	0.97	1.87	1.17	0.85	
0.55	0.7	0.96	1.9	1.10	0.78	
0.66	0.8	0.88	1.58	1.09	0.79	
0.69	0.8	0.93	1.87	1.14		
0.53	0.76	0.89	1.93	1.11		
0.59	0.7	0.94	1.96	1.14		
0.67	0.75	0.89	1.88	1.13		
0.68	0.72	0.92	1.94			
0.65	0.7	0.95	1.9			
0.62	0.7	0.96	1.95			
0.62	0.72	0.89	1.88			
0.52	0.68	0.95	1.99			
0.51	0.67	0.93				
0.65	0.67	0.9				
0.62	0.72	0.97				
0.54	0.74	0.96				
0.56	0.75	0.98				
0.59	0.69	0.93				
0.58	0.7					
0.67	0.7					
0.55	0.7					
0.62	0.72					
0.62	0.74					
0.64	0.7					
0.65	0.69					
0.59	0.73					
0.65	0.7					
0.52	0.68					
	0.73					
	0.7					
	0.7					
	0.67					
	0.69					
	0.7					
	0.75					
	0.73					
	0.69					
	0.75					
	0.7					
	0.7					
	0.72					
	0.7					
	0.75					
	0.69					
	0.75					
	0.69					
	0.73					
	0.76					
	0.69					
	0.69					
	0.71					
	0.7					
	0.78					
	0.75					
	0.69					
	0.72					
	0.76					
	0.76					
	0.75					
	0.75					
	0.76					
	0.74					
	0.77					
	0.75					
	0.72					
	0.7					
	0.68					
	0.69					
	0.76					
Promedio tiempo (seg)	0.61	0.720	0.933	1.888	1.126	0.807
Distancia de paso (m)	0.30	0.45	0.35	0.35	0.40	0.40
Velocidad (m/seg)	0.495	0.625	0.375	0.185	0.355	0.496

Fuente: Hospital Regional Vicente Corral Moscoso y autoría propia



Al personal de salud, estudiantes, visitas, acompañantes y trabajadores en general de la edificación hospitalaria, se le asignó la velocidad calculada en la tabla anterior equivalente a $0,625 \frac{m}{seg}$, ya que como se indicó anteriormente, se les considera en un rango de edad de 20 a 65 años.

A partir de las velocidades calculadas, se procedió a colocar a cada ocupante la velocidad correspondiente para determinar el tiempo final de evacuación.

2.5.5.1 Tiempo final de evacuación

Evacuaron un total de 1440 personas, en un tiempo aproximado de 798,5seg equivalentes a 13,3 min. De igual manera no se consideró la evacuación de los pacientes en estado crítico.



MAQUETA VIRTUAL	Modelación final del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY	UNIVERSIDAD DEL AZUAY
			FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: María Fernanda Oliveros
		Escala: Las indicadas	

Figura 2. 29: Modelación final del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso con tiempos basados en un simulacro real

Fuente: Autoría propia



2.5.5.2 Persona más alejada y más cercana (distancia, tiempo)

Se obtuvo un tiempo mínimo de evacuación de 1,7 seg y el tiempo máximo de evacuación fue de 798,5 seg.

La distancia mínima considerando a la persona más próxima a la salida es de 0,7 m y la distancia máxima desde la persona más alejada a la salida es 133,0 m.



CAPÍTULO III

COMPARACIÓN TÉCNICA DE EVACUACIÓN VS POSIBILIDAD DE COLAPSO

Según la Organización Panamericana de la Salud “El 67% de los establecimientos de salud de la Región Panamericana están ubicados en zonas de riesgo de desastres; conociéndose que, en promedio, un hospital que no funciona en la región deja a unas 200.000 personas sin atención sanitaria” (OPS & OMS, 2010).

En el presente capítulo se realizará la comparación técnica de evacuación versus la posibilidad de colapso en la edificación hospitalaria en su estado actual y con la implementación de una medida de mitigación. Para ello se recopilará la información necesaria de los trabajos de graduación realizados por los ingenieros Crespo Salcedo Giselle Marsela, Flores Rivera Javier Ricardo, Alvarez Cordero Juan Andrés y Cordero Barzallo Pedro José.

Mediante la utilización del software especializado OpenSees, se realizó el modelo en 3D del análisis dinámico no lineal de la tipología estructural del bloque principal del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”, con el objetivo de observar el efecto presente de torsión, en su estado actual y con la implementación de una medida de mitigación. Para ello se procedió al ingreso de las cargas de acuerdo a la normativa vigente (NEC - Peligro Sísmico, 2015), con el fin de determinar el comportamiento de la edificación ante cargas gravitacionales y accidentales (Crespo Salcedo & Flores Rivera, 2018), (Alvarez Cordero & Cordero Barzallo, 2018).

Se realizaron modelos idealizados tridimensionales, los cuales sustituyen a los pórticos equivalentes. Para ello se escogió el bloque principal de la entidad hospitalaria, debido a su regularidad en planta y en elevación, el mismo que presenta en su configuración estructural una junta constructiva que interviene en el análisis sismo resistente; este presenta la mayor altura entre los bloques que forman parte de la edificación, además de su importancia por la carga de uso al contar con los centros principales de hospitalización, traumatología y emergencia (Crespo Salcedo & Flores Rivera, 2018).



Figura 3. 1 Fotografía satelital Hospital “Vicente Corral Moscoso”

Fuente: Google Earth Pro 2018

Para la generación del modelo idealizado del bloque principal de la estructura hospitalaria, se realizaron una serie de consideraciones, las mismas que se presentan a continuación:

- La información de la geometría y las secciones de los elementos estructurales, se obtuvieron de las investigaciones realizadas por los ingenieros (Fajardo Guapisaca & Vintimilla Molina, 2016) y (Palomino Pulla & Quezada Aguilar, 2017).
- Debido a la presencia de muros de sótano que limitan el movimiento en todas las direcciones, no se consideró lo que está por debajo del nivel cero de la estructura hospitalaria.
- Se dividió al bloque principal en dos sub bloques, debido a la existencia de una junta constructiva de 10 cm de ancho en toda su longitud, los mismos que fueron llamados como bloque A y bloque B, respectivamente.

- Para facilitar la codificación y modelación del bloque principal en el software OpenSees, al modelo original se le redujo los volados y las escaleras de emergencia, al ser considerados como elementos no estructurales (Alvarez Cordero & Cordero Barzallo, 2018) y (Crespo Salcedo & Flores Rivera, 2018).

Se muestra la geometría del bloque principal de la entidad hospitalaria y la ubicación de la junta constructiva que divide al bloque principal en los bloques A y B respectivamente:

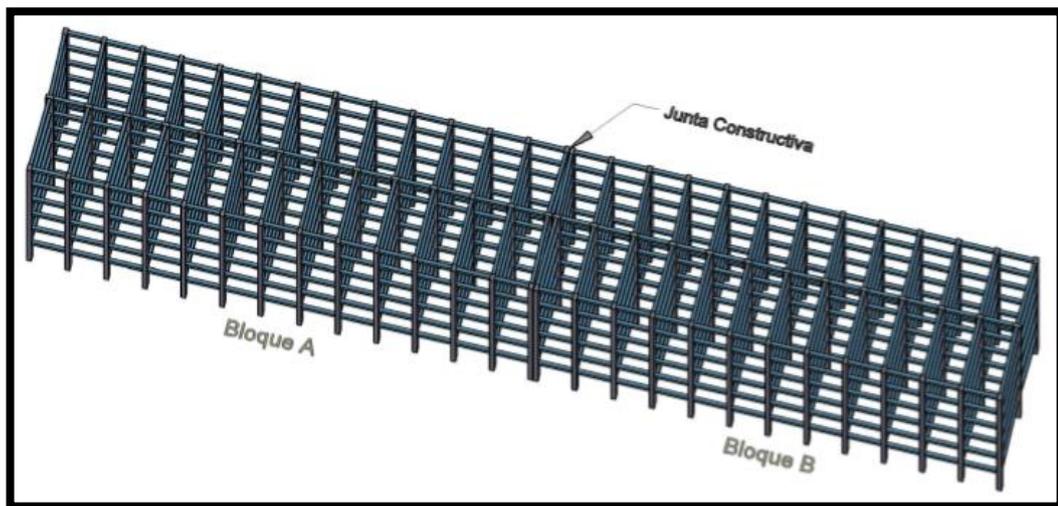


Figura 3.2: Vista 3D del bloque principal a ser analizado

Fuente: (Crespo Salcedo & Flores Rivera, 2018).

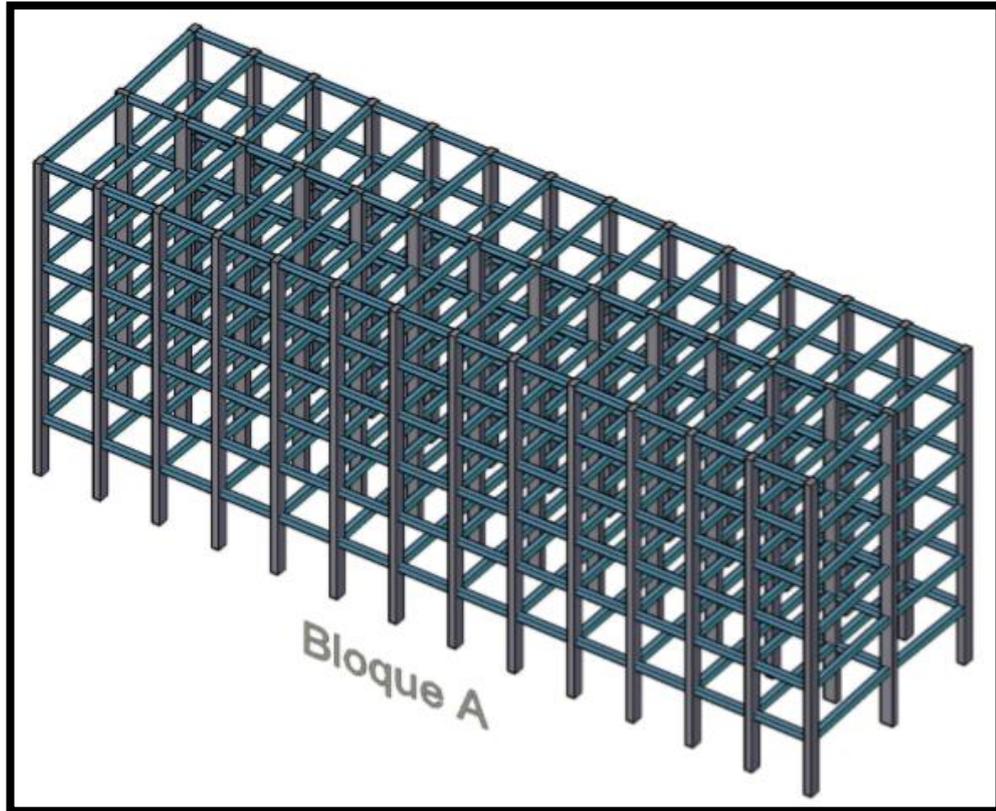


Figura 3.3: Vista en 3D del sub bloque A
Fuente: (Crespo Salcedo & Flores Rivera, 2018)

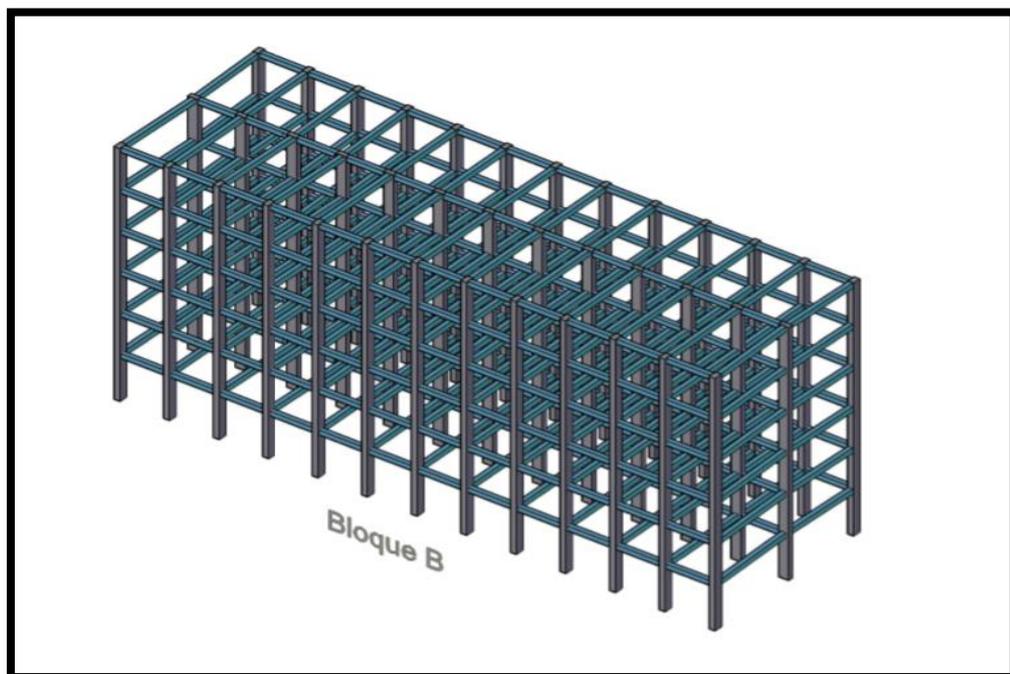


Figura 3.4: Vista en 3D del sub bloque B
Fuente: (Crespo Salcedo & Flores Rivera, 2018)

- Junta Constructiva:

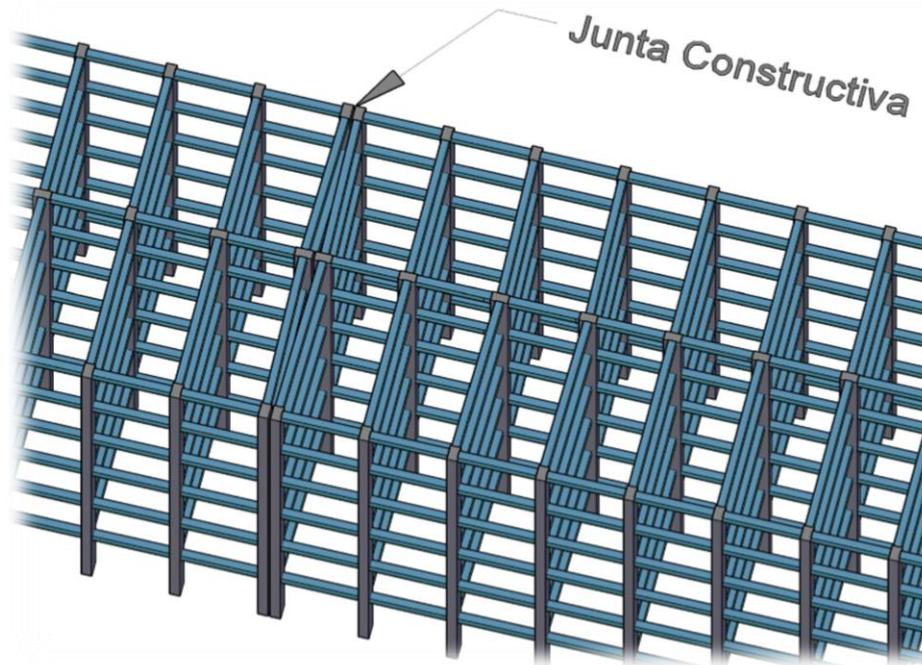


Figura 3. 5: Ampliación en la vista 3D de la junta constructiva

Fuente: (Crespo Salcedo & Flores Rivera, 2018)

De la misma manera se recopiló información de los detalles constructivos de la edificación, como son vigas, columnas y losa.

Seguidamente, se procedió a recopilar la información correspondiente a las cargas gravitacionales y accidentales que están establecidas en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-2015), en el capítulo 1 “Cargas (No Sísmicas)” y capítulo 2 “Cargas Sísmicas y Diseño Sismo Resistente”.

En cuanto al tipo de suelo en el que se encuentra emplazada la estructura hospitalaria, según el ensayo SPT realizado por (Fajardo Guapisaca & Vintimilla Molina, 2016), se clasifica al suelo donde está construido el Hospital Vicente Corral Moscoso como tipo C, y tiene un coeficiente de importancia equivalente a 1.5 que pertenece a la categoría de edificaciones esenciales (Alvarez Cordero & Cordero Barzallo, 2018) y (Crespo Salcedo & Flores Rivera, 2018).



3.1 Sistematización de la información del comportamiento no lineal en 3D del hospital en estado actual

Se procederá a la sistematización del “Análisis dinámico no lineal en 3D del hospital regional “Vicente Corral Moscoso” de la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay en el estado actual que presenta la estructura.”, por parte de los ingenieros Crespo Salcedo Giselle Maricela y Flores Rivera Javier Ricardo.

En este trabajo de graduación se realizó el análisis dinámico no lineal de la edificación de manera tridimensional, en contraste con los estudios de pórticos planos realizados en investigaciones anteriores del hospital regional “Vicente Corral Moscoso”. Esto plantea una ventaja que es la de poder analizar efectos como los de la torsión inducida por la diferencia de aceleraciones; permitiendo así modelar el comportamiento real de una estructura ante un evento sísmico, sin necesidad de asumir comportamientos que podrían no reflejar la realidad (Jaramillo Rivera & Riveros Pedraza, 2011).

3.1.1 Levantamiento de la información y modelación de cargas

En la modelación de las cargas gravitacionales, se consideraron las cargas vivas de uso y las cargas muertas permanentes.

En el análisis de las cargas sísmicas, se consideró la zona sísmica en la que se encuentra emplazada la estructura, las características del suelo, la importancia de la estructura, el tipo de sistema y de uso (Crespo Salcedo & Flores Rivera, 2018).

Para el diseño de estructuras de ocupación esenciales y otras diferentes edificaciones, es necesario utilizar diferentes niveles de peligro sísmico con el fin de verificar el cumplimiento de diferentes niveles de desempeño (NEC-SE, 2015).

En esta investigación se utilizó la curva de peligrosidad de la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, que es donde se encuentra la estructura; para hallar el valor de z , se sustituyó el valor predeterminado en la NEC de $z = 0.25g$ para Cuenca, la cual para estructuras esenciales de acuerdo a la NEC-SE-2015 determina:



- Limitación de daño (nivel de seguridad de vida): ante un terremoto de 475 años de período de retorno, una probabilidad de 0.00211.
- No colapso (Nivel de prevención de colapso): ante un terremoto de 2500 años de período de retorno, una probabilidad de 0.00004 (Crespo Salcedo & Flores Rivera, 2018).

El diseño sísmo resistente se aplica con la finalidad de comprobar el nivel de seguridad de vida, dicha comprobación se la realiza para el sismo de diseño, evento sísmico que tienen una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años, equivalente a un período de retorno de 475 años (NEC-SE, 2015).

3.1.2 Modelación de la estructura

Se realizó la generación y modelación dinámica estructural 3D del bloque principal de la estructura hospitalaria en el software OpenSees. Este software de código abierto utiliza un método basado en elementos finitos para acercar la simulación de la respuesta sísmica de una estructura a su realidad en caso de ocurrencia de un evento sísmico (Flores & Charney, 2009).

Para realizar la modelación en el software OpenSees:

Se procedió a crear y programar el modelo, como se indica a continuación:

- Definición del modelo: Modelo en 3D del bloque principal de la estructura hospitalaria.
- Definición de la geometría: distribución de los elementos que lo conforman y los nodos que se crean en las uniones de cada elemento.
- Definición de propiedades y características de los materiales: son las especificaciones de cada material; concreto no confinado, concreto confinado, y acero de refuerzo.

Se realizó la estructuración de archivos de salida (Recorders), los cuales definen la información que se desea obtener al finalizar la simulación del modelo, también permite la generación de archivos en formatos texto (out, txt, etc.), que pueden ser

exportados a otras plataformas para ser editado y generar los gráficos que ayudan a la interpretación de los resultados (Chacón Sierra, 2009).

Posteriormente se hizo el análisis y la definición de cargas gravitatorias y cargas sísmicas con sus componentes horizontales en los sub bloques A y B, respectivamente.

- **Espectro elástico para el sub bloque A y B:**

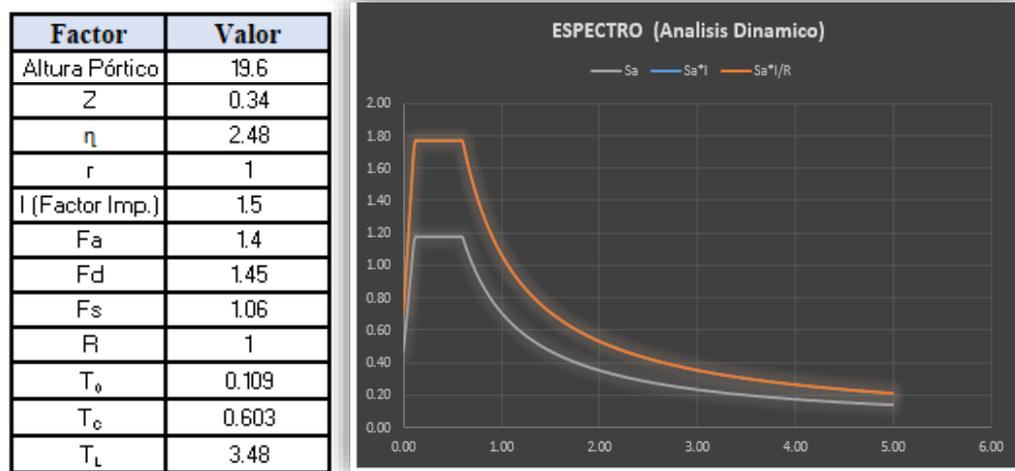


Figura 3. 6: Espectro de diseño período de retorno 2500 años – inelástico.

Fuente: (Crespo Salcedo & Flores Rivera, 2018)

Se ejecutó el análisis modal, que se refiere al análisis mecánico de una estructura, al determinar las frecuencias naturales, el amortiguamiento y modos de vibrar de un objeto o estructura durante la vibración libre (Ceballos, 2004).

Se realizó el análisis dinámico lineal para obtener los resultados del desplazamiento con respecto al tiempo, para esto es necesario definir la geometría, cargas y recorders, estos proporcionarán la información a ser procesada en otras plataformas (Excel) que facilitan la interpretación de los resultados gracias a su interfaz gráfica (Crespo Salcedo & Flores Rivera, 2018).

En el análisis no lineal se realizó la modificación de los scripts que se utilizaron en la etapa anterior, aumentándose líneas de programación para introducir los nodos y comandos de análisis no lineal. Este análisis fue utilizado para obtener los períodos fundamentales, mediante la aplicación de fibras desarrolladas en el software de código



abierto OpenSees; a continuación, se muestran los resultados de los períodos (Crespo Salcedo & Flores Rivera, 2018).

Se ejecutó el análisis estático no lineal, el cual evalúa el riesgo sísmico de las edificaciones, en base al cálculo estático no lineal incremental, conocido como análisis por capacidad o “Pushover” de la estructura. (Crespo Salcedo & Flores Rivera, 2018).

El análisis dinámico no lineal es un método basado en la sustitución de la ecuación de movimiento por una matriz de masa diagonal, esta representa la masa concentrada en nodos, cada nodo con 6 grados de libertad (Crespo Salcedo & Flores Rivera, 2018).

En cuanto al escalamiento de sismos, de acuerdo con la ASCE 7-05 se recomienda trabajar con al menos tres eventos sísmicos, cuyos registros deben tener magnitudes, distancia a la falla, fuentes del mecanismo focal y tipo de suelo consistentes con esos parámetros del espectro de diseño; es decir deben seleccionarse mínimo 3 registros representativos del lugar basándonos en la forma espectral de estos en relación con la forma de nuestro espectro de diseño (Charney, 2005).

Se escalaron tres registros para el análisis dinámico no lineal para un período de retorno de 2500 años, que se refiere al espectro máximo considerado (Crespo Salcedo & Flores Rivera, 2018). Los sismos seleccionados son: AGYE, AOTA y PRAM.

3.1.3 Interpretación de resultados

Se realizó el análisis de resultados y generación de gráficos sobre el tiempo que le toma a la estructura llegar a su máxima deriva, basado en el método de tiempo-historia, en el estado actual de la estructura.

Se define deriva al valor de desplazamiento relativo inelástico de un nivel con respecto al inmediatamente anterior; los códigos establecen como estrategia de control la limitación de la deriva normalizada, entendida como el cociente que existe entre la deriva de entrepiso y la altura libre, a valores máximos permisibles que pueden oscilar entre el 1% y 2%. La máxima deriva para cualquier piso no excederá los límites establecidos: $\Delta M = 0.02$ (2%) para estructuras de hormigón armado y metálicas, $\Delta M = 0.01$ (1%) para mampostería (NEC - SE - DS, 2015), se establece que la deriva



máxima de piso deberán ser menores al 2% de la altura de entrepiso con respecto a un período de retorno de 475 años, es decir, para el sismo de diseño en caso de edificaciones esenciales (Crespo Salcedo & Flores Rivera, 2018).

De acuerdo con una de las últimas resoluciones asumidas en el último congreso Internacional de Estructuras de Edificación (COINESED 2017), se establece que todas las edificaciones de tipo esencial se deben diseñar bajo los siguientes criterios: $R=1$ para el sismo base de diseño, las deriva máxima se limitan a 0.4% de la altura de piso y la aceleración media espectral se la restringe a 0.4g, pretendiendo limitar el daño a los componentes arquitectónicos a menos del 2% del costo de reemplazo de las instalaciones; asegurando que la mayor parte de componentes estructurales y no estructurales de la edificación podrán mantener su capacidad de funcionar después de un terremoto. Son requisitos que deben ser aplicados para mantener la funcionalidad post-terremoto ya sea para estructuras aisladas y no aisladas (Zayas, 2017).

Nota: considerando que la normativa ASCE 7 – 16, presenta a las estructuras esenciales como categoría de riesgo IV, dando como resultado que la máxima deriva debería ser de $0.010h$, siendo h la altura de entrepiso, dando como resultado $\Delta M = 0.036$ (3.6%) (Crespo Salcedo & Flores Rivera, 2018).

Tabla 3.1: Derivas superiores al valor máximo permisible de 2% (NEC) del Bloque A y B.

Derivas (%) superiores al valor máximo permisible 2% (NEC)				
Bloque	Sismo – Dirección	Altura (cm)	Tiempo (seg)	Deriva (%)
A	AGYE – E	N+680	39.52	4.45 (Der)
B	AGYE – E	N+680	41.13	4.37 (Der)
B	AOTA – E	N+1000	71.52	3.71 (Der)
A	AGYE – E	N+1000	45.57	3.43 (Izq)
B	AGYE – E	N+1000	45.55	3.43 (Izq)
B	AOTA – N	N+680	64.80	3.43 (Der)
A	PRAM – N	N+680	50.4	3.19 (Izq)
B	AOTA – N	N+680	55.44	3.13 (Izq)
A	PRAM – E	N+1000	80.495	3.08 (Izq)
A	PRAM – E	N+1000	79.44	3.06 (Der)
A	AOTA – E	N+680	71.46	2.95 (Der)
B	AOTA – E	N+1000	70.595	2.83 (Izq)
A	PRAM – N	N+680	36.27	2.30 (Der)
A	AOTA – E	N+680	63.145	2.18 (Izq)
B	PRAM – E	N+1000	79.42	2.97 (Der)
B	PRAM – E	N+1000	80.44	3.05 (Izq)
B	PRAM – N	N+680	36.27	2.25 (Der)
B	PRAM – N	N+680	50.375	3.20 (Izq)

Fuente: (Crespo Salcedo & Flores Rivera, 2018).

Se escogen los máximos valores de las derivas inelásticas de los tres sismos seleccionados, las mismas que son superiores al valor máximo permisible del 2% de acuerdo a la norma vigente (NEC), ya que se considera que la estructura es altamente vulnerable al colapso ante la ocurrencia de un evento sísmico similar o superior a los sismos contemplados en la investigación, y de acuerdo con la ASCE 7-16 no cumplen con la máxima deriva para este tipo de estructuras que es de 3.6% para un sismo severo (MCE: “Maximum Considered Earthquake”). Además de acuerdo con el criterio de funcionalidad continua post- terremoto propuesto por (Zayas, 2017) las derivas máximas no cumplen ya que exceden con el valor de 1,44%, referido al 0,004 de la altura de entrepiso = 3,6 metros (Crespo Salcedo & Flores Rivera, 2018).



3.2 Sistematización de la información del comportamiento no lineal en 3D del hospital con medida de mitigación

Se procederá a la sistematización del “Análisis dinámico no lineal en 3D del hospital regional “Vicente Corral Moscoso” de la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay en el estado actual que presenta la estructura.”, por parte de los ingenieros Alvarez Cordero Juan Andrés y Cordero Barzallo Pedro José.

3.2.1 Modelación de la estructura

Una vez definida la geometría y las cargas de la estructura, se procedió a crear y programar el modelo, como se indica a continuación:

- Definición del modelo: Modelo en 3D del bloque principal de la estructura hospitalaria.
- Definición de la geometría: distribución de los elementos que lo conforman y los nodos que se crean en las uniones de cada elemento.
- Definición de propiedades y características de los materiales: son las especificaciones de cada material; concreto no confinado, concreto confinado, y acero de refuerzo.
- Creación de la sección por fibras: consiste en modelar secciones de vigas y columnas, tomando en cuenta las resistencias de los hormigones ($f'c$), un hormigón confinado que tiene el fin de representar el núcleo confinado que está dentro de los estribos, y otro sin confinar, para representar el recubrimiento fuera de los estribos.

3.2.1.1 Objetivos del diseño sísmico

Para estructuras esenciales es de gran importancia verificar el desempeño sísmico en el rango inelástico para:

- Limitación de daños ante un sismo con 475 años de período de retorno
- No-colapso ante un terremoto de 2500 años de período de retorno

3.2.1.2 Espectro de diseño

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2015), define al espectro de diseño de la siguiente manera: “Es la representación mediante un espectro de respuesta basado en las condiciones geológicas, tectónicas, sismológicas y del tipo de suelo asociados con el sitio de emplazamiento de la estructura”.

Para poder construir el espectro de diseño para un período de retorno de 475 años y de 2500 años, se tienen que tener en cuenta los siguientes coeficientes:

- Coeficiente de amplificación de suelo en zona de período corto (F_a)
- Coeficiente de amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca (F_d)
- Coeficiente de comportamiento no lineal de los suelos (F_s)
- Parámetros de cálculo para espectro de diseño
- Período de diseño de 475 años

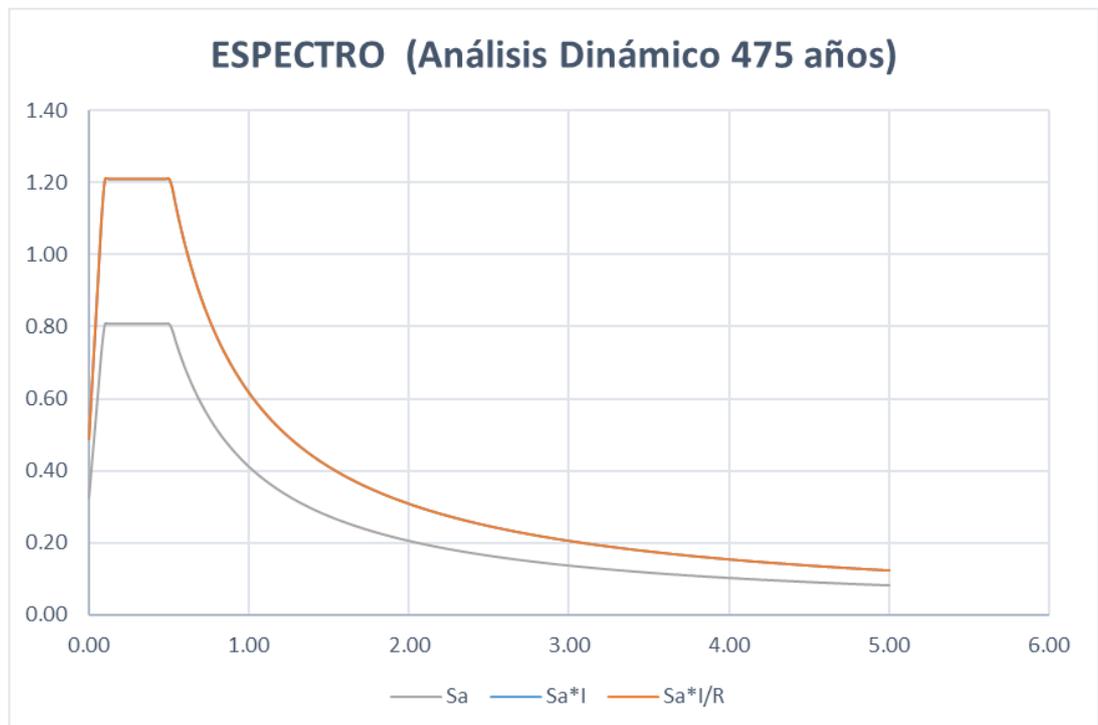


Figura 3.7: Espectro de diseño 475 años

Fuente: (Alvarez Cordero & Cordero Barzallo, 2018)

- **Período de diseño de 2500 años**

Debido al tema de la investigación que se pretende realizar se utilizará como espectro de diseños el correspondiente a un período de retorno de 2500 años, ya que el hospital que se analizará está dentro de la categoría de edificación esencial (Alvarez Cordero & Cordero Barzallo, 2018).

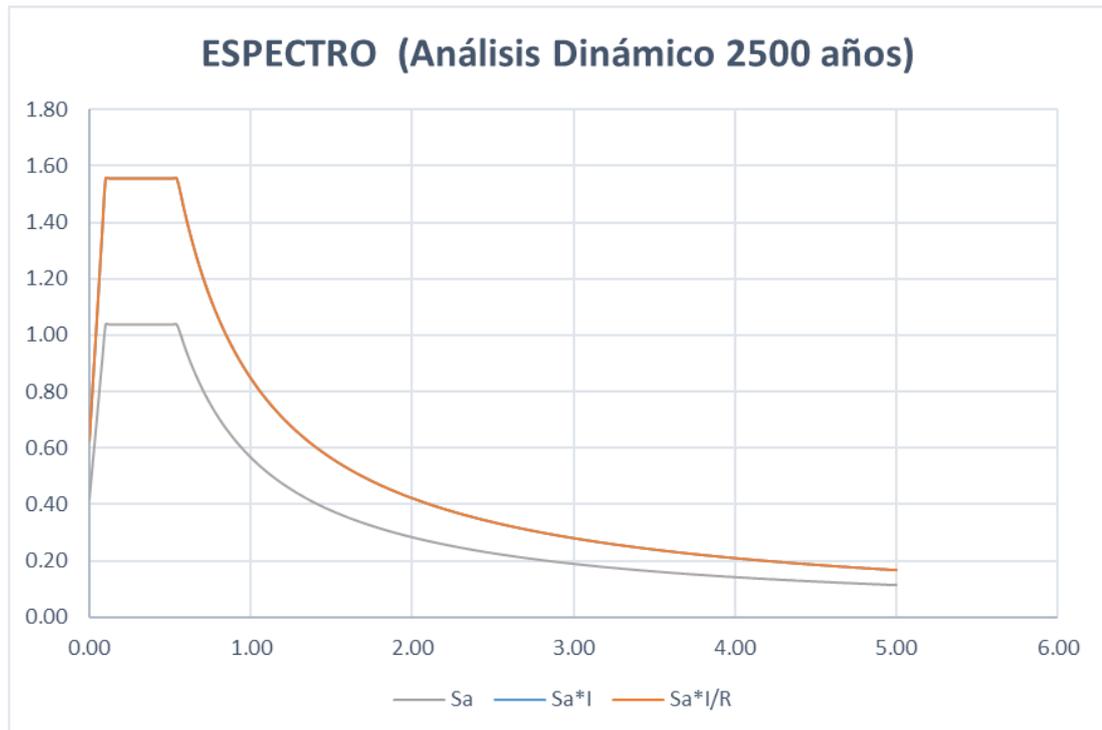


Figura 3.8: Espectro de diseño 2500 años

Fuente: (Alvarez Cordero & Cordero Barzallo, 2018)

- Cálculo de la carga sísmica reactiva de la estructura (W)

3.2.2 Medida de mitigación

En la actualidad existen diversas medidas de mitigación a la hora de proteger una estructura ante sismos de común ocurrencia en ciertos lugares del mundo, los sistemas de protección sísmica pueden ser clasificados en cuatro categorías: sistemas pasivos, activos, híbridos y semi-activos (Alvarez Cordero & Cordero Barzallo, 2018).

3.2.2.1 Sistemas pasivos de aislamiento sísmico

Este tipo de dispositivos mejoran la respuesta dinámica de la estructura por medios totalmente mecánicos, entre estos están los aisladores sísmicos de base, disipadores de energía y osciladores resonantes (Alvarez Cordero & Cordero Barzallo, 2018).

3.2.2.2 Parámetros para la implementación de un sistema de aislamiento de estructuras

Existen tres parámetros principales a considerar antes de la implementación de un sistema de aislamiento basal, estos son:

- Evaluación de la estructura que se desea aislar
- Geología de la zona
- Estructuras colindantes

3.2.2.3 Tipos de aislación sísmica

En la actualidad existen varios tipos de aisladores sísmico, en el presente trabajo se modeló la estructura del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso con los dos principales y más utilizados sistemas de aislamiento basal, estos son: los apoyos de fricción FPT y los apoyos elastoméricos LRB.

3.2.2.3.1 Aisladores de fricción

Este tipo de aislamiento sísmico permite alargar el período natural de la estructura reduciendo así las fuerzas sísmicas que el suelo transmite a la estructura.

Este tipo de aislamiento fue estudiado por Víctor Zayas en el año de 1987. Los aisladores consistían en un deslizador articulado que está revestido de un material de alta capacidad de soporte politetrafluoroetileno (teflón) que tiene un bajo coeficiente de fricción (aproximadamente 5 a 7%) y descansa sobre una superficie cóncava de acero inoxidable, la cual está sellada en sus extremos para evitar la contaminación del área de deslizamiento (Alvarez Cordero & Cordero Barzallo, 2018).

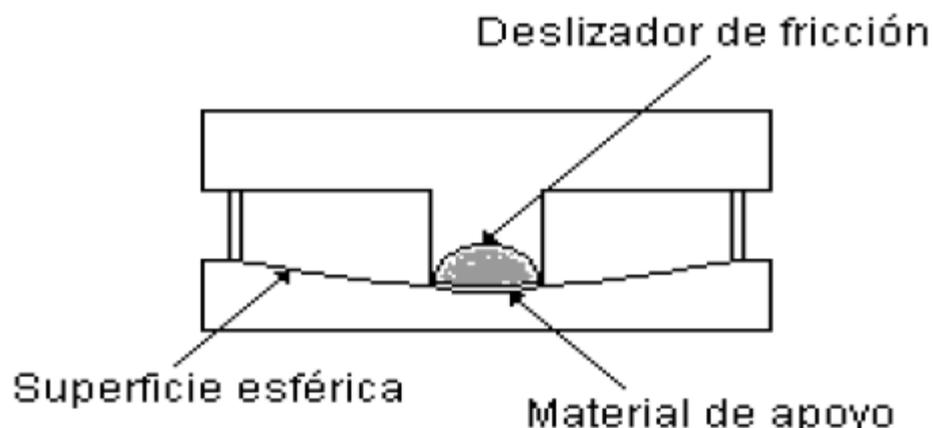


Figura 3.9: Aislador de simple péndulo

Fuente: (Tipanluisa, 2017)

Con el paso del tiempo los aisladores de fricción presentaron una gran evolución como se muestra en la figura 2.6.

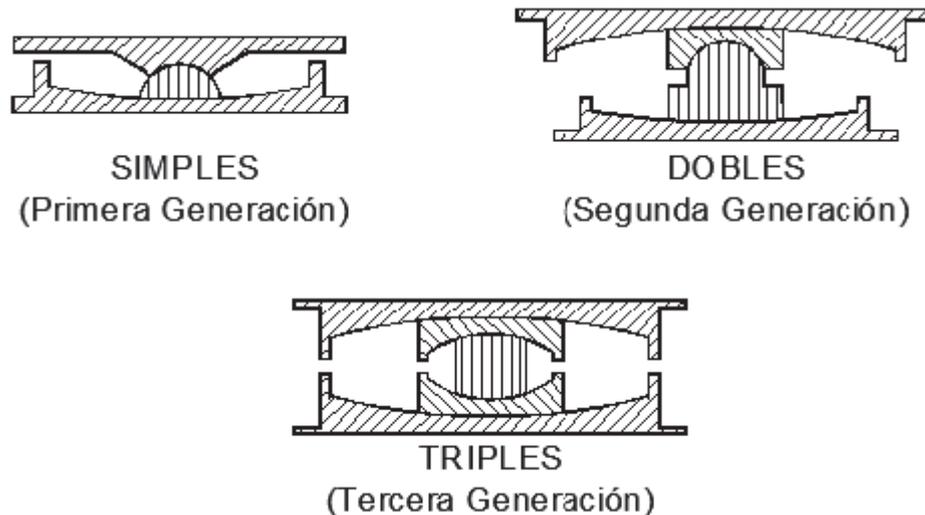


Figura 3.10: Evolución de los aisladores de fricción

Fuente: (Tipanluisa, 2017)

Donde la tercera y última generación de aisladores de triple péndulo de fricción FPT por sus siglas en inglés (Triple Friction Pendulum) desarrollada por el (EPS) es la más utilizada en nuestros días.

3.2.2.3.2 Aisladores elastoméricos

Los aisladores elastoméricos están formados por capas alternadas de goma y placas de acero unidas entre sí por medio de vulcanización, las capas de material elastomérico aporta flexibilidad lateral que permite el desplazamiento del aislador, de esta manera mientras más altas sean las capas el aislador será horizontalmente más flexible, así también las placas de acero evitan el abultamiento del elastómero y le proporcionan una alta rigidez vertical.

Existen tres tipos de apoyos elastoméricos que actualmente son los más usados: apoyos de caucho natural (NRB), apoyos de caucho con núcleo de plomo (LRB) y apoyos de caucho de alta disipación de energía (HDR).

Los aisladores reducen notablemente la rigidez del sistema estructural, haciendo que el período fundamental de la estructura aislada sea mucho mayor que el de la misma estructura con base fija.

En este trabajo de graduación se escogieron los aisladores elastoméricos LRB, los mismos que son efectivos en el sentido del lado largo de la edificación hospitalaria

(dirección N-S) de los dos bloques analizados del hospital, pero el lado corto (dirección E-O) del edificio excede las derivas máximas permitidas, esto se debe a la gran diferencia que existe en la inercia del lado largo con respecto al lado corto, lo que produce amplificaciones dinámicas importantes como consecuencia de la flexibilidad lateral que los aisladores producen en la base; por lo tanto un sistema de aislamiento sísmico no se recomienda en este edificio (Alvarez Cordero & Cordero Barzallo, 2018).

3.2.2.3.2.1 Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB)

El aislador elastomérico con núcleo de plomo está conformado por láminas de acero A36 (norma ASTM), intercaladas con elastómero (caucho de neopreno y natural especial) vulcanizadas entre dichas placas, posee un núcleo central de plomo que permite aumentar la rigidez inicial y la capacidad de disipación de energía mediante el incremento de amortiguamiento, mientras que el elastómero gracias a su gran flexibilidad permite grandes desplazamientos laterales (Alvarez Cordero & Cordero Barzallo, 2018).

Cuando el aislador LRB se deforma ante movimientos del terreno su núcleo de plomo entra en fluencia y disipa la energía en forma de calor, el elastómero regresa a su posición inicial después del evento sísmico mientras que el plomo recristaliza retornando a su posición inicial en condiciones similares para resistir el próximo sismo (Alvarez Cordero & Cordero Barzallo, 2018).



Figura 3.11: Aislador con núcleo de plomo (LRB)

Fuente: <https://cauchosvikingo.com/aisladores-sismicos/>

Ventajas:



- El plomo tiene alta rigidez horizontal antes de alcanzar su fluencia y presentar un comportamiento plástico después de fluencia.
- Es una solución económica para mitigar los efectos sísmicos comparada con otra solución.
- Su deformación lateral respecto a la altura del elastómero puede estar entre 150 y 250% para sismo de diseño y máximo probable respectivamente.
- El plomo al recrystalizar recupera la mayor parte de sus propiedades mecánicas y puede servir perfectamente en otro evento sísmico.
- Las propiedades del núcleo de plomo del aislador no presentan cambios significativos durante la vida útil de la estructura (Alvarez Cordero & Cordero Barzallo, 2018).

Desventajas:

- Es necesario que la estructura tenga previsto un espacio para su desplazamiento, no afecte sus propias instalaciones ni a estructuras colindantes.

Este tipo de aisladores es sensible a los incrementos de temperatura debido a que pueden cambiar sus propiedades de respuesta horizontal ante eventos sísmicos.

- Si se incrementa la carga axial sobre el aislador su rigidez horizontal disminuye (Alvarez Cordero & Cordero Barzallo, 2018).

3.2.2.3.3 Escalamiento de registros sísmicos

Se seleccionaron 3 espectros de respuesta elásticos SRSS (al 5% de amortiguamiento respecto al crítico), se tomaron este tipo de espectros de diseño debido a que el modelo realizado del HVCM se realizó en 3D. En este paso también se necesita determinar el espectro de aceleraciones MCE de la estructura, en las figuras 2.18 y 2.19 se ilustran los espectros SRSS seleccionados al igual que el espectro de aceleraciones MCE (Alvarez Cordero & Cordero Barzallo, 2018).

3.2.2.3.4 Análisis dinámico no lineal de la estructura

Este análisis reconoce el comportamiento no lineal en el diseño de edificaciones conocidas como esenciales; en las reducciones por ductilidad de los espectros de



diseño y en la exigencia de refuerzo que permitan a la estructura alcanzar grandes deformaciones tanto en elementos estructurales y no estructurales (Alvarez Cordero & Cordero Barzallo, 2018).

3.2.2.3.5 Torsión

Existen dos tipos de torsión que se presentan en una edificación y estas son: la torsión inherente que es debida a la diferencia en la ubicación del centro de masa y el centro de rigidez en toda la altura de la estructura, y la torsión accidental debida a los efectos de la variación de la carga y a la resistencia del material durante la operación del edificio que difieren de las suposiciones del modelo (Alvarez Cordero & Cordero Barzallo, 2018).

3.2.2.3.6 Derivas

La NEC define a la deriva de piso como el “desplazamiento lateral relativo de un piso, en particular por la acción de una fuerza horizontal, con respecto al piso consecutivo, medido en dos puntos ubicados en la misma línea vertical de la estructura. Se calcula restando del desplazamiento del extremo superior el desplazamiento del extremo inferior del piso” (NEC, 2015).

La norma establece, como requisito constructivo, que la deriva máxima para cualquier piso no excederá los límites establecidos que son:

- 2% para estructuras de hormigón armado, metálicas y de madera
- 1% para mampostería estructural

Al no estar contemplado en la (NEC,2015) un valor de deriva máxima para una estructura aislada sísmicamente se consideró el valor expuesto en el artículo “Estándar de Aislamiento Sísmico para la Funcionalidad Continua” donde para edificios de las categorías III y IV de riesgo sísmico (la más alta de la norma peruana E.030): las derivas máximas no excederán de 0.003 veces la altura del piso (...) según lo determine el procedimiento de historia de respuesta realizado de acuerdo con ASCE 7-16 17.6.3.4. Estos criterios pretenden limitar el daño a los componentes



arquitectónicos a menos del 2% del costo de remplazo de las instalaciones (Alvarez Cordero & Cordero Barzallo, 2018).

Por lo que en el presente trabajo se considerará que el Hospital Regional Vicente Corral Moscoso cumple con el criterio de funcionalidad continua si sus derivas están por debajo del 1% en las 2 direcciones.

3.2.3 Resultados

BLOQUE A			RESULTADOS DEL ANÁLISIS TIEMPO-HISTORIA							
REGISTRO SÍSMICO 1			AGXEEO				AGXEN-S			
ESTRUCTURA HVCMI			Tiempo= 44.8445		Tiempo= 42.3225		Tiempo= 52.83		Tiempo= 45.9225	
Altura (cm)	Piso	Nodo	Despla.(cm)	Deriva(%)	Despla.(cm)	Deriva(%)	Despla.(cm)	Deriva(%)	Despla.(cm)	Deriva(%)
0	Aislador LBR	148	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40.5	Aislador LBR	148	-22.41	0.00	17.70	0.00	-11.35	0.00	11.58	0.00
360	1	149	-35.66	-3.68	28.41	2.97	-14.09	-0.76	13.50	0.53
680	2	150	-46.44	-3.37	37.37	2.80	-16.56	-0.77	14.99	0.47
1000	3	151	-56.30	-3.08	45.80	2.63	-18.95	-0.75	16.27	0.40
1320	4	152	-65.10	-2.75	53.58	2.43	-21.22	-0.71	17.38	0.35
1640	5	153	-72.81	-2.41	60.60	2.19	-23.22	-0.63	18.30	0.29
1960	6	154	-79.57	-2.11	66.83	1.95	-24.85	-0.51	19.02	0.22
REGISTRO SÍSMICO 2			AOTAEO				AOTAN-S			
ESTRUCTURA HVCMI			Tiempo= 73.1		Tiempo= 44.5975		Tiempo= 74.82		Tiempo= 53.95	
Altura (cm)	Piso	Nodo	Despla.(cm)	Deriva(%)	Despla.(cm)	Deriva(%)	Despla.(cm)	Deriva(%)	Despla.(cm)	Deriva(%)
0	Aislador LBR	148	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40.5	Aislador LBR	148	-23.68	0.00	18.03	0.00	-15.04	0.00	13.35	0.00
360	1	149	-34.10	-2.89	28.87	3.01	-17.18	-0.59	14.96	0.45
680	2	150	-42.76	-2.70	38.19	2.91	-18.80	-0.51	16.12	0.37
1000	3	151	-51.01	-2.58	47.33	2.86	-20.09	-0.40	17.01	0.28
1320	4	152	-58.80	-2.44	56.24	2.78	-21.17	-0.34	17.68	0.21
1640	5	153	-65.96	-2.24	64.67	2.63	-22.06	-0.28	18.16	0.15
1960	6	154	-72.37	-2.00	72.33	2.39	-22.79	-0.23	18.48	0.10
REGISTRO SÍSMICO 3			FRAMEO				PRAMN-S			
ESTRUCTURA HVCMI			Tiempo= 87.0525		Tiempo= 89.49		Tiempo= 73.055		Tiempo= 49.0725	
Altura (cm)	Piso	Nodo	Despla.(cm)	Deriva(%)	Despla.(cm)	Deriva(%)	Despla.(cm)	Deriva(%)	Despla.(cm)	Deriva(%)
0	Aislador LBR	148	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00
40.5	Aislador LBR	148	-28.62	0.00	18.93	0	-10.63	0.00	16.76	0.00
360	1	149	-40.34	-3.26	30.17	3.12	-12.79	-0.60	18.72	0.55
680	2	150	-49.14	-2.75	39.37	2.87	-14.69	-0.59	20.17	0.45
1000	3	151	-56.73	-2.37	47.86	2.65	-16.46	-0.55	21.26	0.34
1320	4	152	-63.14	-2.00	55.52	2.39	-18.09	-0.51	22.10	0.26
1640	5	153	-68.56	-1.69	62.26	2.11	-19.51	-0.44	22.75	0.20
1960	6	154	-73.29	-1.48	68.16	1.84	-20.67	-0.36	23.25	0.16

Figura 3.12: Resultados Tiempo-Historia 3 registros sísmicos bloque A

Fuente: (Alvarez Cordero & Cordero Barzallo, 2018)

BLOQUE B			RESULTADOS DEL ANÁLISIS TIEMPO-HISTORIA							
REGISTRO SÍSMICO 1			AGXEO				AGXNS			
ESTRUCTURA HVCM			Tiempo=44.8445		Tiempo=42.3225		Tiempo=52.83		Tiempo=45.9225	
Altura (cm)	Piso	Nodo	Despla.(cm)	Deriva(%)	Despla.(cm)	Deriva(%)	Despla.(cm)	Deriva(%)	Despla.(cm)	Deriva(%)
0	Aislador LBR	148	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40.5	Aislador LBR	148	-22.41	0.00	17.70	0.00	-11.35	0.00	11.58	0.00
360	1	149	-35.66	-3.68	28.41	2.97	-14.09	-0.76	13.50	0.53
680	2	150	-46.44	-3.37	37.37	2.80	-16.56	-0.77	14.99	0.47
1000	3	151	-56.30	-3.08	45.80	2.63	-18.95	-0.75	16.27	0.40
1320	4	152	-65.10	-2.75	53.58	2.43	-21.22	-0.71	17.38	0.35
1640	5	153	-72.81	-2.41	60.60	2.19	-23.22	-0.63	18.30	0.29
1960	6	154	-79.57	-2.11	66.83	1.95	-24.85	-0.51	19.02	0.22
REGISTRO SÍSMICO 2			AOTAE-O				AOTANS			
ESTRUCTURA HVCM			Tiempo=73.1		Tiempo=44.5975		Tiempo=74.82		Tiempo=53.95	
Altura (cm)	Piso	Nodo	Despla.(cm)	Deriva(%)	Despla.(cm)	Deriva(%)	Despla.(cm)	Deriva(%)	Despla.(cm)	Deriva(%)
0	Aislador LBR	148	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40.5	Aislador LBR	148	-23.68	0.00	18.03	0.00	-15.04	0.00	13.35	0.00
360	1	149	-34.10	-2.89	28.87	3.01	-17.18	-0.59	14.96	0.45
680	2	150	-42.76	-2.70	38.19	2.91	-18.80	-0.51	16.12	0.37
1000	3	151	-51.01	-2.58	47.33	2.86	-20.09	-0.40	17.01	0.28
1320	4	152	-58.80	-2.44	56.24	2.78	-21.17	-0.34	17.68	0.21
1640	5	153	-65.96	-2.24	64.67	2.63	-22.06	-0.28	18.16	0.15
1960	6	154	-72.37	-2.00	72.33	2.39	-22.79	-0.23	18.48	0.10
REGISTRO SÍSMICO 3			PRAME-O				PRAMNS			
ESTRUCTURA HVCM			Tiempo=87.0525		Tiempo=89.49		Tiempo=73.055		Tiempo=49.0725	
Altura (cm)	Piso	Nodo	Despla.(cm)	Deriva(%)	Despla.(cm)	Deriva(%)	Despla.(cm)	Deriva(%)	Despla.(cm)	Deriva(%)
0	Aislador LBR	148	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00
40.5	Aislador LBR	148	-28.62	0.00	18.93	0	-10.63	0.00	16.76	0.00
360	1	149	-40.34	-3.26	30.17	-0.90	-12.79	-0.60	18.72	0.55
680	2	150	-49.14	-2.75	39.37	0.16	-14.69	-0.59	20.17	0.45
1000	3	151	-56.73	-2.37	47.86	0.12	-16.46	-0.55	21.26	0.34
1320	4	152	-63.14	-2.00	55.52	0.11	-18.09	-0.51	22.10	0.26
1640	5	153	-68.56	-1.69	62.26	0.10	-19.51	-0.44	22.75	0.20
1960	6	154	-73.29	-1.48	68.16	0.07	-20.67	-0.36	23.25	0.16

Figura 3.13: Resultados Tiempo-Historia 3 registros sísmicos bloque A

Fuente: (Alvarez Cordero & Cordero Barzallo, 2018)

Los aisladores de base LBR, son efectivos en sentido N-S (lado largo) de ambos bloques analizados del HVCM, pero en el sentido E-O (lado corto) se presentan problemas, ya que no se consigue disminuir las derivas; esto se debe a la gran diferencia que existe en la rigidez que posee la estructura en sentido N-S con respecto al sentido E-O (Alvarez Cordero & Cordero Barzallo, 2018).

Para afirmar lo mencionado anteriormente se realizó en el bloque A un incremento en la inercia de los elementos viga y columna con el objetivo de volver más rígida a la estructura en sentido E-O, una vez logrado esto se procedió a realizar un nuevo análisis dinámico no lineal Tiempo-Historia en el bloque A con el registro sísmico AOTA, mediante este incremento mencionado, se reafirmó que el mal desempeño que tiene la estructura en sentido E-O se debe a la rigidez tan baja que presenta la estructura, por este motivo sí se requiere implementar un sistema de aislamiento que funcione de



manera óptima en el HVCM, se debe rigidizar la estructura en sentido E-O (Alvarez Cordero & Cordero Barzallo, 2018).

El valor de la máxima deriva del bloque A de la edificación hospitalaria, corresponde a 3.12, la misma que corresponde a 89.49 seg, por lo que se asume este tiempo para que los ocupantes que se encuentran en este bloque puedan desalojar la edificación hospitalaria.

El valor de la máxima deriva del bloque B de la edificación hospitalaria, corresponde a 3.01 (Der) la misma que corresponde a 44.5975 seg, asumiéndose este tiempo para poder desalojar la edificación hospitalaria.

3.3 Comparación de resultados de evacuación vs colapso

En el capítulo anterior, se consideró la evacuación total de 1440 personas de la edificación hospitalaria, obteniéndose un tiempo total de evacuación equivalente a 577.8 seg; no se consideraron pacientes cuyo estado de salud es crítico, debido a la complejidad de su traslado. Dichos pacientes en estado crítico, están internados en la parte derecha de todo el bloque principal de la estructura hospitalaria, por lo que se consideran que están en el bloque B, de acuerdo a las investigaciones que se están sistematizando en el presente capítulo.

En el presente capítulo, se pretende contabilizar la cantidad de ocupantes que pueden desalojar el hospital ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud, para ello se consideró el tiempo en el que se generaría el colapso de la estructura.

3.3.1 Análisis dinámico no lineal en 3D del Hospital Regional “Vicente Corral Moscoso” de la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay en el estado actual que presenta la estructura

Ante la ocurrencia de un evento sísmico extremo, las derivas deben exceder el 3.6% para que se genere el colapso en estructuras de ocupación esencial (Crespo Salcedo & Flores Rivera, 2018). En este caso las máximas derivas de los bloques A y B, superan el valor límite, por lo que se generaría el colapso de la edificación.

Tabla 3.2: Derivas superiores al valor máximo permisible de 2% (NEC) del Bloque A y B.

Derivas (%) superiores al valor máximo permisible 2% (NEC)				
Bloque	Sismo - Dirección	Altura (cm)	Tiempo (seg)	Deriva (%)
A	AGYE - E	N+680	39.52	4.45 (Der)
B	AGYE - E	N+680	41.13	4.37 (Der)

Fuente: (Crespo Salcedo & Flores Rivera, 2018).

Para realizar la comparación de evacuación versus la posibilidad de colapso de la estructura, se ingresaron en el software de evacuación los tiempos en los que se produce la máxima deriva, obteniéndose los siguientes resultados:

En el bloque A, se considera un tiempo de 39.52 seg para que los ocupantes desalojen la edificación hospitalaria, obteniéndose un número de 175 personas que logran evacuar antes de que se genere el colapso de la estructura.



Figura 3.14: Resultados tiempo de evacuación versus posibilidad de colapso en el bloque A de la estructura

Fuente: Autoría propia

En el bloque B, se estimó un tiempo de 41.13 seg para que los ocupantes desalojen la edificación hospitalaria, obteniéndose un número de 79 personas que logran evacuar antes de que se genere el colapso de la estructura.

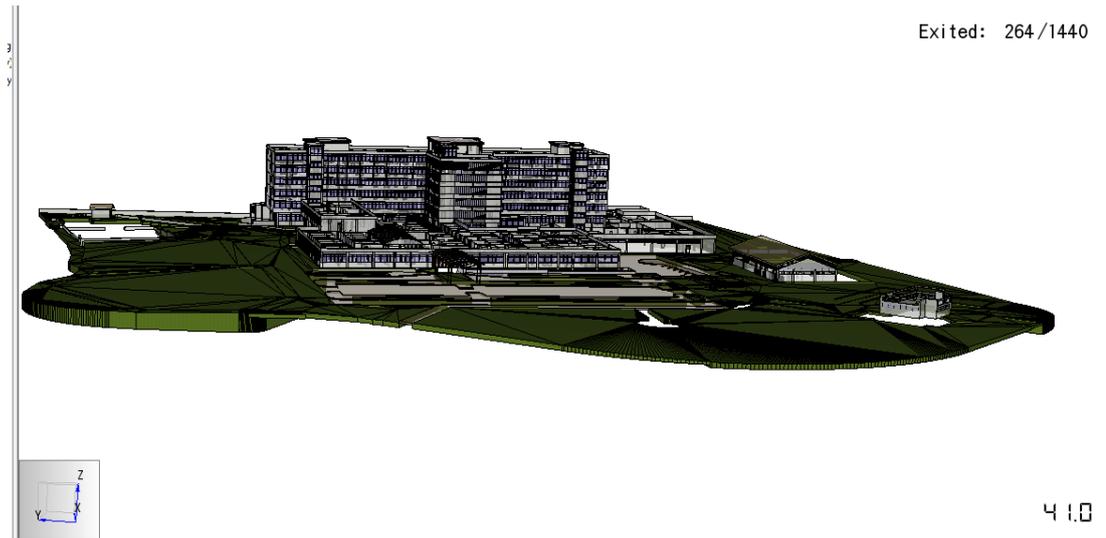


Figura 3.15: Resultados tiempo de evacuación versus posibilidad de colapso en el bloque B de la estructura

Fuente: Autoría propia

3.3.2 Análisis dinámico no lineal en 3D del Hospital Regional “Vicente Corral Moscoso” de la Ciudad de Cuenca, Provincia del Azuay y propuesta de mitigación

No se consideró un valor de deriva máxima en la (NEC, 2015), debido a que en este análisis se considera una estructura sísmicamente aislada. Se tomó el valor expuesto en el artículo “Estándar de Aislamiento Sísmico para la Funcionalidad Continua” donde para edificios de las categorías III y IV de riesgo sísmico, las derivas máximas no excederán de 0.003 veces la altura del piso. Estos criterios procuran limitar el daño a los componentes arquitectónicos a menos del 2% del costo de remplazo de las instalaciones (Alvarez Cordero & Cordero Barzallo, 2018).

En este análisis se consideró que las derivas deben estar por debajo del 1% en las dos direcciones, para que la estructura hospitalaria pueda cumplir el criterio de funcionalidad continua (Alvarez Cordero & Cordero Barzallo, 2018).

Los aisladores de base LRB, son efectivos en el sentido N-E (lado largo) de los dos bloques analizados, pero presentaron problemas en el sentido E-O (lado corto) (Alvarez Cordero & Cordero Barzallo, 2018), ya que las derivas superan el valor máximo establecido equivalente al 3%, por lo que la siguiente evaluación es

considerada con respecto al lado E- O (lado corto) del bloque principal de la edificación hospitalaria.

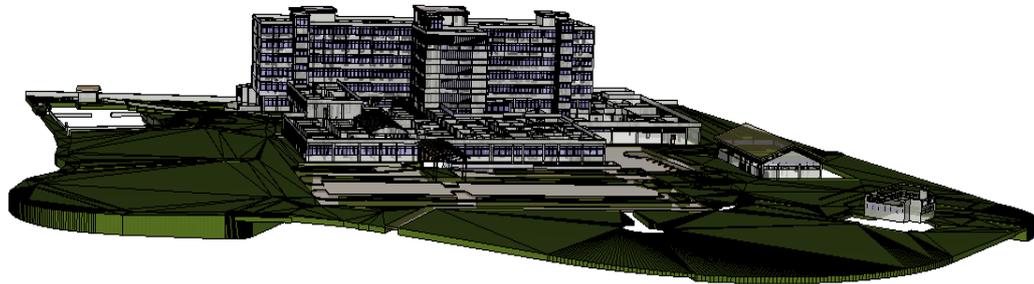
En el bloque A, se estimó un tiempo de 89.49 seg para que los ocupantes desalojen la edificación hospitalaria, obteniéndose un número de 443 personas que logran evacuar antes de que se genere el colapso de la estructura.



Figura 3.16: Resultados tiempo de evacuación versus posibilidad de colapso en el bloque B de la estructura

Fuente: Autoría propia

En el bloque B, se estimó un tiempo de 44.5975 seg para que los ocupantes desalojen la edificación hospitalaria, obteniéndose un número de 86 personas que logran evacuar antes de que se genere el colapso de la estructura.



44.6

Figura 3.17: Resultados tiempo de evacuación versus posibilidad de colapso en el bloque B de la estructura

Fuente: Autoría propia

Interpretación de resultados:

Tabla 3.3 Resultados tiempo de evacuación versus posibilidad de colapso de la estructura

Estructura en su estado actual			Medida de mitigación		
Bloques	Tiempo (seg)	Número de personas evacuadas	Bloques	Tiempo (seg)	Número de personas evacuadas
Bloque A	39.52	175	Bloque A	89.49	443
Bloque B	41.13	79	Bloque B	44.59	86

Fuente: Autoría propia

Al presentarse un sismo extremo en el estado actual de la edificación hospitalaria, lograrían evacuar un número de 254 personas antes del colapso de la edificación, que equivale en porcentaje al 18% del total de ocupantes; mientras que se observa que con la implementación de la medida de mitigación, como son los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB), el número de personas que evacúan la edificación hospitalaria se incrementaría considerablemente a 519 personas, lo que equivale en



porcentaje al 37% de personas evacuadas. Por lo que se obtiene un incremento de 19% de población evacuada.

Cabe recalcar que para realizar este análisis, se consideró que por el bloque A evacua el 70% de la población y por el bloque B evacua el 30% del total de ocupantes.



CONCLUSIONES

- Para realizar la modelación de la evacuación en el software especializado, se procedió a recopilar información real en la edificación, como el número de camas existentes por piso, el número de pacientes internos y en consulta externa por piso, personal de salud en general, el número de acompañantes de pacientes en consulta externa, visitas de pacientes internos, entre otros. Una vez obtenida esta información, se determinó el tiempo promedio que tarda una persona en dar un paso y la distancia de este, considerando en cada caso la tipología de usuario, en cuanto a su estado de salud. Toda esta información permitió cuantificar el tiempo promedio total de evacuación de la estructura hospitalaria.
- Se determinó el tiempo que tardan los usuarios en llegar desde los diferentes puntos de la edificación hospitalaria hasta las puertas de ingreso-salida, por modelación y por simulacro, en dónde se observó que el tiempo varía considerablemente, puesto que en el simulacro, el personal de salud y los pacientes evacuaron el edificio con tranquilidad.
- Con la ayuda de un cronómetro se cuantificó el tiempo que tardan los usuarios en llegar desde las diferentes puertas de ingreso-salida hasta los puntos de encuentro, debido a que el software especializado no considera el tiempo que tardan los usuarios en llegar desde las diferentes puertas de ingreso-salida hasta los puntos de encuentro.
- Existe una mayor densidad de ocupantes en pasillos, escaleras y puertas de salida, generándose cuellos de botella debido a la disminución de las dimensiones, por lo que ante un evento sísmico fuerte, estos puntos mencionados crearían graves problemas en cuanto al incremento del tiempo de evacuación.
- El software de evacuación ha logrado equilibrar la salida de personas, evitando en gran parte congestionamientos, ya que cada usuario sale por la puerta que está más cercana, disminuyendo significativamente el tiempo de evacuación.



- Se determinó el tiempo promedio total de evacuación de la edificación hospitalaria de dos formas: en la primera, se usó la velocidad de pisada de acuerdo a tipo de usuario, obteniéndose un tiempo de evacuación equivalente a 577.8 segundos y en la segunda forma, se utilizó el tiempo que tardaron en salir los ocupante de la edificación en un simulacro realizado, el cual dio como resultado un tiempo de 798.5 segundos.
- En la comparación de evacuación versus colapso, se observó que mediante la implementación de una medida de mitigación, el bloque principal de la edificación hospitalaria falla en el sentido E-O (lado corto) ante la presencia de un sismo extremo, debido a que las derivas superaron el límite permisible de 3% (Alvarez Cordero & Cordero Barzallo, 2018), por lo que se consideró el sentido E-O (lado corto) de la edificación en el análisis de evacuación versus colapso, ya que en el lado largo, los aisladores son efectivos.
- En el bloque A de la edificación hospitalaria, el tiempo de evacuación se incrementa considerablemente con el uso de los aisladores elastómeros con núcleo de plomo (LRB), mientras que en el bloque B, existe un menor incremento en el tiempo de evacuación al implementar la medida de mitigación.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar los estudios respectivos, para la construcción de unas gradas de emergencia con puertas de auxilio, las mismas que deberán estar situadas en la parte derecha de la edificación hospitalaria, ya que a partir de las 17H00, se cierra una puerta de emergencia y a las 21H00 se cierra otra puerta por cuestiones de seguridad. Esto generaría un gran congestionamiento en las puertas que permanecen abiertas las 24 horas en la edificación hospitalaria.

En la figura 3.18 se observa en el recuadro rojo el lugar donde se recomienda la construcción de las escaleras de emergencia.



Figura 3.18: Hospital Regional Vicente Corral Moscoso
Fuente: Autoría propia

Estas gradas de emergencia servirán sólo para la evacuación de los ocupantes, es decir solo se abrirán desde la parte interior de la unidad hospitalaria, a su vez se tendría que colocar un cerramiento para evitar el ingreso de personas del exterior.

- Realizar una replanificación de los diferentes espacios de la unidad hospitalaria, de tal manera que se mejoren las rutas y los pasos de evacuación.
- Elaborar un plan de evacuación ante situaciones extremas.



BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez Cordero, J. A., & Cordero Barzallo, P. J. (2018). Análisis dinámico no lineal en 3D del Hospital Regional “Vicente Corral Moscoso” de la Ciudad de Cuenca, Provincia del Azuay y propuesta de mitigación. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Bambaren Alatrística, C. V., & Alatrística Gutierrez, M. (2007). Hospitales seguros ante desastres. *REvista Médica Herediana*. Perú.
- Bermeo Moyano, H., Cornejo de Grunauer, M., Zorrilla, D., Bermúdez, N., & Estacio, J. (2010). DIPECHO VII “IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE VULNERABILIDADES A NIVEL CANTONAL” - CUENCA. *Análisis de Vulnerabilidad del Cantón Cuenca*. Cuenca, Ecuador.
- Capote, J., D., A., O., A., & Lázaro M. y Cuesta, A. (2009). Modelo y simulación computacional de evacuación en edificios singulares. España.
- Castillo, L. (Abril de 2011). EVALUACION DEL NIVEL DE CONOCIMIENTO SOBRE EL PLAN DE EVACUACION EN SISTEMAS DE EMERGENCIA Y DESASTRES EN EL HOSPITAL DE ROSARIO DE CABIMAS. Cabimas, Venezuela.
- Ceballos, M. (2004). *Análisis Modal Experimental Aplicado a la Calibración de Modelos de Sistemas con Interacción Suelo-Estructura*. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba.
- Chacón Sierra, W. D. (Febrero de 2009). Torsión Accidental en estructuras con aislamiento de Base. Sangolquí, Ecuador: ESPE.
- Charney, F. A. (2005). Seismic Loads. *Guide to the Seismic Load Provisions ASCE7-05*. ASCE PRESS.
- Crespo Salcedo, G. M., & Flores Rivera, J. R. (2018). Análisis dinámico no lineal en 3D del Hospital Regional "Vicente Corral Moscoso" de la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay en el estado actual que presenta la estructura. Cuenca, Azuay, Ecuador.



Cuesta Pinedo, X. (09 de 2013). **MODELADO Y SIMULACIÓN COMPUTACIONAL DE LOS PROCESOS DE EVACUACIÓN EN CENTROS HOSPITALARIOS**. Cantabria, España.

Desastres, C. V. (2009). *Evacuación de áreas críticas*. México.

El Tiempo. (21 de 10 de 2014). *En Cuenca hay 60 sectores vulnerables a desastres*. Cuenca, Azuay, Ecuador.

Flores, F., & Charney, F. (2009). *Advanced Analysis and Modeling Techniques in Structural Earthquake Engineering*. Chile: Universidad de Chile.

Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). (2010). *Programa Unidad Médica Segura*. México.

Jaramillo Rivera, R., & Riveros Pedraza, C. E. (Mayo de 2011). **ANÁLISIS NO LINEAL DINÁMICO TRIDIMENSIONAL DE EDIFICIOS EN CONCRETO REFORZADO SOMETIDOS A LOS REGISTROS DEL SISMO DE QUETAME**. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.

Martínez Valdés, E., Franco Bey, R., Saavedra Gómez, J. L., Elizondo Argueta, S., Bautista Reyes, A. L., D'ector Lira, D. M., & Reséndiz García, S. (2010). *Evacuación de Unidades Críticas en Hospitales*. México.

Morales Soto, N. R. (2000). **PLAN HOSPITALARIO PARA DESASTRES**. Lima, Perú.

NEC - SE - DS. (2015). *Cargas Sísmicas Diseño Sismo Resistente*. Quito: Dirección de Comunicación Social ISBN.

NEC, P. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*.

NEC-SE. (2014). *MIDUVI Y CAMICON*. Quito, Ecuador.

NEC-SE. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Quito: Dirección de Comunicación Social ISBN.

OPS, & OMS. (2010). **PLAN DE ACCION DE HOSPITALES SEGUROS**. Washington

Pinedo, J. C. (Septiembre de 2013). *Modelado Y simulación computacional de los procesos de evacuación en centros hospitalarios*. España.



- Rivera, H., Mazadiego, T., & Martínez, C. (2011). Una propuesta para evacuaciones seguras en las edificaciones en caso de siniestro . México , México .
- Rosas, L. (2010). Elaboración e implementación de un plan de emergencia y evacuación Edificio Multimedial ante un riesgo de incendio. Valdivia, Chile.
- Salud. (2009). Hospitales Seguros Frente a los Desastres. Panamá.
- Sánchez Parra, J. F., Franco, A. E., Alvarez, M. G., & Recuero, P. R. (2013). Plan Hospitalario de Gestión del riesgo de emergencias y desastres. Amalfi, Antioquia, Colombia.
- Suarez Iujés, M. O. (2004). Cálculo del Tamaño de una muestra. *Interaprendizaje Holístico de Matemática*. Ibarra, Ecuador: Gráficas Planeta.
- Thunderhead Engineering. (2018). *Thunderhead Engineering*. Obtenido de <https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/pathfinder-features/>
- Valdivieso Taborga, C. E., Castellón Valdivieso, R., & Valdivieso Taborga, O. Á. (2011). DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO MUESTRAL MEDIANTE EL USO DE ÁRBOLES DE DECISIÓN. Bolivia.
- Vintimilla, C., & Fajardo, A. (2016). Evaluación estructural de la entidad hospitalaria "Hospital Vicente Corral Moscoso" de la ciudad de Cuenca-provincia del Azuay para cuantificar las amenazas y vulnerabilidad de la edificación hospitalaria. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Zayas, V. (2017). Estándar de Aislamiento sísmico para la Funcionalidad Continua. *I Congreso Internacional de Estructuras de Edificación*. Lima- Perú: COINESED.