



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

**Determinación del tiempo, flujo de evacuación y posibles
víctimas por un evento extremo en el Hospital Regional
Vicente Corral Moscoso, de la ciudad de Cuenca, provincia
del Azuay**

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

Autor:

GABRIELA ESTEFANÍA CALLE ARÉVALO

Director:

JOSÉ FERNANDO VÁZQUEZ CALERO

CUENCA, ECUADOR

2018



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios y mi familia, principalmente a mis padres, hermanos, hermano político y mi tía, quienes han estado durante este largo camino de mi vida, brindándome un apoyo incondicional para lograr culminar mis metas propuestas y de manera especial a mis abuelitos que a pesar de su ausencia, sé que me están apoyando desde el cielo.

Gabriela Calle



AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos:

A mi familia que han sido un gran apoyo y soporte en mi vida, ya sea humano y profesional, quienes me han inculcado buenos valores y principios, para que siga un buen camino y sea una persona de bien.

A Dios, ya que sin él no sería la persona que soy, me ayudado en cada momento de mi vida y ha hecho que mi mundo sea mejor.

A la Universidad del Azuay, por permitirme ser parte de esta distinguida universidad, impartiendo conocimientos de los profesores para ser una gran profesional.

Al ingeniero José Vázquez, M.Sc., por confiar en mí, permitiéndome ser parte de su investigación y brindándome su apoyo incondicional a lo largo del proceso de titulación.

Al ingeniero Juan Carlos Malo, por su comprensión y brindarme su tiempo para la revisión y corrección.

Al ingeniero Francisco Flores PhD., por brindar sus conocimientos y su apoyo en todo este proceso.

Y a mi mejor amiga Fernanda, por ser un soporte en mi vida, apoyándome en los buenos y malos momentos.

Gabriela Calle



ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	1
GENERALIDADES	2
Antecedentes	2
Objetivos	4
Objetivo general	4
Objetivos específicos	4
Justificación	5
Metodología	5
Estado del arte y marco teórico	6
CAPÍTULO 1	8
MODELACIÓN GEOMÉTRICA	8
1.1 Levantamiento de información	9
1.1.1 Infraestructura física	9
1.1.2 Recopilación de la información arquitectónica	10
1.1.3 Amenazas	15
1.1.4 Elementos arquitectónicos	17
1.2 Modelación de la edificación en software especializado	19

1.2.1 Modelado 3D del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso	19
1.3 Modelación de la ocupación de la edificación (personal de salud, pacientes en consulta, en hospitalización y visitas)	21
1.3.1 Áreas de la unidad hospitalaria	21
1.3.2 Personal	22
1.3.3 Pacientes	22
1.3.4 Visitas	24
1.4 Modelación de la evacuación de la edificación ante una situación de riesgo	25
1.4.1 Malla de movimiento continuo	26
1.4.2 Movimiento de ocupantes a las salidas	27
1.4.3 Visualización 3D de alta calidad	28
1.4.4 Parcelas de contorno	29
1.4.5 Evacuación asistida	29
1.4.6 Ocupantes	30
1.4.7 Elevadores o ascensores	30
1.4.8 Escaleras, escaleras mecánicas, pasillos móviles y rampas	31
1.4.9 Poblaciones personalizables	32
1.4.10 Diagrama fundamental de personalización	32
1.4.11 Torniquetes y otras restricciones de flujo	33
1.4.12 Evaluación de resultados de gran alcance	34
1.5 Plan de rutas de escape	34
1.6 Cuantificación del tiempo de evacuación	38
CAPÍTULO 2	39
PUNTOS DE ENCUENTRO	39
2.1 Modelación de evacuación de la edificación hospitalaria	39
2.1.1 Modelación de los pisos y sus divisiones de la unidad hospitalaria	40
2.1.2 Modelación de las puertas	45



2.1.3 Modelación de escaleras	50
2.1.4 Modelación de ascensores	56
2.2 Modelación de la ocupación de la edificación (personal de salud, pacientes en consulta, en hospitalización y visitas)	56
2.2.1 Número de personas en el Hospital Regional Vicente Corral Moscoso	56
2.3 Modelación de la evacuación de los ocupantes ante una situación de riesgo	61
2.3.1 Planos y tipo de paciente interno	62
2.3.2 Velocidad de paso de las personas que acuden a consulta externa	71
2.3.4 Modelación en el simulador de evacuación	75
2.4 Plan de rutas de escape	80
2.5 Análisis en corredores, puntos críticos, escaleras, entre otros	80
2.6 Cuantificación del tiempo de evacuación	81
2.6.1 Modelación e interpretación de resultados	81
2.6.2 Densidad durante la evacuación de los ocupantes de la unidad hospitalaria	84
2.6.3 Persona más alejada y más cercana a las salidas de la unidad hospitalaria (distancia, tiempo)	88
2.6.4 Tiempo final de evacuación	90
2.6.5 Modelación del hospital en el software especializado variando la velocidad de paso de los ocupantes en función de un simulacro real	91
CAPÍTULO 3	95
COMPARACIÓN TÉCNICA DE EVACUACIÓN VS POSIBILIDAD DE COLAPSO	95
3.1 Sistematización de la información del comportamiento no lineal del hospital en el estado actual	101
3.1.1 Análisis dinámico no lineal	101



3.2 Sistematización de la información del comportamiento no lineal del hospital con medida de mitigación.....	103
3.2.1 Prediseño del aislador.....	104
3.2.2 Derivas con aislamiento sísmico	105
3.3 Comparación de resultados de evacuación vs colapso	106
CONCLUSIONES.....	107
RECOMENDACIONES.....	108
BIBLIOGRAFÍA.....	113



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1: Ubicación del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso.....	8
Figura 1. 2: Planta subsuelo Hospital Regional Vicente Corral Moscoso	11
Figura 1. 3: Planta baja del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso.....	12
Figura 1. 4: Segundo Piso Hospital Regional Vicente Corral Moscoso	12
Figura 1. 5: Tercer Piso Hospital Regional Vicente Corral Moscoso.....	13
Figura 1. 6: Cuarto piso Hospital Regional Vicente Corral Moscoso	13
Figura 1. 7: Quinto piso Hospital Regional Vicente Corral Moscoso	14
Figura 1. 8: Sexto piso Hospital Regional Vicente Corral Moscoso	14
Figura 1. 9: Séptimo piso Hospital Regional Vicente Corral Moscoso	15
Figura 1. 10: Mapa de riesgo sísmico del cantón Cuenca.....	16
Figura 1. 11: Maqueta Virtual, Render del Hospital Regional “Vicente Corral Moscoso”	20
Figura 1. 12: Render Axonometría Hospital Regional Vicente Corral Moscoso	20
Figura 1. 13: Ventana principal del software especializado	25
Figura 1. 14: Software especializado ejemplo estructural en 3D.....	26
Figura 1. 15: Ejemplo de triangulación en una edificación	27
Figura 1. 16: Movimientos de los ocupantes a las salidas	28
Figura 1. 17: Visualización 3D de alta calidad en una estructura.....	28
Figura 1. 18: Parcelas de contorno en una estructura de ejemplificación	29
Figura 1. 19: Evacuación asistida por asistentes designados	30
Figura 1. 20: Ocupantes en la simulación del software especializado.....	30
Figura 1. 21: Ascensores en la simulación del software especializado.....	31
Figura 1. 22: Escaleras y rampas en la simulación del software especializado	31
Figura 1. 23: Poblaciones personalizables en la simulación del software especializado	32
Figura 1. 24: Escaleras y rampas en la simulación del software especializado	33
Figura 1. 25: Torniquetes y otras restricciones en el flujo en la simulación del software especializado	33
Figura 1. 26: Torniquetes y otras restricciones en el flujo en la simulación del software especializado	34

Figura 2. 1: Importación del hospital al software especializado.....	39
Figura 2. 2: Modelación del hospital en el software especializado.....	40
Figura 2. 3: Modelación del piso del Subsuelo	41
Figura 2. 4: Modelación del piso del primer piso	42
Figura 2. 5: Modelación del piso del segundo piso.....	42
Figura 2. 6: Modelación del piso del tercer piso.....	43
Figura 2. 7: Modelación del piso del cuarto piso	43
Figura 2. 8: Modelación del piso del quinto piso.....	44
Figura 2. 9: Modelación del piso del sexto piso	44
Figura 2. 10: Modelación del piso de la terraza.....	45
Figura 2. 11: Modelación de las puertas del subsuelo	46
Figura 2. 12: Modelación de las puertas del primer piso	46
Figura 2. 13: Modelación de las puertas del segundo piso	47
Figura 2. 14: Modelación de las puertas del tercer piso.....	47
Figura 2. 15: Modelación de las puertas del cuarto piso.....	48
Figura 2. 16: Modelación de las puertas del quinto piso	48
Figura 2. 17: Modelación de las puertas del sexto piso	49
Figura 2. 18: Modelación de las puertas de la terraza.....	49
Figura 2. 19: Modelación de las escaleras (vista lateral)	50
Figura 2. 20: Modelación de las escaleras del hospital (vista en 3D).....	51
Figura 2. 21: Modelación de las escaleras del hospital (vista en 3D).....	51
Figura 2. 22: Modelación de las escaleras del hospital (vista en 3D).....	52
Figura 2. 23: Modelación de las escaleras del subsuelo.....	52
Figura 2. 24: Modelación de las escaleras del primer piso	53
Figura 2. 25: Modelación de las escaleras del segundo piso	53
Figura 2. 26: Modelación de las escaleras del tercer piso.....	54
Figura 2. 27: Modelación de las escaleras del cuarto piso.....	54
Figura 2. 28: Modelación de las escaleras del quinto piso.....	55
Figura 2. 29: Modelación de las escaleras del sexto piso	55
Figura 2. 30: Modelación de las escaleras de la terraza.....	56
Figura 2. 31: Planta Subsuelo.....	62
Figura 2. 32: Planta primer piso	63
Figura 2. 33: Planta segundo piso	66
Figura 2. 34: Planta tercer piso	67

Figura 2. 35: Planta cuarto piso	68
Figura 2. 36: Planta quinto piso	69
Figura 2. 37: Planta sexto piso	70
Figura 2. 38: Modelación final del subsuelo.....	75
Figura 2. 39: Modelación final del primer piso	76
Figura 2. 40: Modelación final del segundo piso.....	76
Figura 2. 41: Modelación final del tercer piso	77
Figura 2. 42: Modelación final del cuarto piso	77
Figura 2. 43: Modelación final del quinto piso.....	78
Figura 2. 44: Modelación final del sexto piso.....	78
Figura 2. 45: Modelación final séptimo piso	79
Figura 2. 46: Modelación final del Hospital Vicente Corral Moscoso	82
Figura 2. 47: Vista 1 de la modelación en 3D.....	82
Figura 2. 48: Vista 2 de la modelación en 3D.....	83
Figura 2. 49: Acercamiento de la modelación en 3D.....	83
Figura 2. 50: Número de ocupantes en habitaciones seleccionadas.....	84
Figura 2. 51: Densidad de los ocupantes en el tiempo 0,0 seg	85
Figura 2. 52: Densidad de los ocupantes en el tiempo 10,7 seg	85
Figura 2. 53: Densidad de los ocupantes en el tiempo 35,1 seg	86
Figura 2. 54: Densidad de los ocupantes en el tiempo 118,4 seg	86
Figura 2. 55: Densidad de los ocupantes en el tiempo 235,0 seg	87
Figura 2. 56 : Densidad de los ocupantes en el tiempo 435,7 seg	87
Figura 2. 57 : Densidad de los ocupantes en el tiempo 577,8 seg	88
Figura 2. 58: Ubicación de los puntos de encuentro de la unidad hospitalaria.....	89
Figura 2. 59: Modelación final de la unidad hospitalaria	91
Figura 2. 60: Modelación final del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso con tiempos basados en un simulacro real.....	93
Figura 3. 1: Vista Frontal de los pórticos considerados en el análisis	95
Figura 3. 2: sismo AGYE N.....	96
Figura 3. 3: sismo PRAM N.....	97
Figura 3. 4: sismo AOTA N.....	97
Figura 3. 5: curva Pushover con efectos lineal y P-Delta, y V (475 años y 25000 años) – pórtico 1.....	99



Figura 3. 6: curva Pushover con efectos lineal y P-Delta, y V (475 años y 25000 años) – pórtico 2.....	100
Figura 3. 7: curva Pushover con efectos lineal y P-Delta, y V (475 años y 25000 años) – pórtico 2.....	100
Figura 3. 8: Catálogo de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo.....	104
Figura 3. 9: Hospital Regional Vicente Corral Moscoso	109
Figura 3. 10: Hospital Regional Vicente Corral Moscoso en software especializado	109
Figura 3. 11: Posible diseño de gradas de emergencia	110
Figura 3. 12: Colocación de una simulación de unas gradas de emergencia	111
Figura 3. 13: Señalización de la ruta de evacuación hacia las gradas de emergencia	111



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1: Pacientes atendidos en consulta externa de enero a junio 2018.....	61
Tabla 2. 2: Porcentaje de nivel de confianza.....	72
Tabla 2. 3: Clasificación de la muestra consulta externa	73
Tabla 2. 4: Cálculo de velocidad de paso de los ocupantes de la unidad hospitalaria	74
Tabla 2. 5: Tiempos que tardan las personas en llegar a los puntos de encuentro desde las salidas	90
Tabla 2. 6 Cálculo de la velocidad de paso de los ocupantes	92
Tabla 3. 1: valores de Fcs.....	97
Tabla 3. 2: valores de Fcs.....	98
Tabla 3. 3: valores de Fcs.....	98
Tabla 3. 4: derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 1 con los sismos analizados.....	102
Tabla 3. 5: derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 2 con los sismos analizados.....	102
Tabla 3. 6: derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 3 con los sismos analizados.....	102
Tabla 3. 7: derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 1 con los sismos analizados.....	103
Tabla 3. 8: derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 2 con los sismos analizados.....	103
Tabla 3. 9: derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 3 con los sismos analizados.....	103
Tabla 3. 10: Propiedades del aislador elegido.....	105
Tabla 3. 11: derivas de piso del pórtico 1 con los sismos analizados.....	105
Tabla 3. 12: derivas de piso del pórtico 2 con los sismos analizados.....	106
Tabla 3. 13: derivas de piso del pórtico 3 con los sismos analizados.....	106



ÍNDICE DE ANEXOS

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



RESUMEN

“DETERMINACIÓN DEL TIEMPO, FLUJO DE EVACUACIÓN Y POSIBLES VÍCTIMAS POR UN EVENTO EXTREMO EN EL HOSPITAL REGIONAL VICENTE CORRAL MOSCOSO, DE LA CIUDAD DE CUENCA, PROVINCIA DEL AZUAY”

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; permitiendo confrontar el tiempo obtenido en la modelación, con respecto al tiempo de ocurrencia de la deriva máxima, determinado en una investigación anterior mediante el análisis dinámico no lineal en 2D, análisis que 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, M.Sc.

Ing. José Fernando Vázquez Calero, M.Sc.

Director del Trabajo de Titulación

Coordinador de Escuela

Gabriela Estefanía Calle Arévalo

Autor

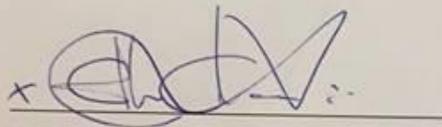
ABSTRACT

“DETERMINATION OF TIME, EVACUATION FLOW AND POSSIBLE VICTIMS DUE TO AN EXTREME EVENT IN THE VICENTE CORRAL MOSCOSO REGIONAL HOSPITAL OF CUENCA, PROVINCE OF AZUAY”

ABSTRACT

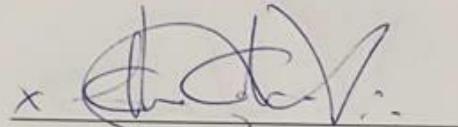
This research carried out an evacuation modeling and simulation at the Vicente Corral Moscoso Regional Hospital of Cuenca through the help of specialized software. The total number of occupants who evacuated the hospital unit was theoretically obtained with a time modeling and was compared with a real simulation performed in the hospital. It was possible to compare the time obtained in the modeling with the time of occurrence of the maximum drift taken from a previous investigation that used nonlinear 2D dynamic analysis. This analysis allowed to determine the possible victims in a seismic threat due to a possible collapse of the hospital structure.

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



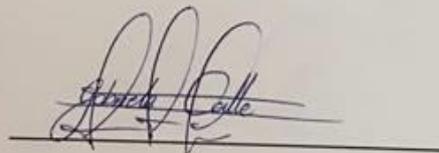
Ing. José Fernando Vázquez Calero, M.Sc.

Thesis Director



Ing. José Fernando Vázquez Calero, M.Sc.

Faculty Coordinator



Gabriela Estefanía Calle Arévalo

Author



Calle Arévalo Gabriela Estefanía

Trabajo de Titulación

Ing. José Fernando Vázquez Calero, M.Sc.

Noviembre, 2018

**“DETERMINACIÓN DEL TIEMPO, FLUJO DE EVACUACIÓN Y
POSIBLES VÍCTIMAS POR UN EVENTO EXTREMO EN EL HOSPITAL
REGIONAL VICENTE CORRAL MOSCOSO, DE LA CIUDAD DE
CUENCA, PROVINCIA DEL AZUAY”**

INTRODUCCIÓN

Una catástrofe, puede ocurrir en cualquier lugar y cualquier momento, poniendo en riesgo la integridad física de un sin número de personas y ocasionando, en la mayoría de los casos daños físicos en la estructura o posiblemente el colapso de la misma (Rosas, 2010).

Los desastres, principalmente los de origen geológico, aún no pueden ser prevenidos, ni mucho menos evitados. Por ello, la manera recomendada de enfrentarlos y disminuir los daños que producen tanto en pérdidas económicas como de vidas, es estar preparados con planes de mitigación y propuestas seguras hospitalarias para atención continua y así garantizar la vida y seguridad de las personas (Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), 2010).

El lado humano y psicológico en caso de desastre se referencia a las experiencias de comportamiento social, ya sea individual como colectivas, que se han llegado a presentar en eventos que amenazan la vida humana y que en cuestión de minutos afectan la vida de miles de personas por acontecimientos de desastres naturales o provocados. La respuesta humana a los desastres, reflejan el comportamiento de todos los individuos que en un breve momento llega a afectar su entorno social y físico.

Para cualquier tipo de desastre que se pueda suscitar en la edificación hospitalaria; es necesario un diseño de evacuación, rutas apropiadas y accesibles que permitan evacuaciones masivas sin pérdidas humanas o con el mínimo de ellas (Rivera, Mazadiego, & Martinez, 2011).

En el capítulo I se recopilará la información de la investigación anterior para la modelación geométrica de la edificación, y de los ocupantes (pacientes, personal, visitas) mediante la utilización del software especializado.

En el capítulo II se realizará la modelación de la evacuación de la edificación ante una situación de emergencia con su respectivo plan de rutas de escape, análisis en corredores, puntos críticos, etc. Determinando el tiempo de evacuación de los ocupantes mediante la utilización del software especializado.

En el capítulo III se realizará la comparación técnica de evacuación versus la posibilidad de colapso en la entidad hospitalaria mediante la sistematización de la información del comportamiento dinámico no lineal en 2D en su estado actual y con una medida de mitigación.

Finalmente se presenta la bibliografía, que complementa la investigación realizada.

GENERALIDADES

Antecedentes

Ecuador ha sido repetidamente afectado por diferentes desastres, los cuales han generado extensas pérdidas de vidas humanas y materiales que interfieren con el proceso de desarrollo del país, especialmente en sectores donde la población es vulnerable a eventos catastróficos.

“La salud Pública, en los momentos actuales, tiene que ofrecer respuestas diferentes a las que tradicionalmente han organizado” (Granda, 2012), es por esta razón que se debe establecer un marco seguro en los diferentes hospitales frente a situaciones de desastres. Principalmente en la ciudad de Cuenca se han identificado aproximadamente 60 sectores vulnerables; según estudios realizados, principalmente

es susceptible a sufrir tres tipos de problemas: inestabilidad de terrenos, inundaciones y sismos (El Tiempo, 2014), por lo que se debe garantizar que las edificaciones hospitalarias permanezcan en funcionalidad continua ante cualquier desastre para ofrecer servicios de salud con el tratamiento de los pacientes internados en sus instalaciones y adicionalmente deben atender a la mayor cantidad de personas que requieran de atención prioritaria como consecuencia del evento adverso.

La función principal de una edificación hospitalaria es preservar la salud de sus pacientes y buscar la recuperación de una comunidad ante un desastre, sin embargo en muchas ocasiones la infraestructura sufre daños que comprometen su funcionamiento y se convierte en un peligro para la comunidad, por lo que se debe tomar la decisión de evacuar el establecimiento de salud, ya que se encontrarían en una situación de riesgo.

Para realizar una evacuación se debe tomar en cuenta la dificultad que representa para aquellos pacientes cuya movilización resulta delicada y potencialmente peligrosa para su vida y salud. Para este tipo de pacientes cuya salud se encuentra asistida por equipos e insumos médicos, la evacuación representa un mayor riesgo, que el permanecer al interior del establecimiento. En consecuencia, se debe realizar una rápido triage (método que se utiliza para clasificar y seleccionar los pacientes de un hospital en prioridades de atención, según las posibilidades de supervivencia) de los pacientes para determinar el sitio de destino y sopesar claramente el beneficio del traslado versus la permanencia en el hospital.

La mayoría de los pacientes se encuentran acompañados por familiares o amigos durante su estancia en el hospital, por lo que es necesario considerar el área de la instalación hospitalaria. En investigaciones anteriores se ha determinado que el número medio de acompañantes por paciente en una zona de consultas durante todo su periodo de funcionamiento es de una persona, mientras que en el área de hospitalización el número varía entre 1, 2 y 0,5 para los turnos de mañana, tarde y noche respectivamente (Cuesta Pinedo, 2013).

Desde el año 2005 se ha venido desarrollando la Campaña Mundial para la Reducción de Desastres, la cual propone 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 secretaria 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 incrementar la conciencia acerca de cómo y por qué se deben redoblar los esfuerzos para proteger las instalaciones de salud y velar por su funcionamiento durante y después de un desastre (Salud, 2009).

El proyecto de investigación científica en la línea de Hospitales Seguros Frente a Desastres que lleva adelante la Universidad del Azuay con su Facultad de Ciencia y Tecnología dentro de la escuela de Ingeniería Civil y Gerencia en Construcciones, pretende simular con un software comercial especializado el tiempo total que se requiera evacuar a los ocupantes del Hospital Vicente Corral Moscoso ante una situación de emergencia y la determinación del número de personas que logran evacuar ante un sismo muy extremo en estado actual y ante la utilización de una medida de mitigación (aisladores elastoméricos con núcleo de plomo), ya que se considera de gran importancia este hospital para la ciudad de Cuenca.

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.

Objetivos específicos

- Determinar el tiempo de evacuación total de los ocupantes en la edificación hospitalaria.
- Analizar el tiempo de evacuación de la edificación hospitalaria, determinando el número de personas que podrían desalojar antes del colapso de la estructura

en estado actual y con la aplicación de una medida de mitigación ante una amenaza sísmica mediante un software especializado.

- Comparar en el tiempo la cantidad de personas evacuadas vs el tiempo del colapso de la estructura ante sismos ocurrientes extremos.

Justificación

Son muy escasas las referencias en revistas y foros de impacto científico al problema de la evacuación de personas vulnerables en caso de emergencia, ya que lo ideal sería que las estructuras hospitalarias continúen funcionales después de una situación de emergencia, al no ser esto posible en muchas ocasiones lo conveniente es poder evacuar a todas las personas que se encuentran dentro de estas instalaciones debido a los daños ocasionados. Los hospitales son evacuados por lo general a su parte externa (parqueos, zonas verdes, corredores, etc.), y en la mayoría de los casos esta no es una zona segura, pero no se cuenta con otra alternativa.

Los desastres provocados por la sismicidad constituyen uno de los eventos de mayor afectación para el ser humano, es por esta razón que en la presente investigación se analizará el tiempo y flujo de evacuación ante un evento extremo en el Hospital Vicente Corral Moscoso y determinación de posibles víctimas por el colapso de la estructura ante amenaza sísmica.

Metodología

El trabajo de tesis empezará con la recolección y clasificación de la información arquitectónica y de ingeniería de la entidad hospitalaria, de la tesis realizada por la Ing. Carla Vintimilla y la Ing. Adriana Fajardo, de la misma manera se recopilará información de la unidad hospitalaria mediante visitas a la misma y entrevistas a los diferentes funcionarios, para identificar las rutas de evacuación, ubicación de las salidas de emergencia, iluminación de la ruta de evacuación, señalización de las salidas, puertas y rutas de escape y entre otros factores de importancia con la finalidad de contar con los datos requeridos para realizar el proyecto.

A continuación, se realizará la modelación del bloque principal de hospital con la utilización de software comercial especializado pudiendo determinar el tiempo total

de evacuación de los ocupantes bajo diferentes factores necesarios para su análisis como es: la tipología de pacientes y personal en las diferentes zonas del bloque que se va a considerar ya que cada unidad hospitalaria alberga a pacientes de diferentes características por lo que es impredecible valorar sus particularidades específicas.

Para realizar la modelación de la edificación hospitalaria se considerará la capacidad operativa o sea el número máximo de pacientes que se pueden atender simultáneamente, basándose en el servicio de atención de urgencias, del servicio de cirugía y de cuidados intensivos en condiciones normales y con el reforzamiento del mismo, de la misma manera se establecerá un flujo de familiares dentro de la unidad hospitalaria (Castillo, 2011).

Se empleará el tiempo obtenido en investigaciones previas realizadas mediante el análisis dinámico no lineal en 2D mediante la utilización del software de código abierto OpenSees ante una amenaza sísmica, para cuantificar el número de pérdidas humanas después del colapso de la estructura en su estado actual y con la aplicación de una medida de mitigación (aisladores elastoméricos con núcleo de plomo).

Se realizará un análisis comparativo en el tiempo de la cantidad de personas evacuadas vs el tiempo del colapso de la estructura ante sismos ocurrentes extremos.

Estado del arte y marco teórico

Los establecimientos de salud son catalogados como edificaciones esenciales y/o peligrosas, es decir, que deben garantizar ocupación inmediata y funcionalidad continua, por esta razón el nivel de diseño de los miembros estructurales y no estructurales son más exigentes en el país (NEC P. , 2014).

Las edificaciones hospitalarias no deben por ningún concepto colapsar, estas deberían ser más resistentes ante cualquier desastre para reducir riesgos que se puedan presentar; ya sean económicos o alguna pérdida humana, por lo que el sector de la salud debería lograr que los establecimientos de salud sean seguros frente a desastres.

Desde la conferencia internacional sobre la reducción de vulnerabilidad en establecimientos de salud varios hospitales han sido reforzados o construidos más resistentes, pero existen aún hospitales que han tenido graves consecuencias ante desastres como terremotos afectando en diferentes países como Colombia (1999), El Salvador (2001), Perú (2007), Haití, Chile, México (2010) y Ecuador (2016), afectando cuatro hospitales ubicados en Chone, Pedernales, Manta y Portoviejo (OPS/OMS, 2010).

En las estructuras esenciales existe un importante número de personas que reciben asistencia médica, trabajadores en general y familiares de pacientes internos, en donde las densidades de ocupación son elevadas y por lo tanto ante la presencia de una situación de emergencia, la totalidad de los ocupantes, en cualquier instante, deben tener la posibilidad de desplazarse hasta un lugar seguro en el mínimo tiempo con las suficientes garantías de seguridad (Capote, D., O., & Lázaro M. y Cuesta, 2009) (Cuesta, 2013).

Definiciones fundamentales

Ver **Anexo 1.**

CAPÍTULO 1

MODELACIÓN GEOMÉTRICA

El Hospital Regional Vicente Corral Moscoso se encuentra ubicado en la parroquia Huayna Cápac de la ciudad de Cuenca de la provincia del Azuay, en las avenidas 12 de Abril y avenida Paraíso.

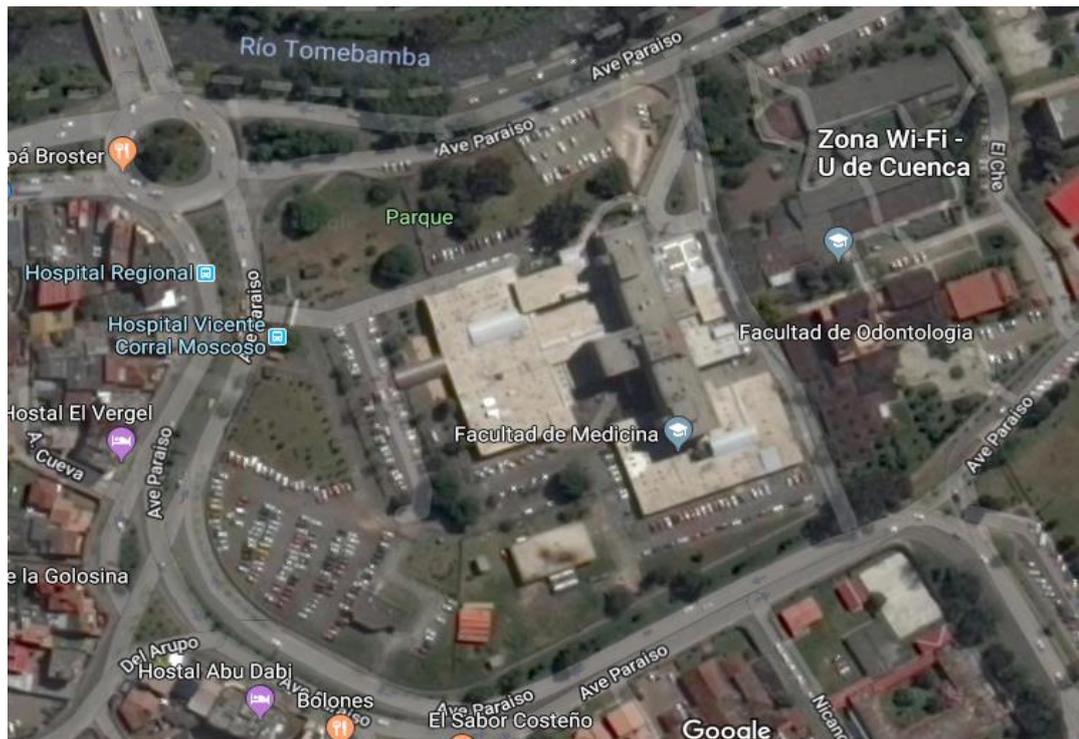


Figura 1. 1: Ubicación del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso

Fuente: Google Maps – mayo 2018

En 1872 bajo la dirección de las religiosas Hijas de la Caridad se inauguró el centro de salud llamada San Vicente de Paúl, en 1966 se construyó un edificio nuevo en el sector El Paraíso; en donde se mantiene hasta la actualidad y en 1977 se modificó el nombre del hospital en honor al Dr. Vicente Corral Moscoso.

El hospital regional es uno de los más prestigiosos en la ciudad de Cuenca debido a que cuenta con 45 especialidades, además la atención es las 24 horas del día. El hospital tiene la acreditación internacional de calidad, en el nivel oro, por parte de la organización Acreditación Canadá Internacional (ACI).

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

1.1 Levantamiento de información

1.1.1 Infraestructura física

La edificación hospitalaria tiene un área total de terreno de 41.111,00 metros cuadrados, el área de construcción en la plana baja es 9.796 ,00 metros cuadrados; verdes de 10.957,42,00 metros cuadrados, parqueadero y veredas de 20.357,58,00 metros cuadrados y un área de construcción total de 23.212,00 metros cuadrados.

El material de construcción es de ladrillo y hormigón armado, terrazas de ladrillo impermeabilizado con geomembrana en tres bloques:

1. Hospitalización, emergencia-centro de trauma
2. Consulta externa
3. Casa de máquinas

Planta baja: consta de servicios de: emergencia, parqueadero para personal de emergencia y temporal para familiares de paciente, clasificación de pacientes (Triage), centro de trauma, rehabilitación, centralilla de cableado telefónico, laboratorio patológico, morgue, lavandería, costura, nutrición, comedor, mantenimiento, bodega de insumos y materiales, mantenimiento y casa de máquinas.

Primera planta: parqueadero, consulta externa, banco de sangre, capilla, rayos x, central de esterilización, quirófano, residencia de anestesistas, centro obstétrico, hospitalización, neonatología, clínica de epilepsia, odontología, central de información, estadística, farmacia, central de cómputo (cableado estructurado), administración de caja y voluntariado.

Primera planta alta: contabilidad, centro de cómputo, área administrativa: dirección, servicios institucionales, gestión de enfermería, laboratorio clínico, ginecología.

Segunda planta alta: cirugía y sus especialidades.

Tercera planta alta: medicina Interna y sus especialidades.

Cuarta planta alta: unidad de cuidados intensivos, bodega y oficina de activos fijos, asesoría jurídica, biblioteca.

Quinta planta alta: pediatría y sus especialidades, unidad de quemados.

Sexta planta alta: terraza y sala de juegos de niños.

Cuenta con 3 puertas principales de acceso externo; consulta externa, emergencia y centro de trauma, mantenimiento y 3 puertas de acceso interno (nutrición, mantenimiento y área administrativa) (Vintimilla & Fajardo, 2016).

1.1.2 Recopilación de la información arquitectónica

El plano de la distribución actual de espacio se obtuvo a través del departamento de infraestructura física del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso, proporcionaron información referente a planos arquitectónicos, planos de instalaciones sanitarias y planos estructurales de las áreas construidas últimamente.

La mayor parte de las paredes son de mampostería de ladrillo enlucidas con mortero y revestimiento de pintura, áreas como rayos x están revestidos con placas de plomo tanto en las paredes como puertas, en el subterráneo las paredes están recubiertas con azulejos para facilitar su lavado y limpieza.

La losa de entepiso es alivianada revestida con cerámica; en la mayoría de pasillos y habitaciones del hospital está colocado cielo raso.

Las puertas de ingreso a las habitaciones y consultorios son de madera, se tiene puertas de ingreso a cada área y de ingreso principal de aluminio y vidrio, las ventanas son de hierro y vidrio, las baterías sanitarias constan de inodoros, lavamanos y duchas.

Se presentan los planos arquitectónicos de la Unidad Hospitalaria, en formato reducido para su interpretación.

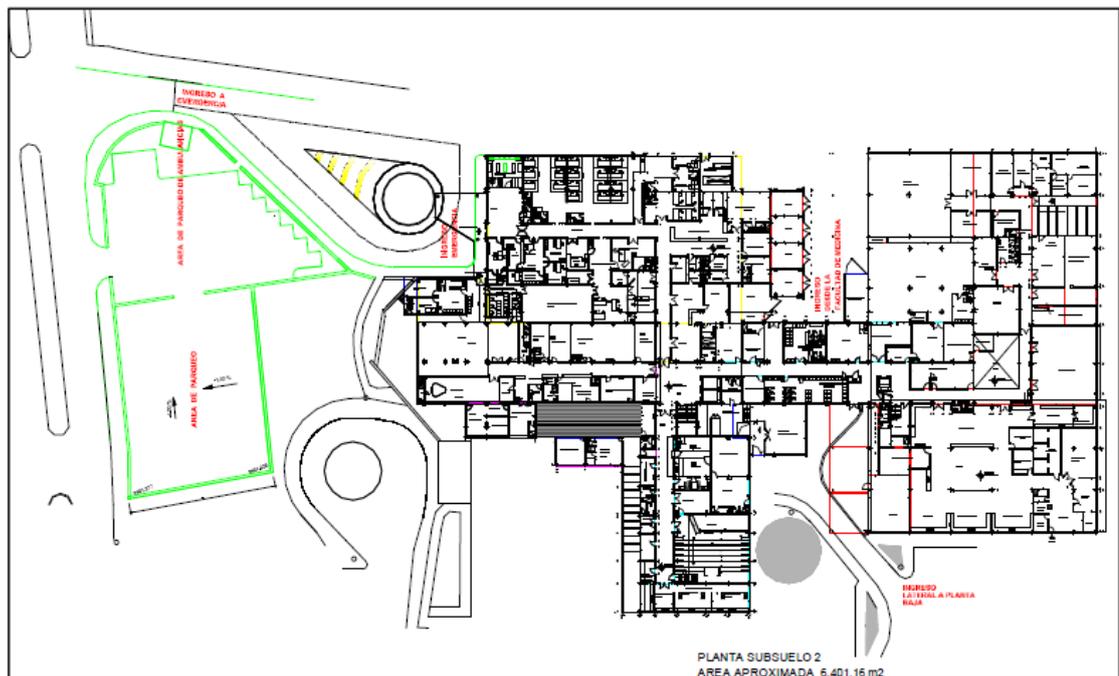


Figura 1. 2: Planta subsuelo Hospital Regional Vicente Corral Moscoso

Fuente: Departamento de infraestructura del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso

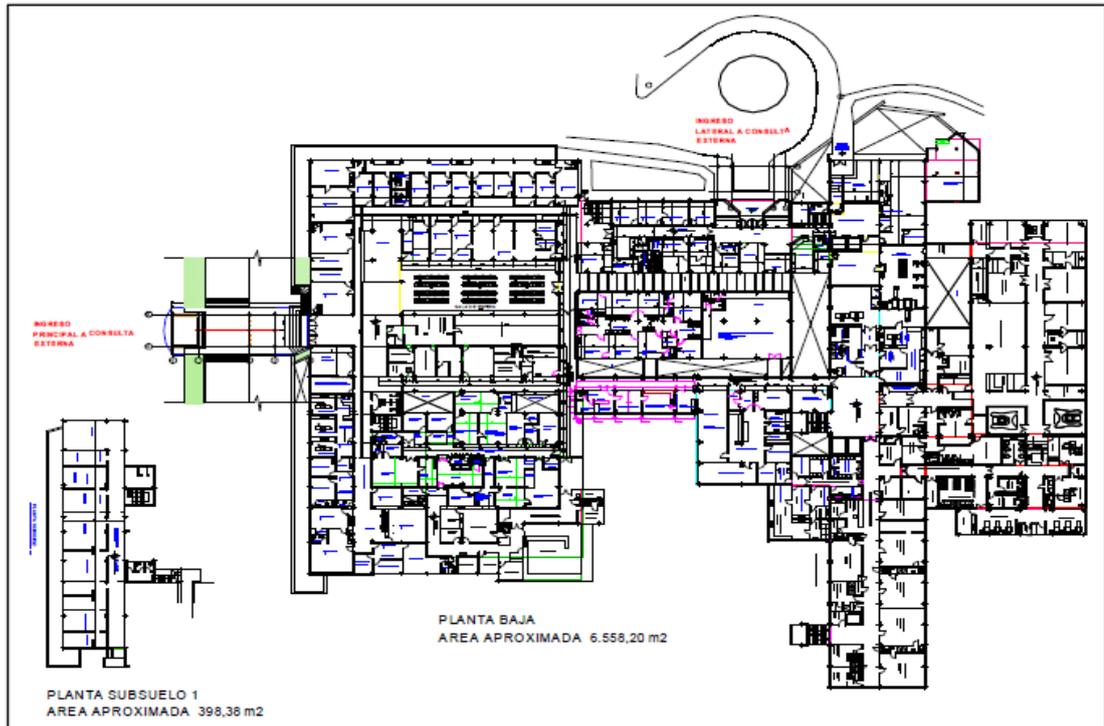


Figura 1. 3: Planta baja del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso

Fuente: Departamento de Infraestructura del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso

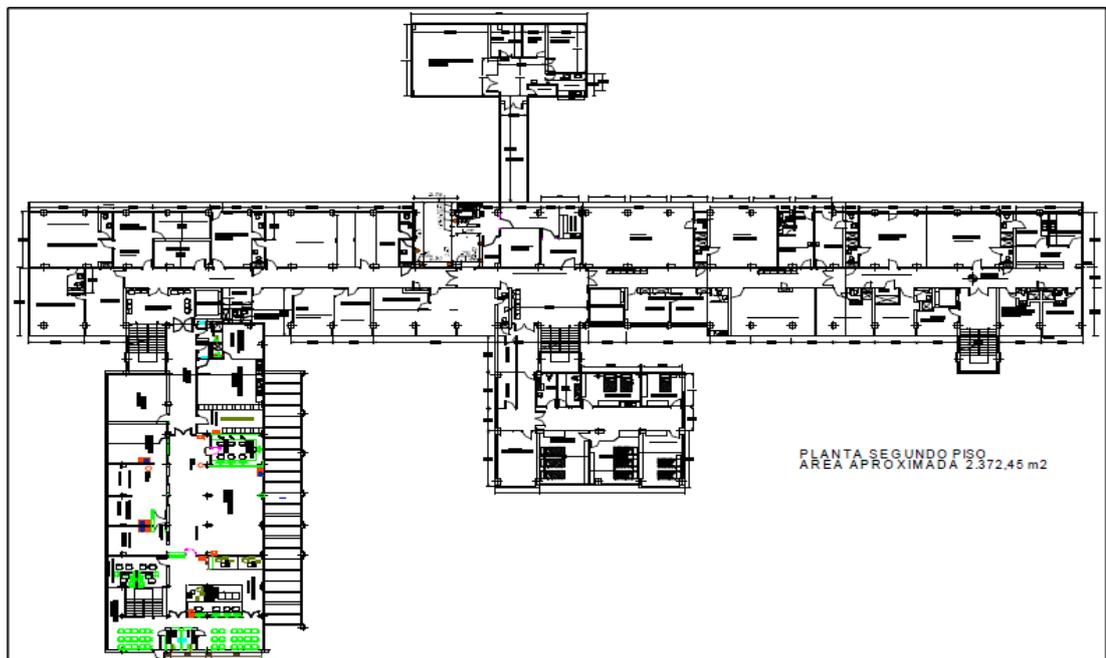


Figura 1. 4: Segundo Piso Hospital Regional Vicente Corral Moscoso

Fuente: Departamento de Infraestructura del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso

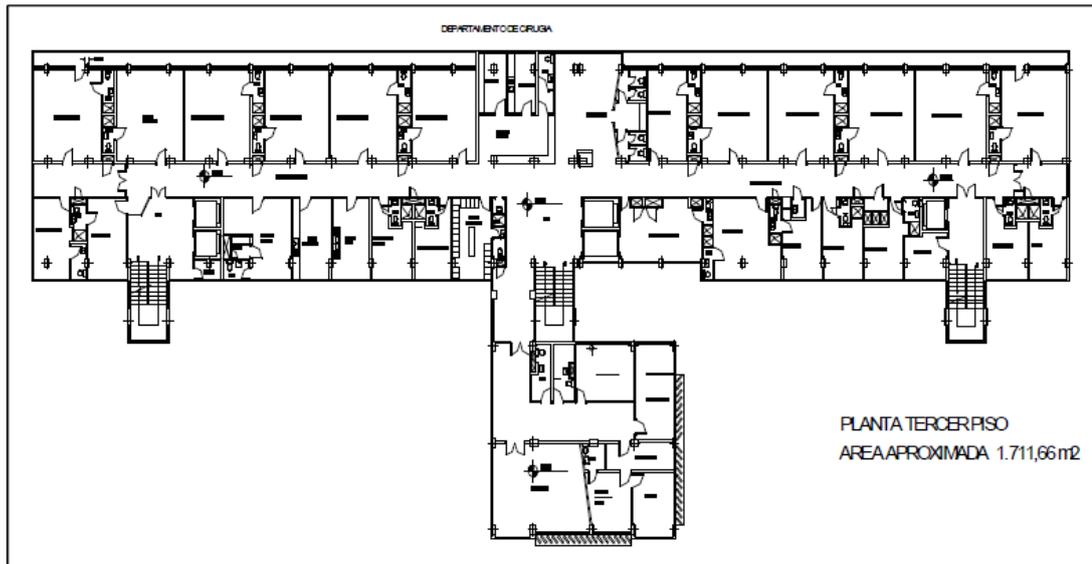


Figura 1. 5: Tercer Piso Hospital Regional Vicente Corral Moscoso

Fuente: Departamento de Infraestructura del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso

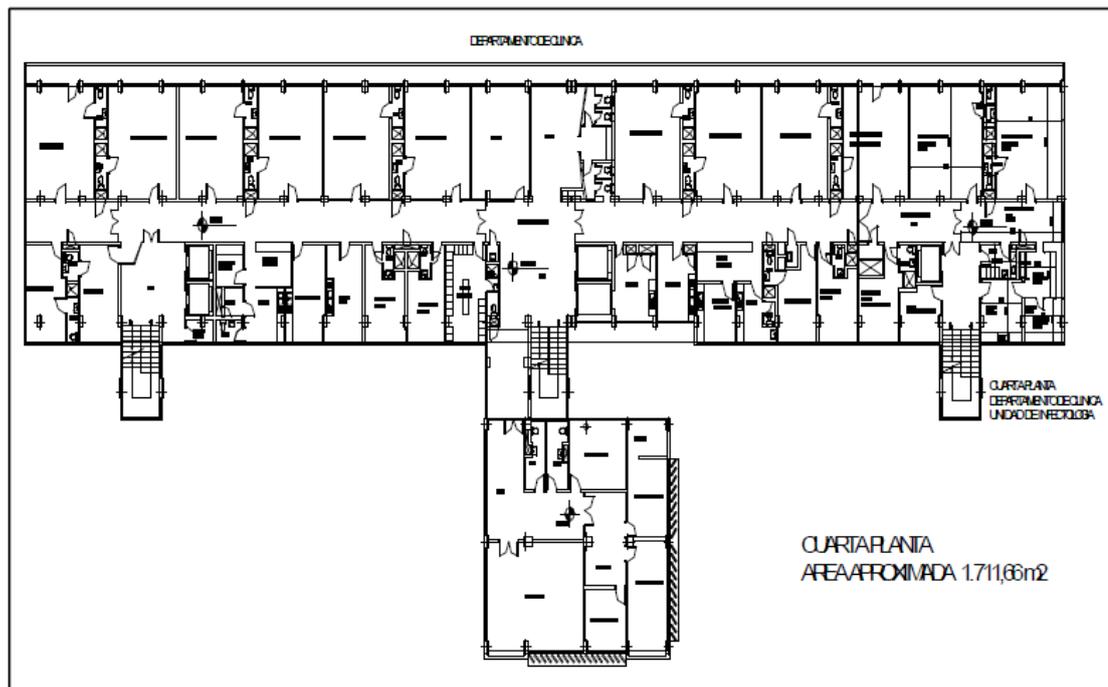


Figura 1. 6: Cuarto piso Hospital Regional Vicente Corral Moscoso

Fuente: Departamento de Infraestructura del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso

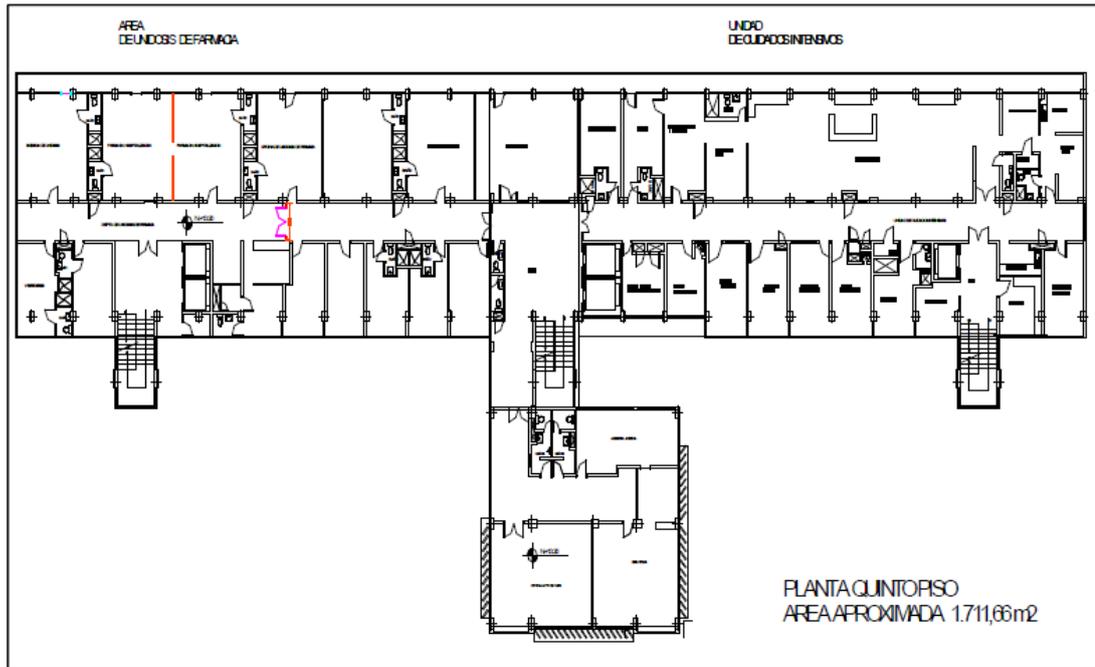


Figura 1. 7: Quinto piso Hospital Regional Vicente Corral Moscoso

Fuente: Departamento de Infraestructura del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso

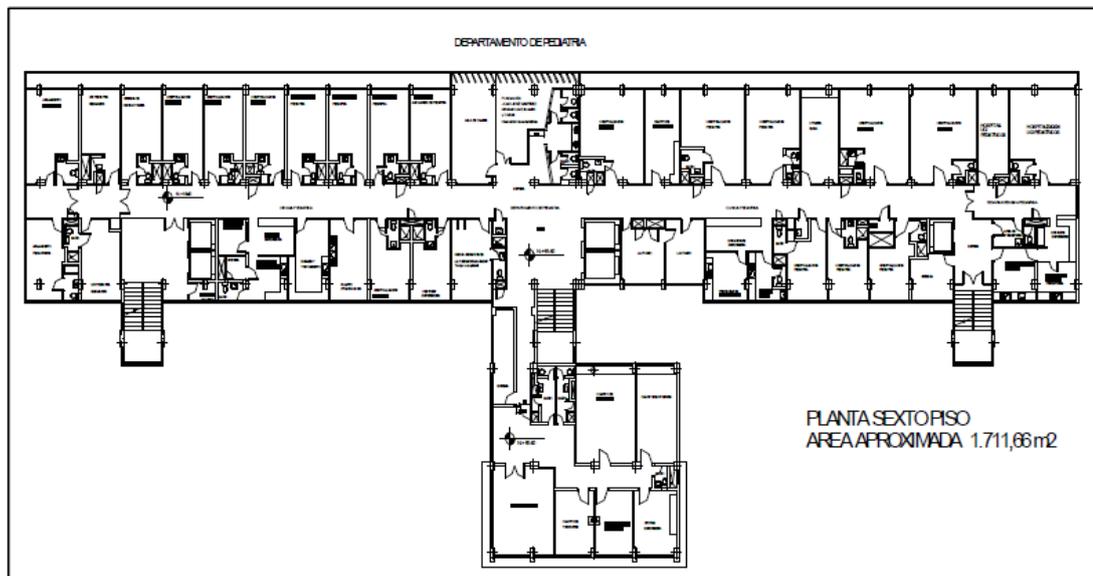


Figura 1. 8: Sexto piso Hospital Regional Vicente Corral Moscoso

Fuente: Departamento de Infraestructura del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso

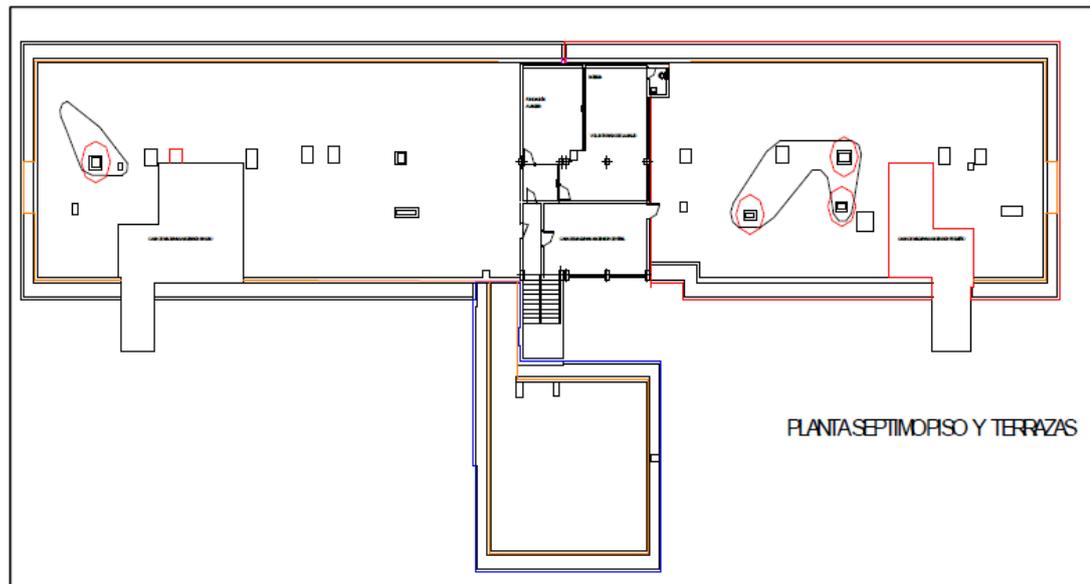


Figura 1. 9: Séptimo piso Hospital Regional Vicente Corral Moscoso

Fuente: Departamento de Infraestructura del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso

La información que se detalla a continuación son extraídas de la tesis anterior 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”, debido a que es necesaria para nuestra investigación (Vintimilla & Fajardo, 2016).

1.1.3 Amenazas

La unidad hospitalaria se encuentra afectada por varias amenazas como fenómenos: geológicos, hidrometeorológicos, sociales, sanitario-ecológico y químico-tecnológicos.

Nuestra investigación se encuentra enfocada en los fenómenos geológicos, determinados anteriormente, que son los que causan mayor gravedad.

1.1.3.1 Fenómenos geológicos

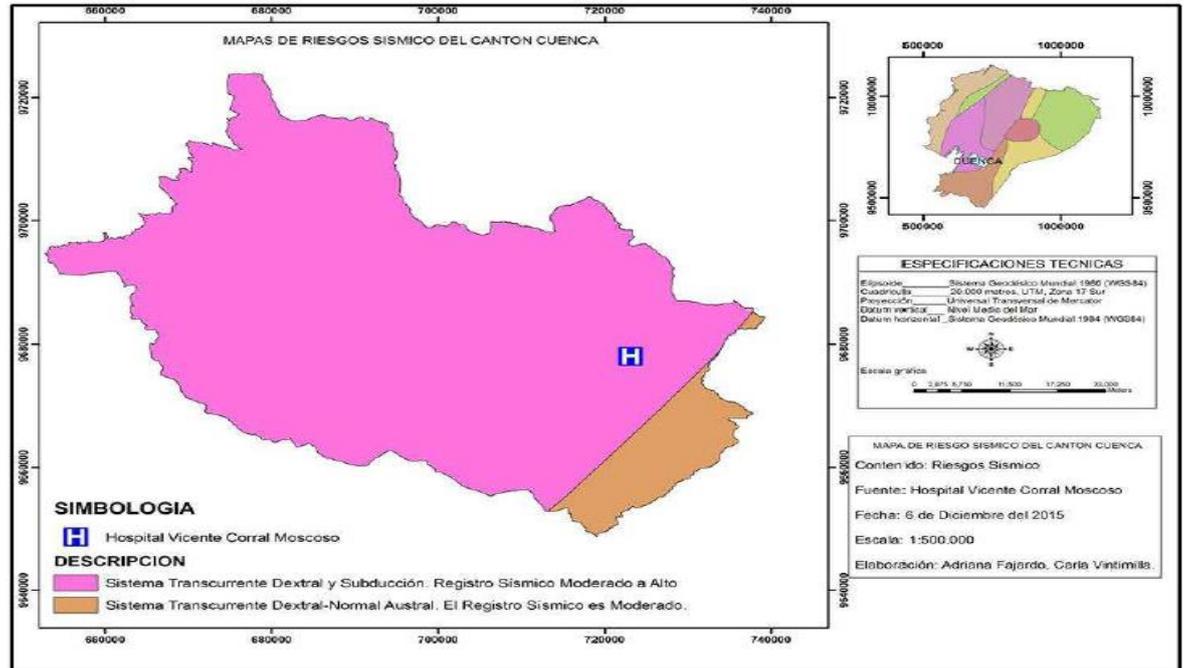


Figura 1. 10: Mapa de riesgo sísmico del cantón Cuenca

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

Un gran número de establecimientos de salud enfrentan riesgos de diversos grados ante desastres naturales, se estima que aproximadamente 50% de los 15 000 hospitales existentes en América Latina y el Caribe están ubicados en zonas de alto riesgo. Entre 1980 a 1995, un total de 93 hospitales y 538 centros de salud fueron dañados sensiblemente por desastres naturales (Bambaren Alatrística & Alatrística Gutierrez, 2007).

En el Ecuador, el cantón Cuenca ha sido escenario de enormes pérdidas materiales y vidas humanas, ocasionadas por eventos o fenómenos naturales como sismos, inundaciones, deslizamientos de tierra entre otros. Se suma además, el crecimiento acelerado y las condiciones de extrema pobreza que son condicionantes para que los peligros naturales generen graves consecuencias en los sistemas económico-sociales a los cuales debemos proteger reduciendo las particulares condiciones de vulnerabilidad que le son características (Bermeo Moyano, Cornejo de Grunauer, Zorrilla, Bermúdez, & Estacio, 2010). Según la norma (NEC, 2014) la ciudad de Cuenca se encuentra dentro de una zona de alto peligro sísmico, esto se confirma

con el mapa de riesgo sísmico de la parroquia Huayna-Cápac de la figura 1.10, en dónde se encuentra la unidad hospitalaria.

1.1.4 Elementos arquitectónicos

Se puede observar el deterioro de la planta física del hospital, algunos elementos cumplieron su vida útil como las puertas ubicadas en la parte interior, no cuenta con vidrio laminado de seguridad ni un sistema de apertura de emergencia excepto en el área de hospitalización. Las ventanas de las fachadas se encuentran en grave riesgo de verse afectadas por el viento o sismos que se puedan generar.

Para las conexiones eléctricas no se toman medidas de seguridad necesarias, no se sigue un orden en la distribución del cableado de los tomacorrientes, lo que resulta inseguro porque se puede generar cortocircuitos.

Sistema contra incendios

El hospital cuenta con un sistema elemental contra incendios como: extintores, hachas y pequeñas alarmas de emergencia; excepto el laboratorio que cuenta con detectores de humo. En caso de generarse un incendio no existe tomas de agua en cada planta y cuenta únicamente con un hidrante para todo el hospital que se encuentra ubicado en la zona de emergencia; dando como resultado un sistema ineficiente, por lo que es necesario mejorar e implementar el sistema y realizar cursos de capacitación e información acerca de las formas de evacuación.

Ascensores

El hospital cuenta con seis ascensores divididos en tres grupos, el primero se encuentra ubicado en el extremo derecho del hospital, es de uso exclusivo para transportar ropa y desechos contaminados; los de la parte central se utilizan para camillas, transportar alimentos y personas en general; el último grupo de ascensores se encuentran fuera de servicio desde hace más de 15 años. Estos cuentan con una capacidad de 14 personas resistiendo un peso de 1400 Kg y se ha cambiado los ascensores tres veces durante los últimos 25 años.

Gradas y escaleras

El hospital cuenta con tres grupos de escaleras principales ubicadas a lado de los ascensores, todas ellas cuentan con ventanales que constituyen un peligro, en el caso de un sismo se pueden romper y causar daños a las personas e interrumpir la circulación por lo que son de libre tránsito.

El hospital no cuenta con gradas de emergencia externa, uno de los puntos seguros de evacuación da a una terraza que no cuenta con acceso hacia el primer paso resultando ineficiente y peligroso.

Otro problema es la falta de señalización, las existentes no son lo suficientemente claras para guiar al personal, pacientes y visitas a puntos seguros y salidas de emergencia, en el caso de ocurrir un sismo, explosión o incendio, dependiendo de la intensidad del daño, el hospital quedaría fuera de servicio, no existe una correcta preparación de recursos humanos ni material correspondiente.

El hospital se encuentra rodeado de numerosos árboles de altura considerable que pueden caer obstaculizando las entradas y dejar sin acceso, ya que se encuentran muy cercanas a estas, por ejemplo la caída de ramas y árboles en la Avenida 12 de abril, el árbol de capulí se desmoronó en la entrada de emergencia y caída de las ramas en el parqueadero en la zona de ambulancias. 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).

Al recopilar la información de la tesis anterior realizada por las ingenieras Carla Vintimilla y Adriana Fajardo, han determinado el estado en que se encuentra el hospital y que se encuentra en categoría B, es decir, que se requiere medidas necesarias en el corto plazo, ya que los niveles actuales de seguridad del establecimiento pueden potencialmente poner en riesgo a los pacientes, al personal y su funcionamiento durante y después de un desastre.

1.2 Modelación de la edificación en software especializado

La modelación de la edificación es fundamental para continuar con la simulación de evacuación de los ocupantes ante una situación de riesgo por lo que es necesario realizar el modelo en 3D del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso. Se utilizará también datos ya realizados en la investigación anterior por las ingenieras Carla Vintimilla y Adriana Fajardo.

Lo que se pretende es importar el modelado en 3D de hospital al software de evacuación, debido a que no permite realizar este tipo de funciones, es decir, generar la estructura en 3D.

1.2.1 Modelado 3D del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso

Recopilando la información de la investigación realizada anteriormente se puede ejercer la realización del modelado 3D del hospital regional en los softwares ARCHICAD y AutoCAD.

Es necesario la generación de muros, columnas, vigas, losas, división entre habitaciones, ya sea para el área administrativa, salas de cirugía, medicina interna, cuidados intensivos, bodegas, baños, biblioteca, área de asesoría jurídica, enfermería, laboratorio clínico, pediatría, también se debe realizar los corredores, escaleras o gradas, ascensores, etc. La modelación de todas estas áreas es importante, debido a que se utilizará en la modelación de evacuación en un software especializado que se hablará detalladamente en el siguiente capítulo.

El modelado principal del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso se realizó en el software ARCHICAD de libre acceso con una licencia estudiantil que nos permite trabajar libremente.

Se mostrará el modelado 3D del hospital regional, en formato reducido para su interpretación:



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

Fuente: (Vintimilla & Fajardo, 2016)

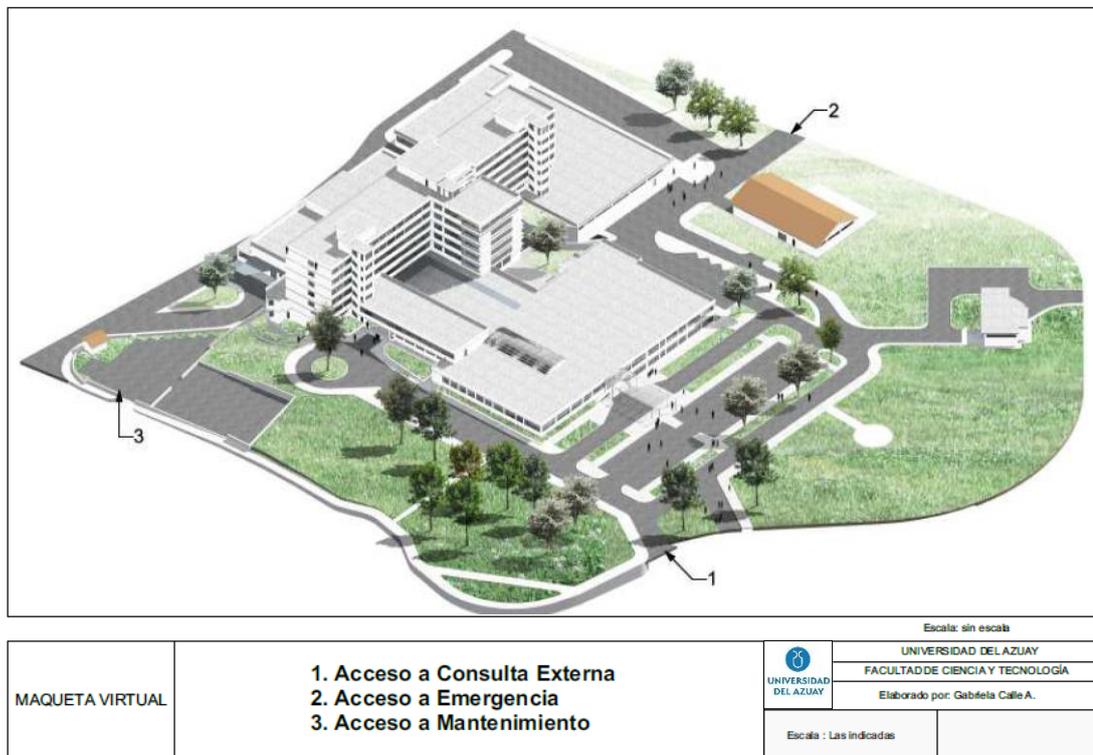


Figura 1. 12: Render Axonometría Hospital Regional Vicente Corral Moscoso

Fuente: (Vintimilla & Fajardo, 2016)

El programa de evacuación nos permite importar modelados en 3D en formato DWG, el programa que utiliza este formato es AutoCAD, que es fácil de usar si es necesario hacer algunos cambios, por este motivo se realizó principalmente el cambio de formato del software ARCHICAD, debido que este genera archivos con formato PLA, PLH, entre otros y son formatos no compatibles con el software mencionado anteriormente.

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

Dentro de una edificación hospitalaria se destacan tres áreas en cuanto al tratamiento de los pacientes, el tiempo de permanencia y sobretodo la gravedad de los pacientes. En cada una de las áreas que albergan a los pacientes se tienen recintos propios del uso médico como son habitaciones, consultas, quirófanos, salas de espera, entre otros. Se cuenta además con recintos para otros usos como son despachos, vestuarios, administrativos, cocina, cafetería, oficinas, etc.

1.3.1 Áreas de la unidad hospitalaria

- **Área de hospitalización**

Es el espacio en dónde 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. El principal objetivo de los profesionales que forman parte de la unidad de hospitalización es realizar un diagnóstico correcto, brindar un tratamiento adecuado y dar los cuidados asistenciales hasta el momento del alta al paciente (Pinedo, 2013).

- **Área de consultas o asistencia primaria**

En esta área se recibe a los pacientes con cita previa y durante un horario restringido, se realiza el diagnóstico, el tratamiento o seguimiento de un paciente con base a su historia clínica y la exploración 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 de urgencia y se realizan intervenciones quirúrgicas de gran índole (Pinedo, 2013).

1.3.2 Personal

En los centros hospitalarios existen trabajadores con diferente profesión como son: mantenimiento, administración, limpieza, medicina, enfermería, seguridad, etc. Esto implica que ante una situación de emergencia no todos los trabajadores del centro hospitalario van a tener la misma capacidad para colaborar en las actividades de evacuación y seguridad de los pacientes.

La determinación de evacuar de una u otra forma, debe ser tomada por el director del hospital, el jefe de atención médica, el administrador, el jefe de enfermería o el médico de turno, pudiendo ser motivada también por personal extra hospitalario, como en el caso de los bomberos, quienes a través de un previo conocimiento del plan del hospital, de su estructura y conformación, podrán asumir el liderazgo de la acción en el momento requerido. Para el caso de los hospitales, ciertas evaluaciones deben ser realizadas previas a cualquier evento. Posterior a un movimiento sísmico deben constituirse grupos compuestos por el personal calificado mencionado para evaluar inmediatamente el estado de la edificación y tomar las medidas pertinentes (Martínez Valdés, y otros, 2010), (Sánchez Parra, Franco, Álvarez, & Recuero, 2013).

1.3.3 Pacientes

La mayoría de los pacientes que ingresan a un establecimiento hospitalario son personas de la tercera edad, los cuales muy independiente de la enfermedad que padecen, necesitan de otras personas para poder movilizarse y más en el caso de una evacuación.

Por lo general cuando ingresan los pacientes a la unidad hospitalaria se procede a un triage, que como ya se había mencionado anteriormente es la clasificación de los pacientes en base a diferentes criterios como son: la edad, grado de movilidad,

consumo de recursos, el diagnóstico, la duración de la estancia en el centro hospitalario, etc.

Existen Sistemas de Clasificación de Pacientes (SCP) para las diferentes áreas de un centro, y entre los SCP que se basan en la información disponible a partir de los datos hospitalarios se encuentran: Grupos Relacionados por el Diagnóstico (GRD), Disease Staging y Patient Management Categories, siendo el primero el de mayor difusión y uso internacional (Pinedo, 2013).

Los sistemas de clasificación de pacientes tienen como finalidad medir la productividad asistencial y el consumo de recursos, para así establecer un orden de atención a los pacientes en las tareas del hospital, sin existir un criterio oficial que los clasifique en función a su vulnerabilidad en caso de evacuación.

También se clasifica a los pacientes según el tiempo que van a estar en las instalaciones del centro hospitalario, esto varía según el tipo de patología o tratamiento médico que necesite (Martínez Valdés, y otros, 2010), (Sánchez Parra, Franco, Álvarez, & 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 el proceso de evacuación parcial o total de las instalaciones hospitalarias (Morales Soto, 2000), (Desastres, 2009).

1.3.3.1 Tipos de pacientes

A continuación se mencionará los diferentes tipos de pacientes que se pueden encontrar en un hospital:

- **Pacientes con movilidad reducida:** son pacientes que tienen dificultad para desplazarse por sí solos, por lo que necesitan la ayuda parcial del personal para poder evacuarlos.
- **Pacientes ambulantes:** estos pacientes 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 equipos 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 pacientes 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.

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

1.3.3.2 Medios de traslado de los pacientes

En el caso de producirse una emergencia para realizar el traslado de los pacientes con movilidad reducida, no ambulantes o conectados a equipos de soporte vital, se debe utilizar medios auxiliares como sillas de ruedas, camillas o las camas en las que se encuentran.

En ciertos casos el destino de evacuación no tiene el suficiente espacio para albergarlos, esto es debido a que se va a realizar una evacuación vertical o porque no se cuenta con los medios auxiliares necesarios, es por esta razón que todo el personal del hospital debe conocer las técnicas de traslado (Pinedo, 2013).

1.3.4 Visitas

En la unidad hospitalaria debería haber un plan o procedimientos para la evacuación cuyas acciones tiendan a preservar la vida y la integridad física de los trabajadores, pacientes, visitas y personal del establecimiento ante una situación de emergencia, así como salvaguardar sus bienes y equipos. Cuando se presenta la necesidad de evacuar una instalación hospitalaria, deberán evacuarse las visitas e impedir el ingreso al hospital de personal distinto al necesario para la atención de la

emergencia. También es de gran importancia verificar que los sistemas de anuncios, altavoces, intercomunicadores y otros estén en buen estado para así poder comunicarse con el personal, pacientes y sus familiares.

Al evacuar la unidad hospitalaria, el personal del hospital, las visitas y demás personas deben dirigirse a una zona de seguridad y de esta manera cumplir con las instrucciones que establezca el líder de la brigada rescatasta.

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

La modelación de la evacuación de la unidad hospitalaria es fundamental, para así poder determinar el tiempo que demoran los ocupantes en desalojar el mismo; por esta razón se explicará cómo es la modelación en el software especializado que se muestra en la figura 1.13 (Thunderhead Engineering, 2018).

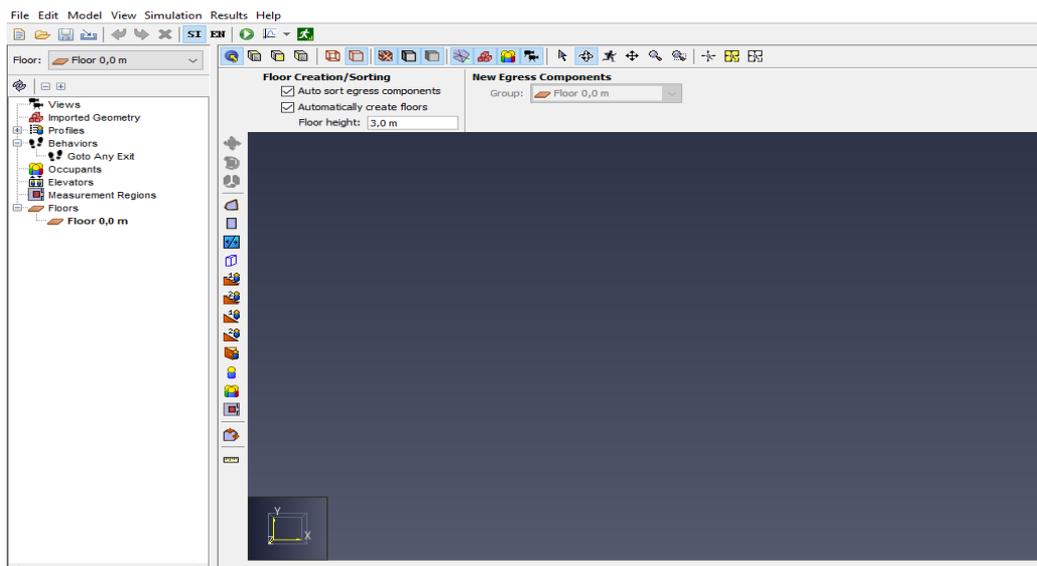


Figura 1. 13: Ventana principal del software especializado

Fuente: Autoría Propia

El programa nos permite importar archivos DXF y DWG en formato AutoCAD; debido a que en el mismo no realiza funciones como crear una estructura en 3D, pero si nos permite importar planos, fotos en formato PDF, modelos en 3D, etc.

El software especializado es un simulador de egreso de emergencia que incluye una interfaz de usuario integrada y resultados 3D animados. Permite evaluar los modelos

de evacuación más rápidamente y producir gráficos más realistas (Thunderhead Engineering, 2018).

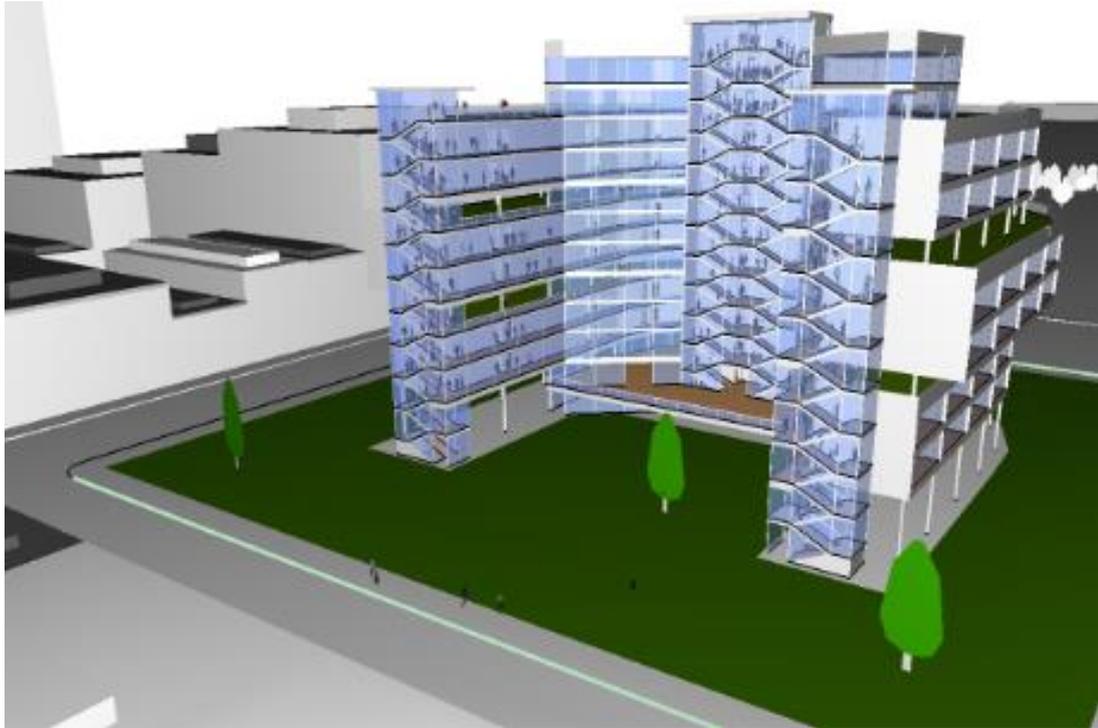


Figura 1. 14: Software especializado ejemplo estructural en 3D

Fuente: (Thunderhead Engineering, 2018)

1.4.1 Malla de movimiento continuo

El software usa una malla triangulada en 3D para representar la geometría del modelo. Como resultado, puede representar con precisión curvas geométricas y detalles.

La triangulación también facilita el movimiento continuo de personas en todo el modelo, en comparación con otros simuladores que subdividen el espacio que pueden restringir artificialmente el movimiento de los ocupantes (Thunderhead Engineering, 2018).

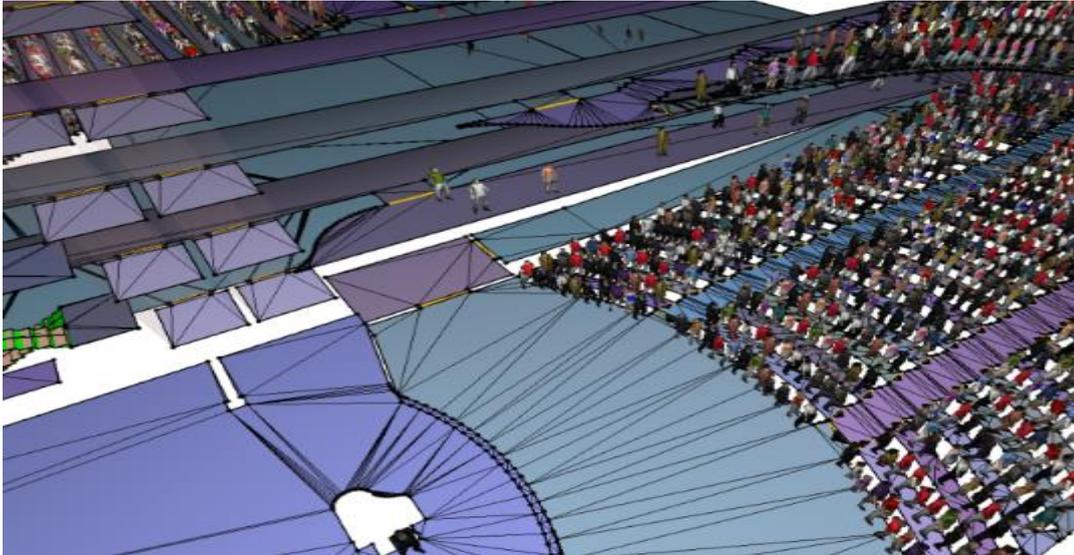


Figura 1. 15: Ejemplo de triangulación en una edificación

Fuente: (Thunderhead Engineering, 2018)

1.4.2 Movimiento de ocupantes a las salidas

Por defecto, cada ocupante (agente) usa una combinación de parámetros para seleccionar su ruta actual hacia la salida. Los parámetros incluyen de cola para cada puerta de la habitación actual, el tiempo para viajar a cada puerta de la habitación actual, el tiempo estimado desde cada puerta hasta la salida y la distancia ya recorrida en la habitación. El agente responde dinámicamente a las colas cambiantes, las aperturas/cierres de puertas y los cambios en las restricciones de velocidad de la sala (simulando humo y escombros). El usuario puede modificar los pesos de los parámetros predeterminados para cambiar el comportamiento. Por ejemplo, los ocupantes pueden descuidar las colas y solo buscar la salida más cercana.

Alternativamente, a los ocupantes se les pueden asignar objetivos específicos (como ir a un lugar y esperar) o salidas específicas. Por ejemplo, la mayoría de los ocupantes de los pisos inferiores pueden asignarse para usar escaleras, mientras que la mayoría de los ocupantes de los pisos superiores pueden ser asignados para usar ascensores (Thunderhead Engineering, 2018).

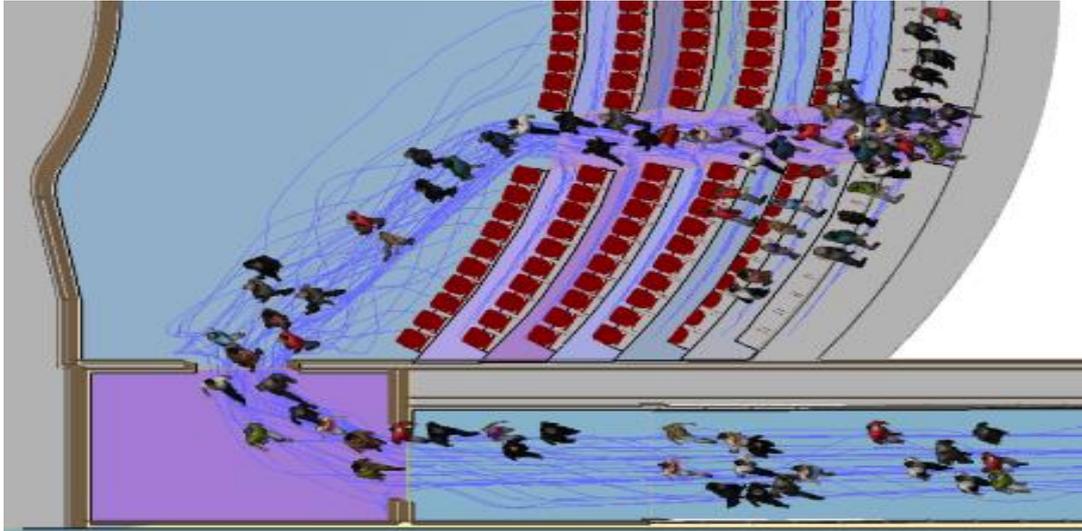


Figura 1. 16: Movimientos de los ocupantes a las salidas

Fuente: (Thunderhead Engineering, 2018)

1.4.3 Visualización 3D de alta calidad

El software especializado incluye modelos humanos que representan una variedad de culturas, edades, vestimenta y servicios de emergencia. Estos permiten representar de forma realista el grupo de población de interés. Debido a que usa un nivel de detalle dinámico para mostrar los modelos, puede animar a muchas personas en tiempo real usando una tarjeta gráfica estándar.

El programa también proporciona herramientas para poder crear películas que documentan los resultados (Thunderhead Engineering, 2018).

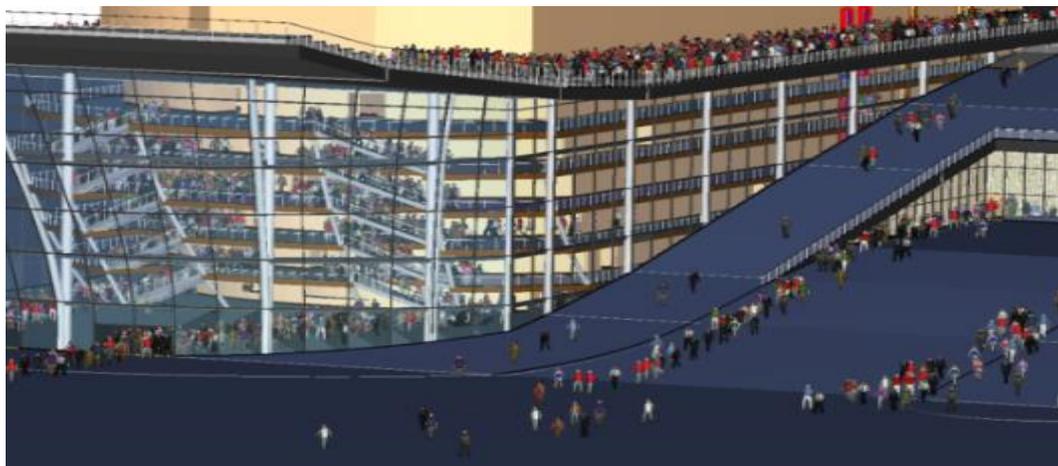


Figura 1. 17: Visualización 3D de alta calidad en una estructura

Fuente: (Thunderhead Engineering, 2018)

1.4.4 Parcelas de contorno

Las gráficas de contorno pueden agregar superposiciones de visualización de datos, como densidad de ocupantes, a las superficies del piso de su modelo para una vista rápida y fácil de entender de los resultados de simulación. La reproducción suave permite esta información en tiempo real.

Los diagramas disponibles incluyen densidad, uso, nivel de servicio y otros. Cada uno de estos se puede personalizar modificando opciones como la cantidad de cubos, los rangos de valores, el sombreado de colores y el difuminado (Thunderhead Engineering, 2018).

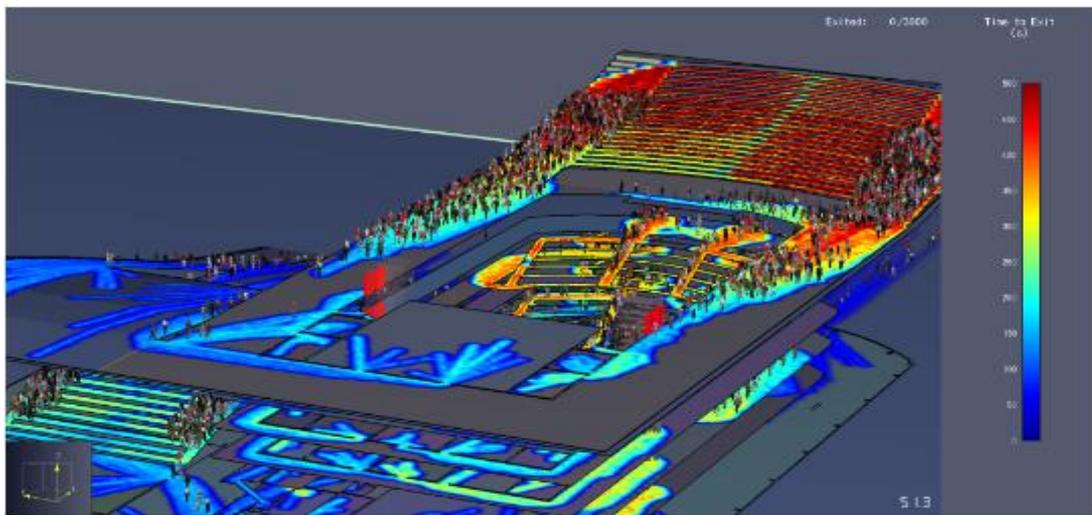


Figura 1. 18: Parcelas de contorno en una estructura de ejemplificación

Fuente: (Thunderhead Engineering, 2018)

1.4.5 Evacuación asistida

Los ocupantes con necesidades especiales de movilidad pueden modelarse con sillas de ruedas y camas de hospital para ser evacuados por asistentes designados. Estos modelos incluyen animación completa para resultados realistas. Equipos de evacuación separados pueden enfocarse en ayudar a grupos específicos de individuos (Thunderhead Engineering, 2018).

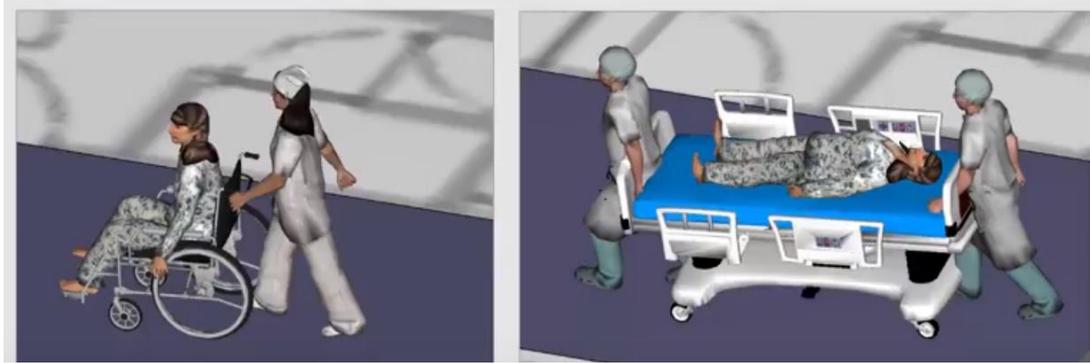


Figura 1. 19: Evacuación asistida por asistentes designados

Fuente: (Thunderhead Engineering, 2018)

1.4.6 Ocupantes

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



Figura 1. 20: Ocupantes en la simulación del software especializado

Fuente: (Thunderhead Engineering, 2018)

1.4.7 Elevadores o ascensores

El software brinda la flexibilidad de evaluar las opciones de evacuación utilizando elevadores. Cada elevador tiene una lista de prioridad de pisos de recolección y un piso de descarga. Las personas pueden moverse directamente al elevador más cercano o ser dirigidas para ir 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 ubicaciones deseadas (Thunderhead Engineering, 2018).



Figura 1. 21: Ascensores en la simulación del software especializado

Fuente: (Thunderhead Engineering, 2018)

1.4.8 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 utilizadas para poder generar el modelo para el sistema de evacuación cuando sea necesario ser empleadas.

Las escaleras y rampas pueden ser creadas en el software con mayor facilidad, ya que el mismo nos brinda poder generar con puntos específicos de inicio y final, la forma de las escaleras y las rampas ya están determinados (Thunderhead Engineering, 2018).



Figura 1. 22: Escaleras y rampas en la simulación del software especializado

Fuente: (Thunderhead Engineering, 2018)

1.4.9 Poblaciones personalizables

Cada persona en el modelo actúa como un agente con su propio perfil (como el tamaño y la velocidad de desplazamiento) y su propio comportamiento (como salidas, esperas y puntos de referencia). En función de sus características, cada persona usa su entorno local para tomar decisiones sobre rutas de salida. Por ejemplo, las personas pueden evitar dinámicamente largas colas o responder al cierre de puertas. Se pueden crear múltiples perfiles y colas o responder al cierre de puertas. Se pueden crear múltiples perfiles asignarlos a diferentes poblaciones.

Los parámetros en cada perfil pueden describirse utilizando distribuciones constantes, uniformes, estándar 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, múltiples comportamientos diferentes pueden ser creados y asignados 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 1. 23: Poblaciones personalizables en la simulación del software especializado

Fuente: (Thunderhead Engineering, 2018)

1.4.10 Diagrama fundamental de personalización

Por defecto, el software usa el diagrama fundamental de SFPE (Society of Fire Protection Engineers), basado en Engineering Guide to Human Behavior in Fire; para proporcionar al usuario una relación velocidad-densidad que tiene una amplia aceptación y estimaciones conservadoras. Sin embargo, hay otros diagramas fundamentales propuestos. 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).

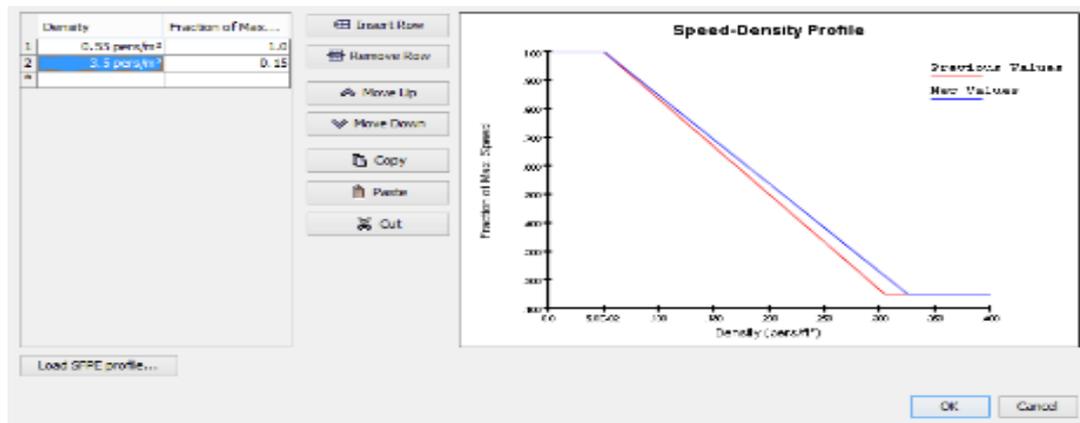


Figura 1. 24: Escaleras y rampas en la simulación del software especializado

Fuente: (Thunderhead Engineering, 2018)

1.4.11 Torniquetes y otras restricciones de flujo

La flexibilidad proporcionada por el programa se puede utilizar para simular situaciones de flujo relativamente complejas. Por ejemplo, al combinar puertas que tienen caudales especificados, puntos de paso y tiempo de espera, el programa puede simular colas y avanzar a través de torniquetes. Se puede indicar al personal de emergencia que suba por una escalera (contra el flujo de evacuación) a un lugar específico y espere antes de dirigirse a otro lugar. Las puertas y los modificadores de la velocidad de la sala se pueden programar para activar o desactivar a horas predeterminadas, simulando un entorno cambiante durante una evacuación (Thunderhead Engineering, 2018).

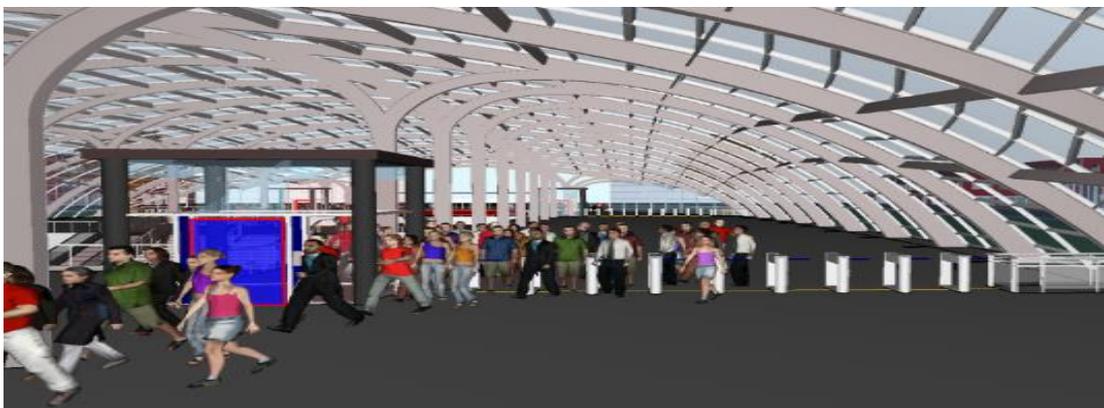


Figura 1. 25: Torniquetes y otras restricciones en el flujo en la simulación del software especializado

Fuente: (Thunderhead Engineering, 2018)

1.4.12 Evaluación de resultados de gran alcance

La visualización de los resultados en 3D está disponible tanto durante el cálculo (para ver el estado actual) como de forma inmediata al finalizar. 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 mirar. Un archivo de salida resumido incluye los tiempos de salida mínimo, máximo y promedio y los tiempos de entrada y salida de habitaciones y puertas. La información detallada está disponible en archivos CVS, incluido el movimiento de personas individuales.

Además de la pantalla 3D, 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).

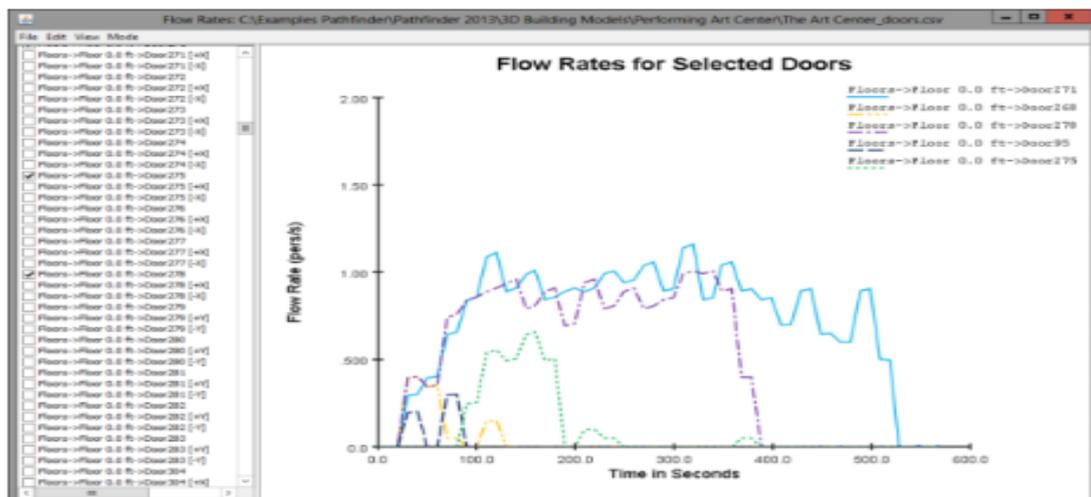


Figura 1. 26: Torniquetes y otras restricciones en el flujo en la simulación del software especializado

Fuente: (Thunderhead Engineering, 2018)

1.5 Plan de rutas de escape

Es importante determinar las vías de evacuación de cada ambiente de la unidad hospitalaria para preservar la vida y la integridad física de los trabajadores, pacientes y visitas que acuden al hospital. Estas vías de evacuación deben seguir una ruta definida para trasladarse desde cualquier punto del hospital a espacios exteriores donde exista menor riesgo.

Los trabajadores del centro hospitalario están familiarizados con la geometría y es probable que conozcan las rutas de evacuación, sin embargo, los pacientes y acompañantes por lo general no están familiarizados con el entorno y seguramente sólo conocen las zonas no restringidas, esto generaría problemas al momento de evacuar el hospital, debido a que las personas comenzarían a interrumpir el flujo correcto de evacuación.

Se debe movilizar a las personas desde las áreas que se han definido de alto riesgo, a áreas seguras definidas previamente en el mismo piso, pisos adyacentes o hacia el exterior a través de rutas de evacuación cuyas condiciones sean adecuadas y verificadas como más seguras.

Ante una situación de riesgo, las personas que posean mayor experiencia se harán cargo de la evacuación, el personal del centro hospitalario transportará a los pacientes que no puedan moverse por sí mismos y de la misma manera se encargarán de dar atención en las diferentes patologías preexistentes en los pacientes evacuados.

En las edificaciones esenciales, las rutas de evacuación y zonas de seguridad deben estar bien definidas y sin obstrucciones que puedan causar retrasos o puedan bloquear la evacuación de los ocupantes, en lo posible las personas que acuden a estas instalaciones deben tener un grado de familiaridad con las salidas.

Para reducir el riesgo ante un evento extremo, se deben tener preestablecidos los trayectos de circulación tanto vertical como horizontal, estos trayectos deben estar protegidos para efectos de terremotos y deben dirigir a zonas de seguridad externas o internas. De la misma manera se debe establecer un sistema de comunicación con los ocupantes de la edificación y éstos deben ser informados sobre a las medidas de seguridad mediante medios pasivos (señalización, rutas de evacuación, paneles de ubicación) y medios activos (capacitaciones, discusión del plan de desastre, tarjetas de acción, entre otros) (Morales Soto, 2000).

Una evacuación debe tratar de ser rápida, ordenada, segura y planificada para disminuir riesgos. En el caso de un sismo, se debe iniciar la evacuación apenas

termina el impacto y una vez verificadas las condiciones de alto riesgo, principalmente si existen daños estructurales o daños en las líneas vitales de la edificación. Al momento de la evacuación, deben desalojar el hospital en primer lugar los ocupantes de las plantas bajas y simultáneamente los de las plantas superiores, tratando de moverse por las rutas de evacuación más próximas.

En cuanto al destino de evacuación, se deben ubicar áreas de seguridad, de fácil acceso, preferiblemente al aire libre y con capacidad de albergar la cantidad de personas que hayan sido estimadas a evacuar por esa ruta. Se deben establecerse prioridades con el siguiente orden: menores, incapacitados físicos o mentales, mujeres y por último hombres (Martinez, y otros, 2010), (Sánchez, Franco, Álvarez, & Recuero, 2013).

Tradicionalmente cualquier ruta de evacuación debe tomar un máximo de 3 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 no mayor de 30 metros y más de 100 metros se considera de riesgo (Desastres, 2009).

Las rutas de evacuación deben abastecer a la cantidad de personas que están en el interior de la estructura, y todo su recorrido debe estar señalizado con flechas pintadas de blanco o verde a la altura de las personas, cabe recalcar que debajo o adentro de cada flecha se debe indicar la salida de emergencia o la ruta de evacuación.

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: son aquellas rutas que se utilizan en primera instancia para conducir la evacuación, estas 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 estas se utilizarán cuando una o varias rutas principales se encuentren bloqueadas (Morales Soto, 2000).

Cuando se decide evacuar un hospital, los pacientes, familiares y el personal en ciertos casos no salen de la edificación, es por esta razón que deben establecerse con claridad zonas de seguridad, las cuales deben ser amplias, seguras y elegidas con anterioridad. Las zonas de seguridad internas son aquellas dónde están los elementos estructurales que permiten evitar el colapso de las áreas que los contienen, es decir lugares cercanos a columnas o muros de contención.

Al hablar de zonas seguras externas, estas deben ser abiertas, deben estar alejadas de edificios elevados para evitar la caída de materiales que puedan desprenderse y sobretodo deben estar alejadas de amenazas internas inherentes a un hospital como son gases medicinales, combustibles, cables eléctricos, etc.

Análisis retrospectivos de hospitales que han implementado procedimientos de evacuación, independientemente de que ésta estuviera o no justificada, 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 (Martinez, y otros, 2010), (Sánchez, Franco, Álvarez, & Recuero, 2013).

1.6 Cuantificación del tiempo de evacuación

Para cuantificar el tiempo de evacuación se debe considerar varios parámetros que afectan en la demora de los ocupantes que necesitan salir a un lugar seguro como son: altura de la edificación, salidas seguras, escaleras, ascensores, rutas de evacuación claras, congestiónamiento de personas en las salidas, puntos críticos, conocimiento de las personas de las salidas, obstáculos en el camino, puertas cerradas, entre otros.

Es necesario tomar en cuenta principalmente a que distancia se encuentra el ocupante de la salida más cercana y también si existe congestiónamiento; el ocupante pueda tomar otra alternativa de su evacuación.

Se debe considerar que tipo de personas son como: niños, adolescentes, mayores, tercera edad, enfermos, su sexo, tamaño, entre otros, debido a que las velocidades de marcha son diferentes.

El programa a utilizar estable cada criterio mencionado anteriormente, también puede generar demoras en cada 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.

El Ecuador no cuenta con una norma específica sobre parámetros que se debe tomar en cuenta durante la evacuación, por ese motivo utilizaremos los parámetros y datos específicos que el programa nos brinda y la experiencia en otras localidades similares.



CAPÍTULO 2

PUNTOS DE ENCUENTRO

2.1 Modelación de evacuación de la edificación hospitalaria

El programa de evacuación nos permite importar documentos en otro tipo de formatos, debido a que en el mismo no realiza funciones como crear una estructura en 3D, por lo tanto lo que se ha realizado es generar la unidad hospitalaria en otros softwares como ARCHICAD y AutoCAD. El software especializado para la evacuación nos permite importar documentos en 3D, en este caso en formato DWG, por lo que se realizó primeramente 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:

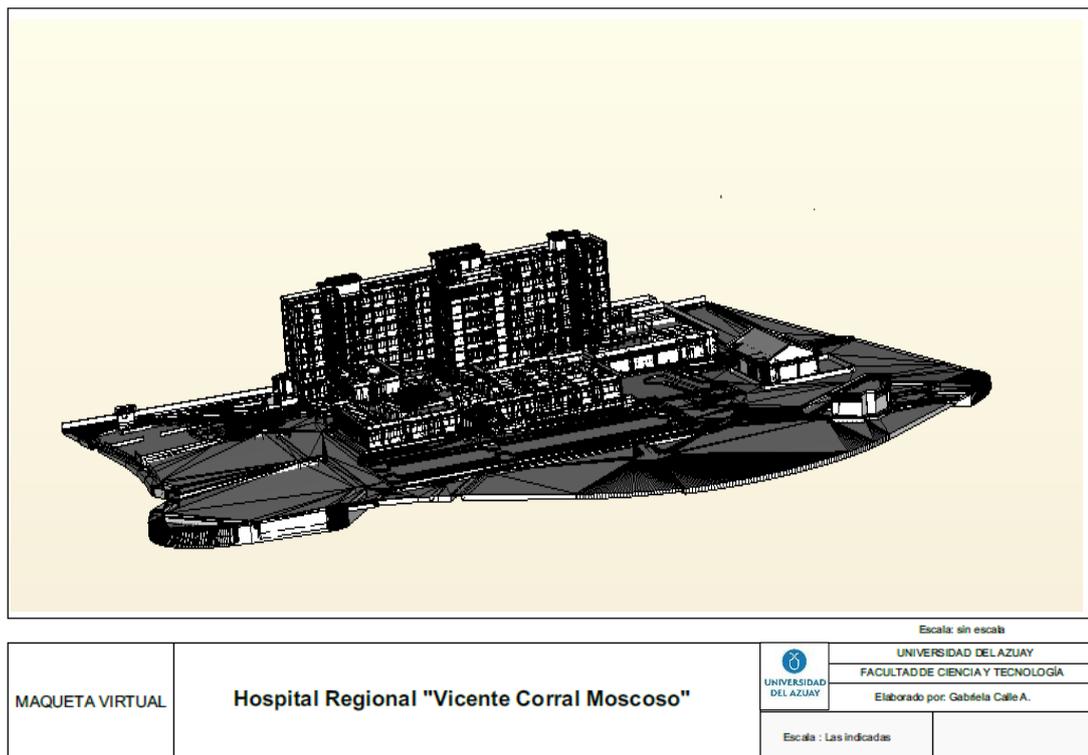


Figura 2. 1: Importación del hospital al software especializado

Fuente: Elaboración propia

En el caso del archivo importado, el programa de evacuación genera una triangulación en cada elemento permitiendo tener mayor precisión al momento de

utilizarlo. Cabe mencionar que el archivo no permaneció con las propiedades de cada elemento que se realizó en los otros programas, por lo que el software especializado nos permite que el modelo adquiera propiedades propias que tiene el programa. El modelo fue realizado por capas por lo que hubo mayor facilidad de darles sus propiedades específicas como podemos apreciar en la figura a continuación.

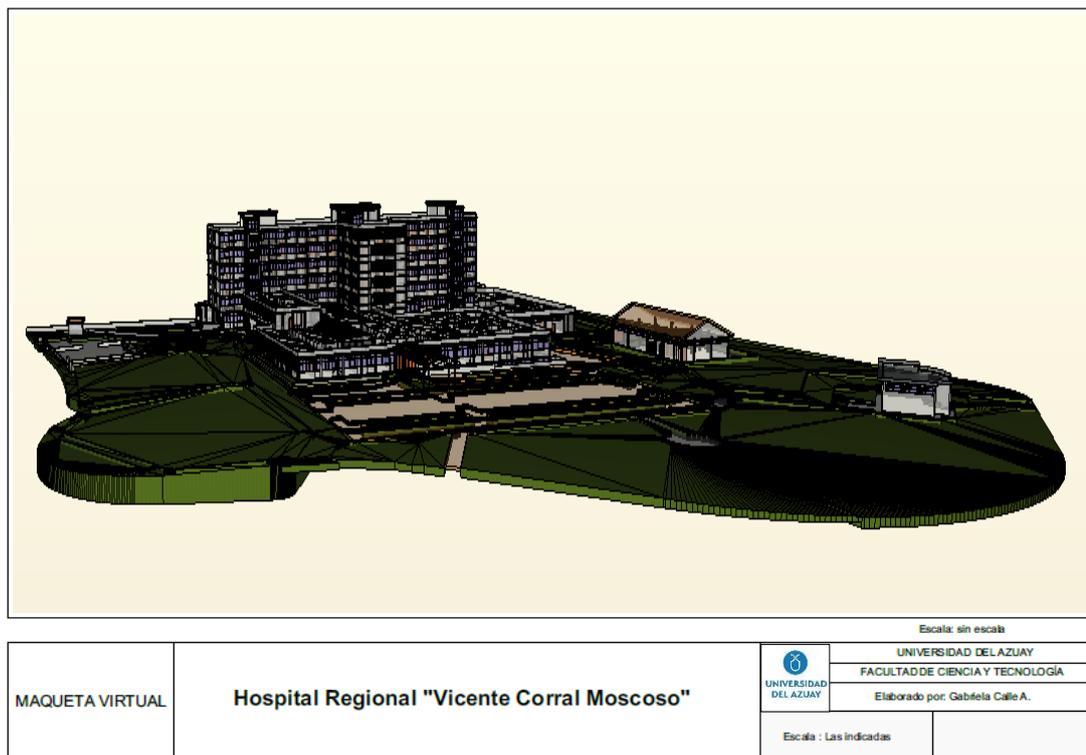


Figura 2. 2: Modelación del hospital en el software especializado

Fuente: Elaboración propia

2.1.1 Modelación de los pisos y sus divisiones de la unidad hospitalaria

El software especializado mencionado anteriormente para la evacuación de sus ocupantes, requiere la generación de las losas y divisiones de cada área de la unidad hospitalaria, por lo que es necesario realizar de cada piso para la simulación de evacuación de los ocupantes.

Los ocupantes en general deben ir desde el lugar donde se encuentran hacia la salida más cercana, por lo que deben tomar diferentes rutas, ya sea bajar por gradas, salir por puertas si se encuentra en una habitación, recorrer pasillos, etc. Por lo tanto se

debe modelar cada estructura específicamente para que nos genere un tiempo de evacuación más exacto.

En las siguientes figuras se mostrará la modelación de cada piso en la unidad hospitalaria, donde consta principalmente la modelación de pisos por habitación, consultorios, áreas administrativas, sala de reuniones, etc.

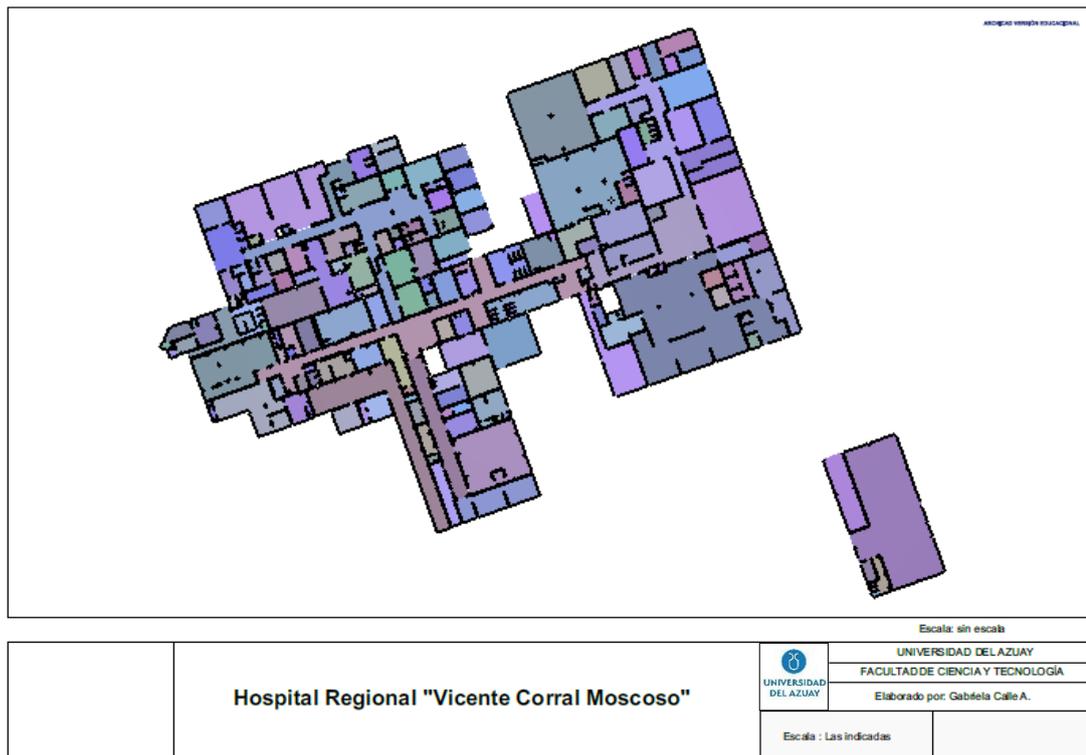


Figura 2. 3: Modelación del piso del Subsuelo

Fuente: Elaboración propia

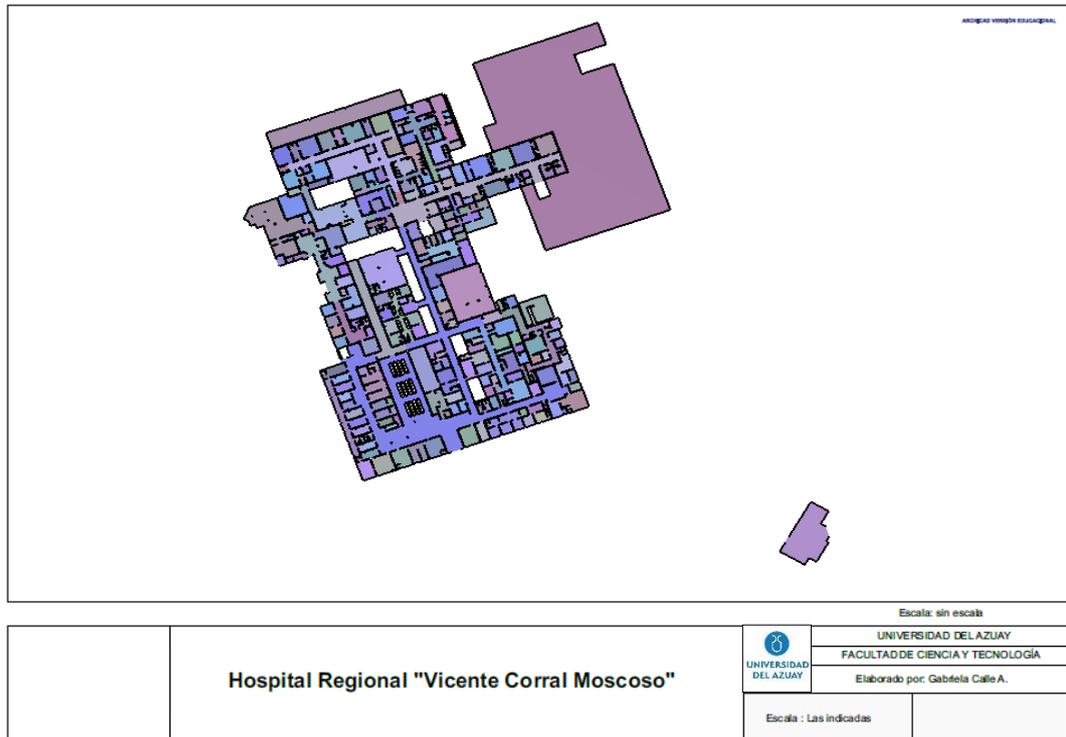


Figura 2. 4: Modelación del piso del primer piso

Fuente: Elaboración propia

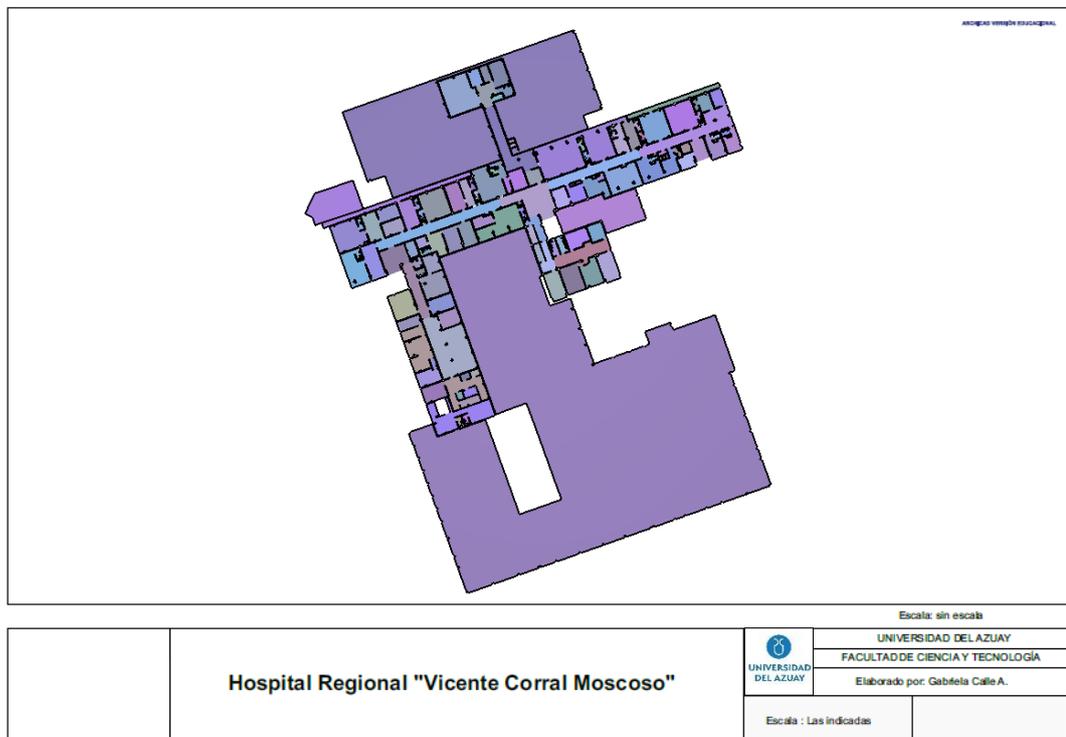


Figura 2. 5: Modelación del piso del segundo piso

Fuente: Elaboración propia

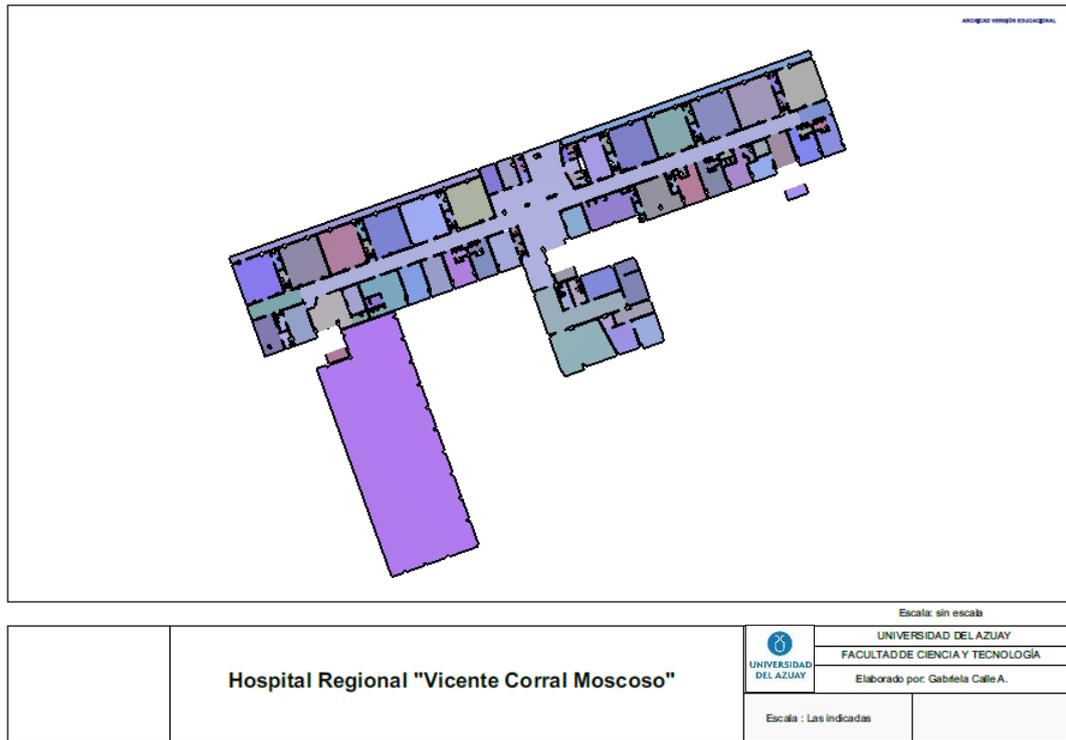


Figura 2. 6: Modelación del piso del tercer piso

Fuente: Elaboración propia

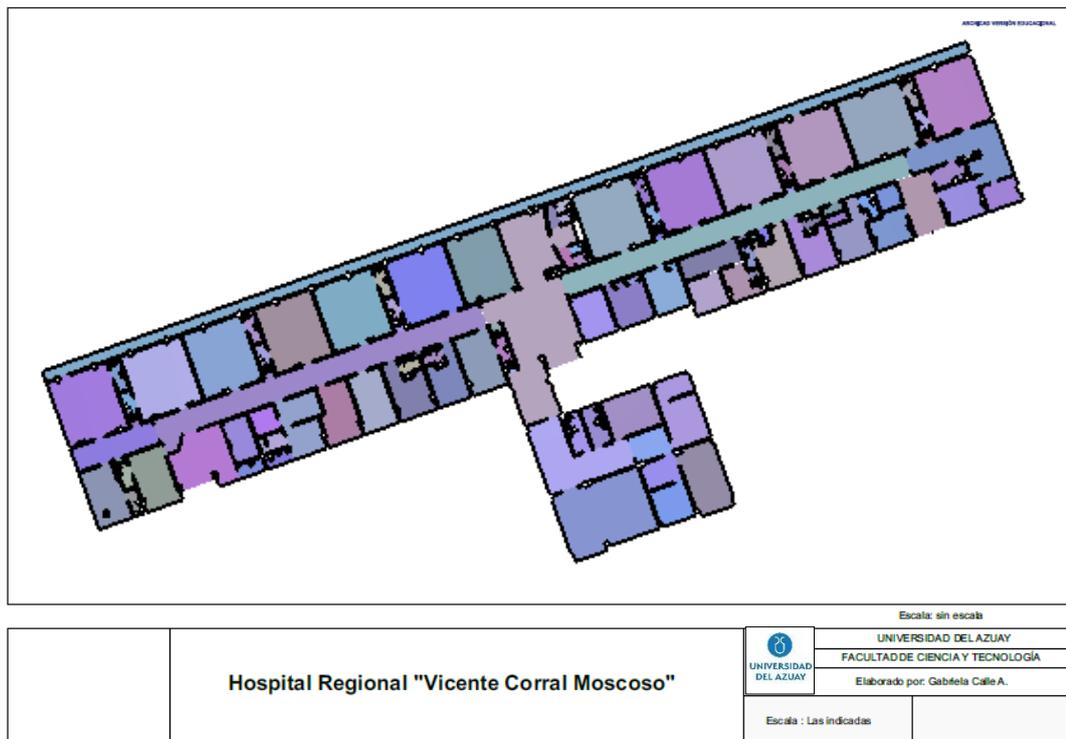


Figura 2. 7: Modelación del piso del cuarto piso

Fuente: Elaboración propia

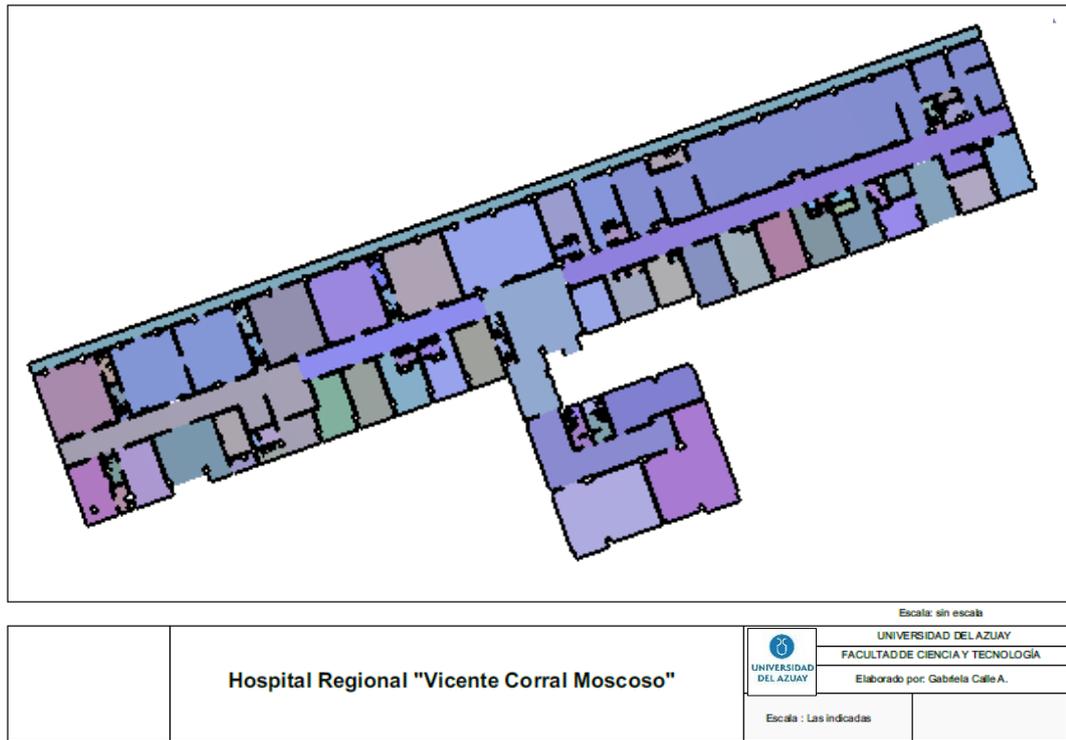


Figura 2. 8: Modelación del piso del quinto piso

Fuente: Elaboración propia

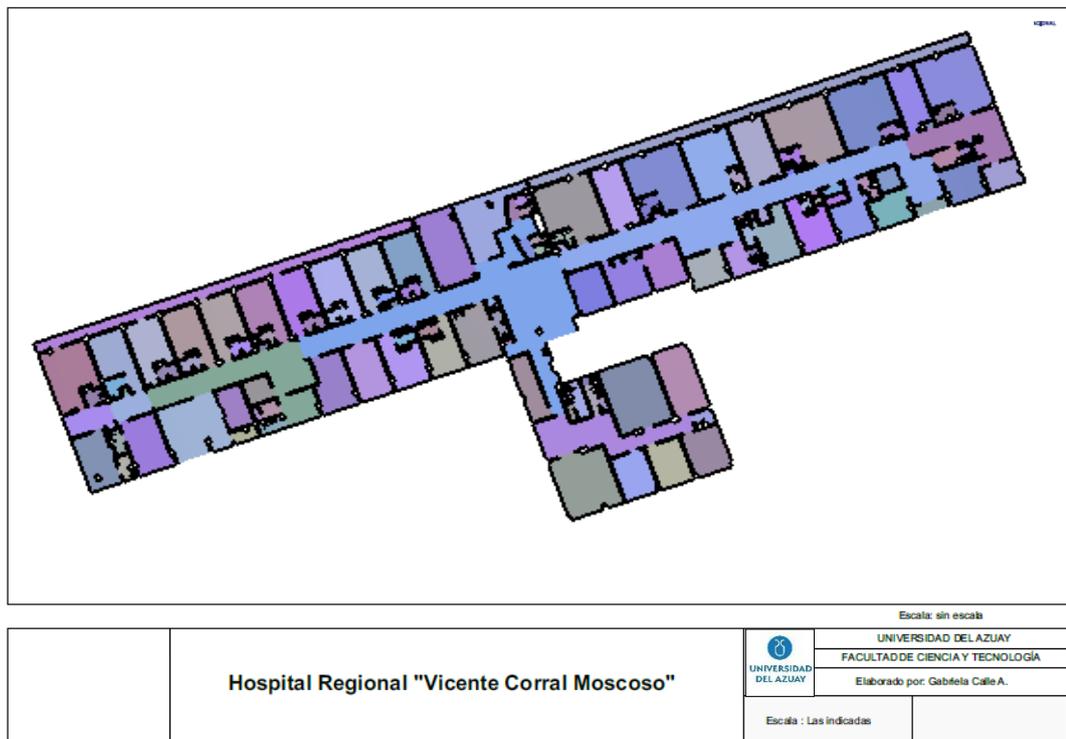


Figura 2. 9: Modelación del piso del sexto piso

Fuente: Elaboración propia

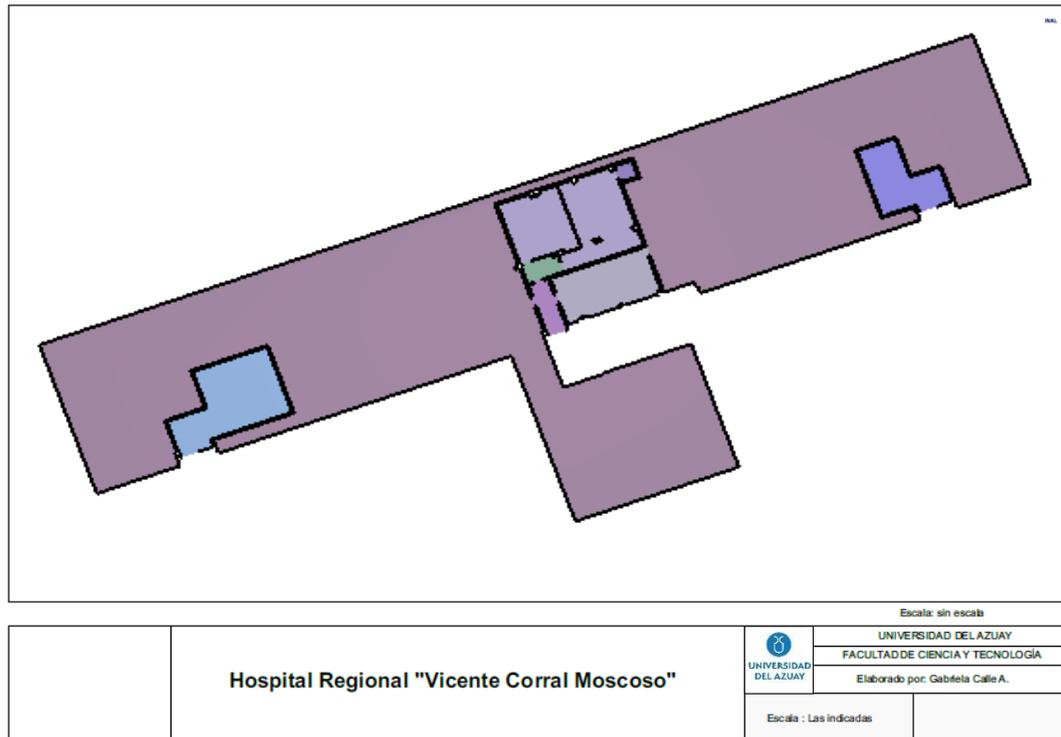


Figura 2. 10: Modelación del piso de la terraza

Fuente: Elaboración propia

2.1.2 Modelación de las puertas

El software nos permite colocar todas las puertas que conforman cada lugar de la unidad hospitalaria.

Las puertas son modeladas de acuerdo a su longitud, ya que existen diferentes dimensiones con distintos ambientes en el hospital.

La modelación, principalmente de las puertas de salida, se determina con color verde como se puede observar en las figuras siguientes, al igual que las puertas normales que se encuentran dentro del hospital que se determina con color café.

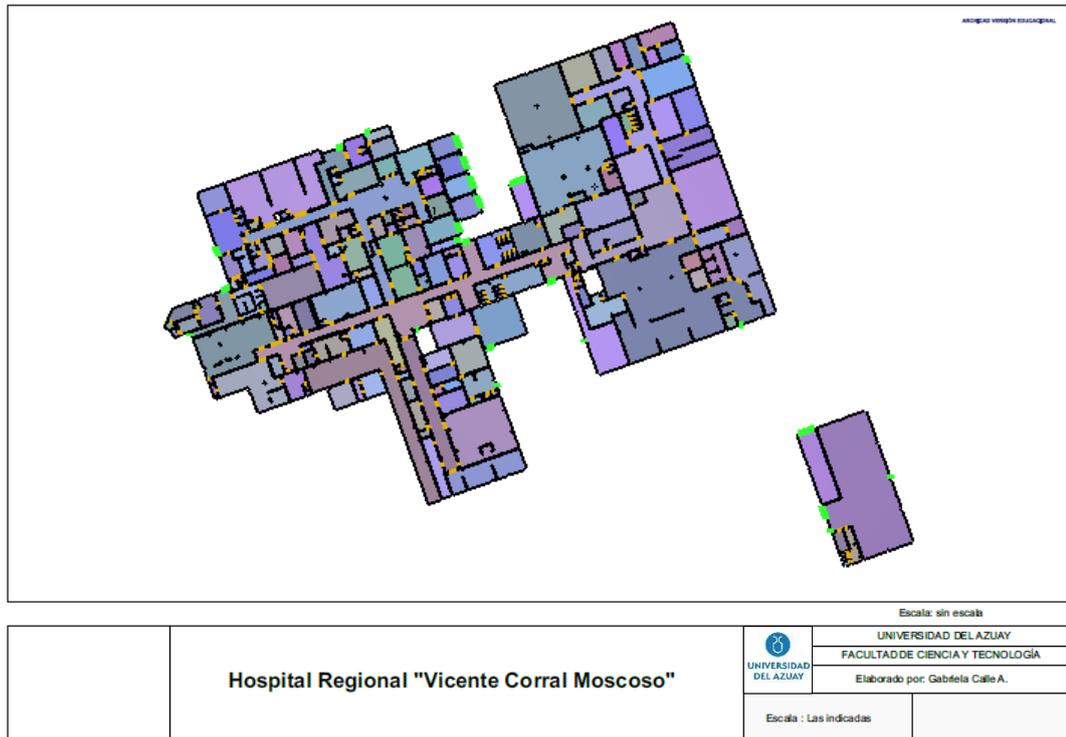


Figura 2. 11: Modelación de las puertas del subsuelo

Fuente: Elaboración propia

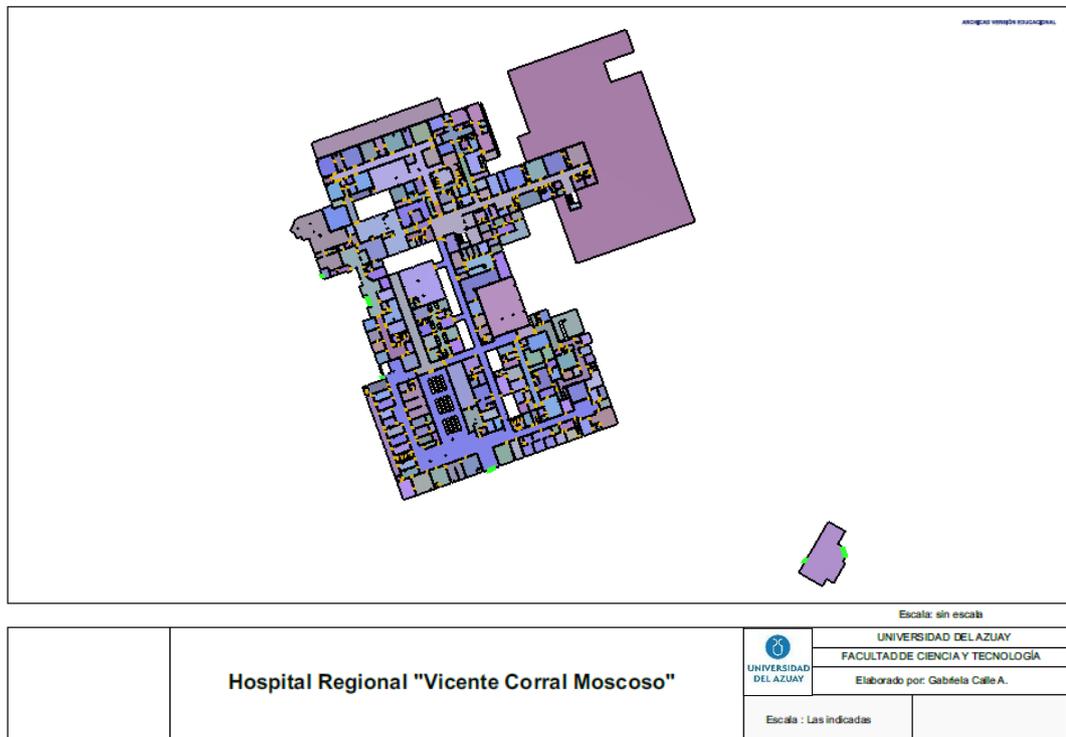


Figura 2. 12: Modelación de las puertas del primer piso

Fuente: Elaboración propia

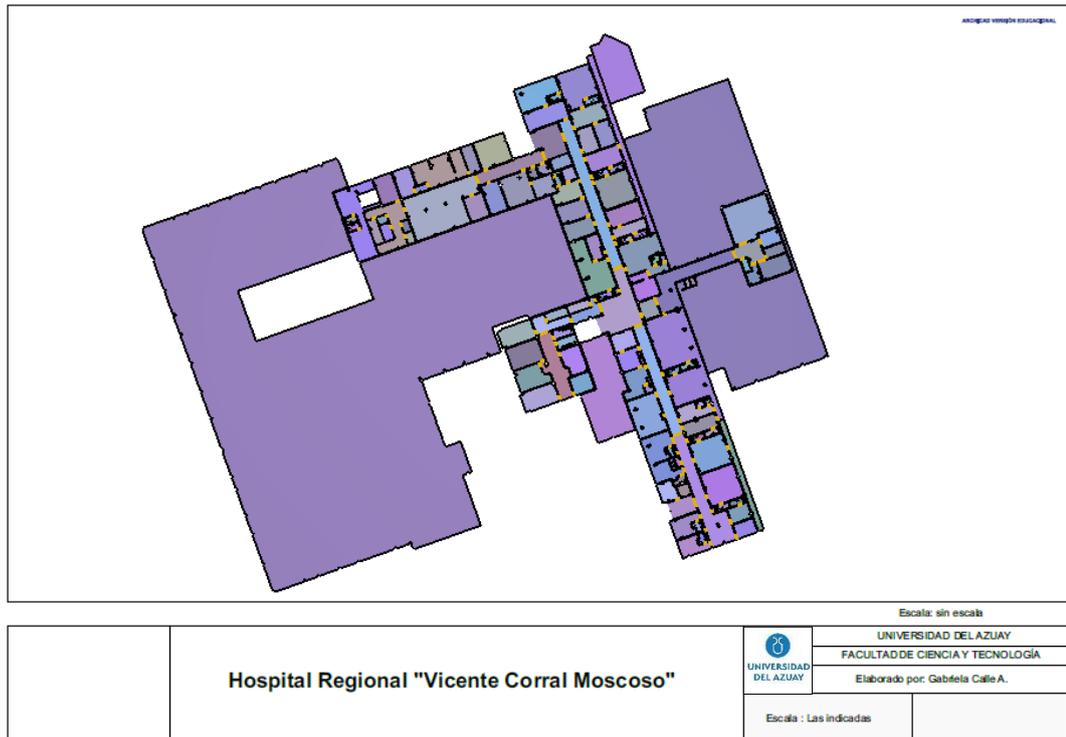


Figura 2. 13: Modelación de las puertas del segundo piso

Fuente: Elaboración propia

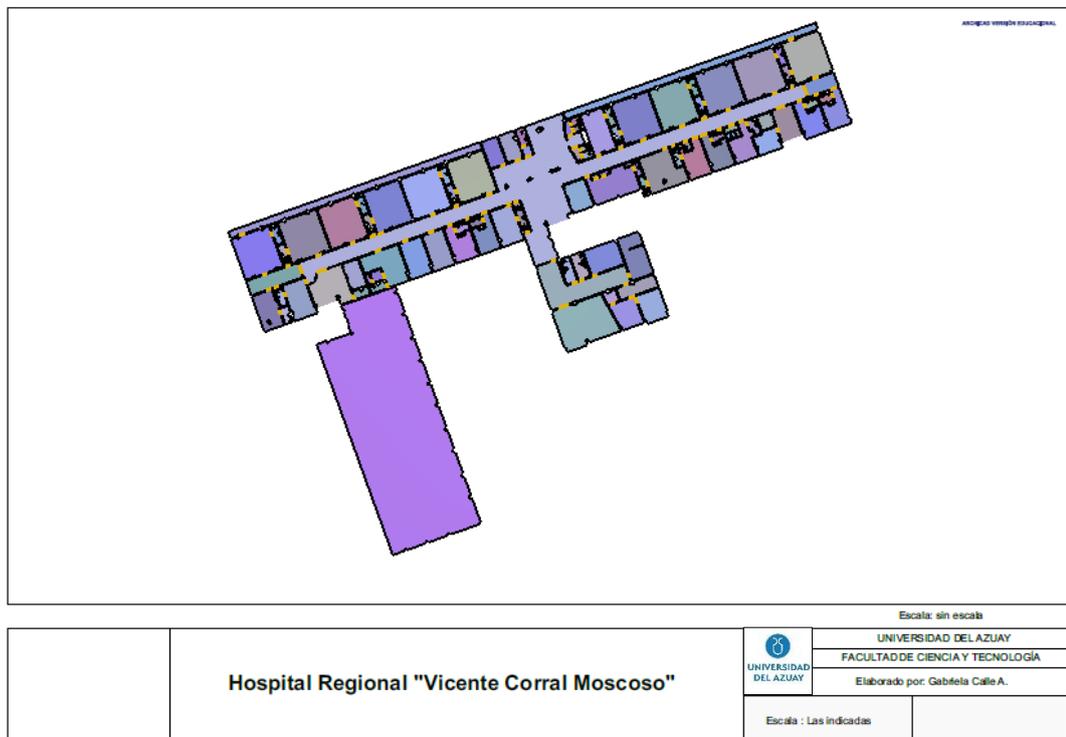


Figura 2. 14: Modelación de las puertas del tercer piso

Fuente: Elaboración propia

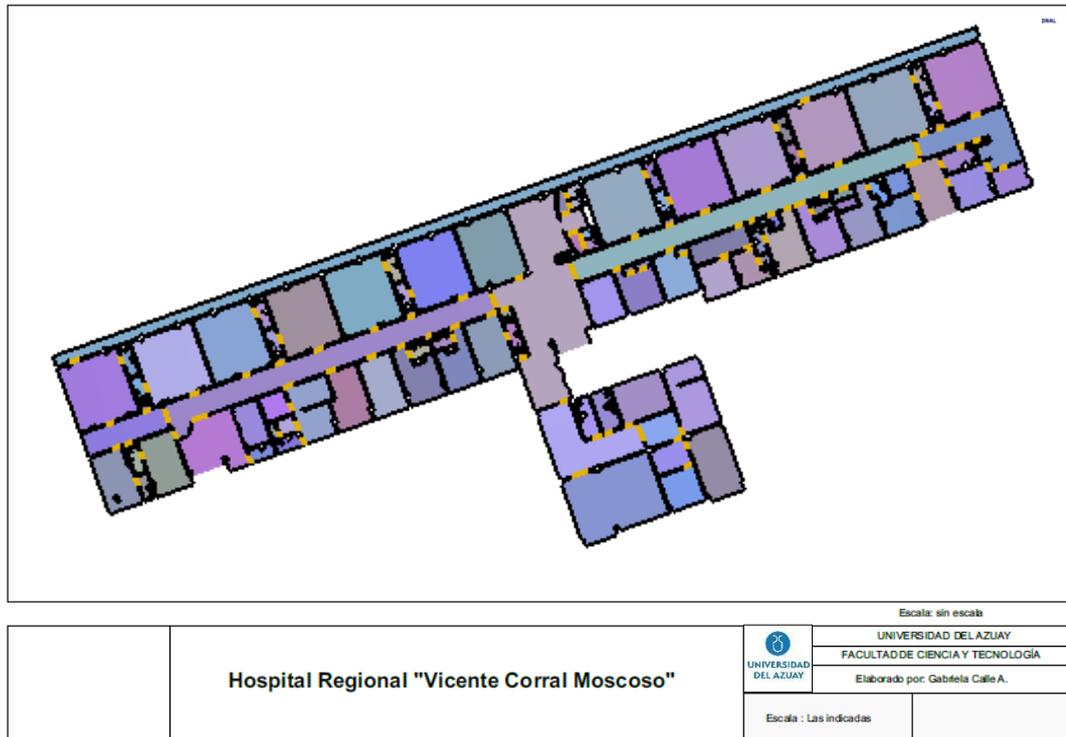


Figura 2. 15: Modelación de las puertas del cuarto piso

Fuente: Elaboración propia

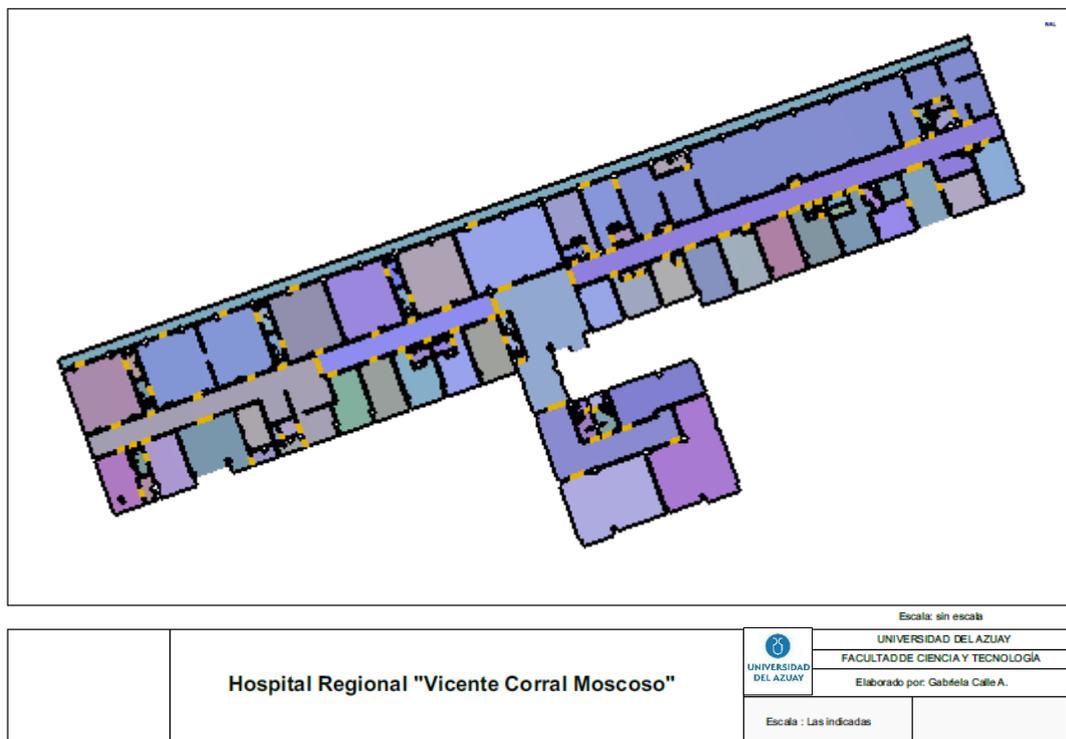


Figura 2. 16: Modelación de las puertas del quinto piso

Fuente: Elaboración propia

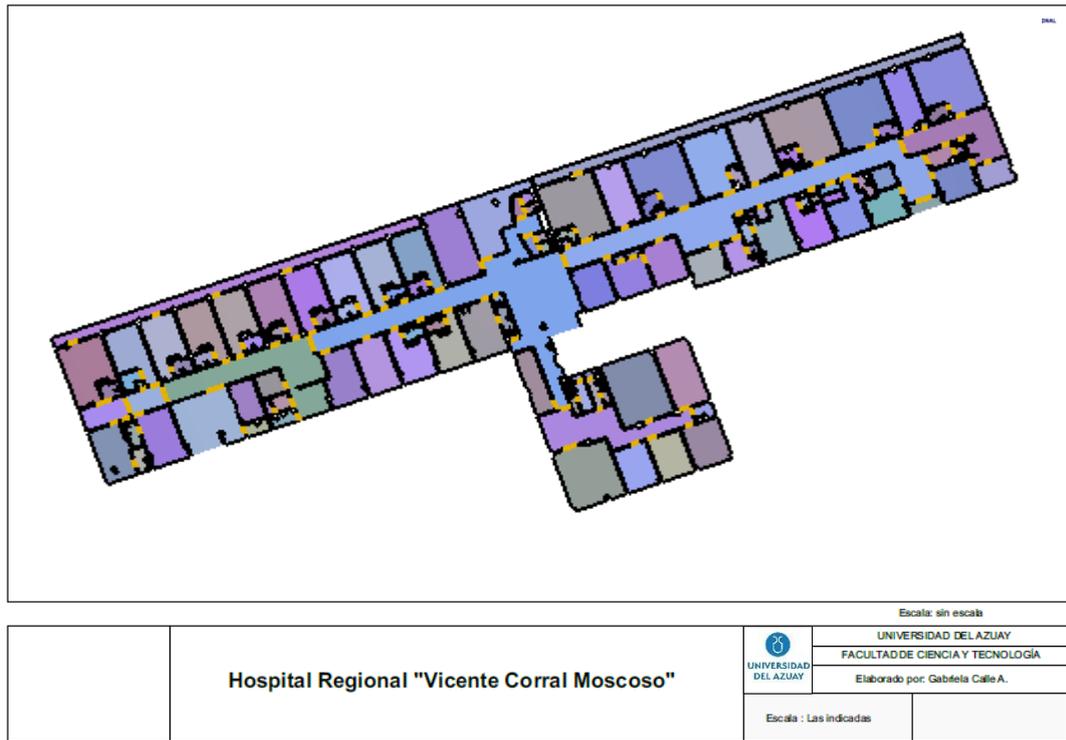


Figura 2. 17: Modelación de las puertas del sexto piso

Fuente: Elaboración propia

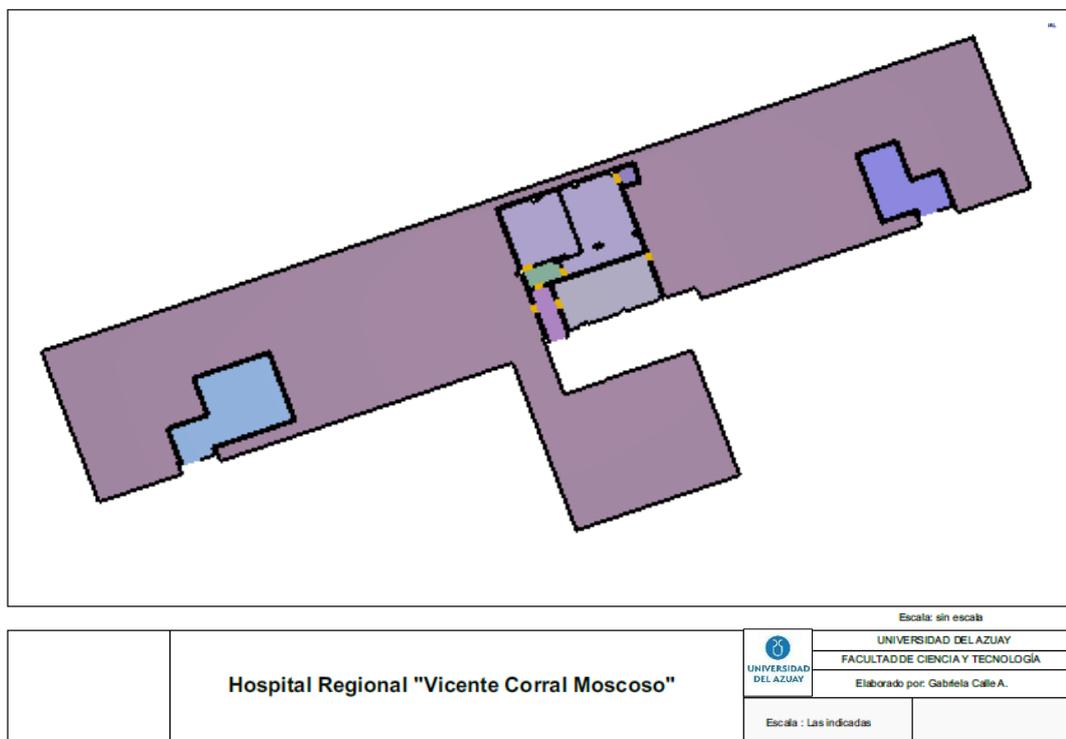


Figura 2. 18: Modelación de las puertas de la terraza

Fuente: Elaboración propia

2.1.3 Modelación de escaleras

Las escaleras pueden ser creadas en el software con mayor facilidad, ya que el mismo nos brinda poder generar con puntos específicos de inicio y final, la forma de las escaleras ya están predeterminadas por el programa. Solo se deben adaptar a las condiciones reales que nos presenta la edificación como las dimensiones de las escaleras, la altura de descanso de la escalera, etc.

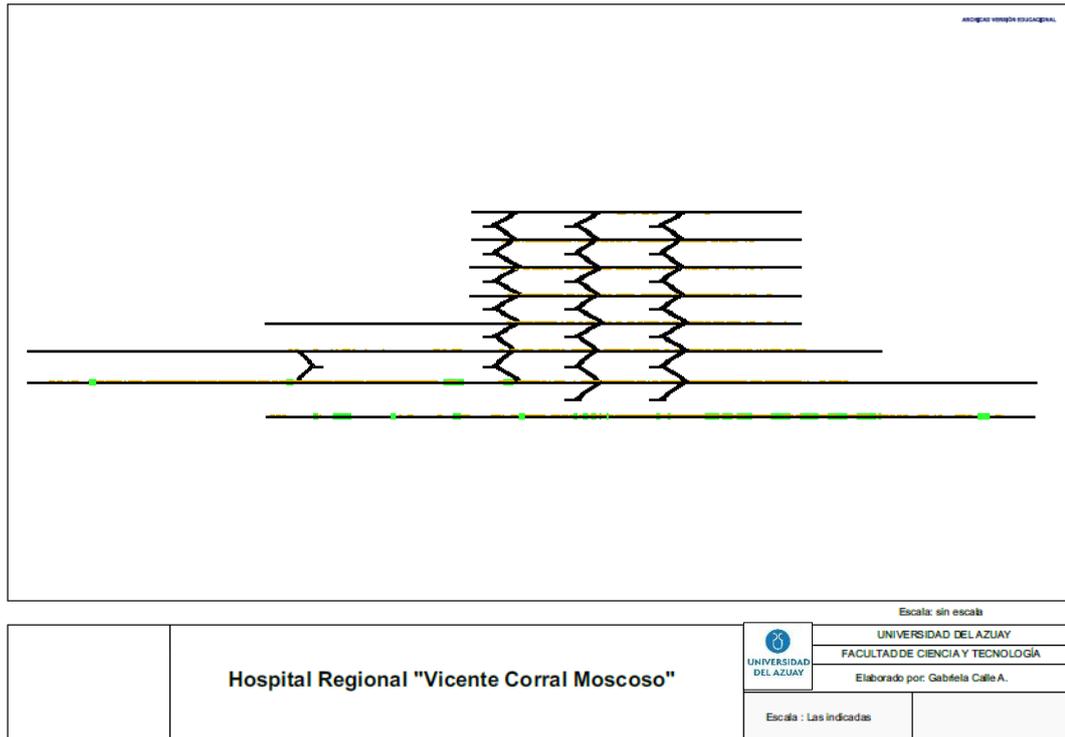


Figura 2. 19: Modelación de las escaleras (vista lateral)

Fuente: Elaboración propia

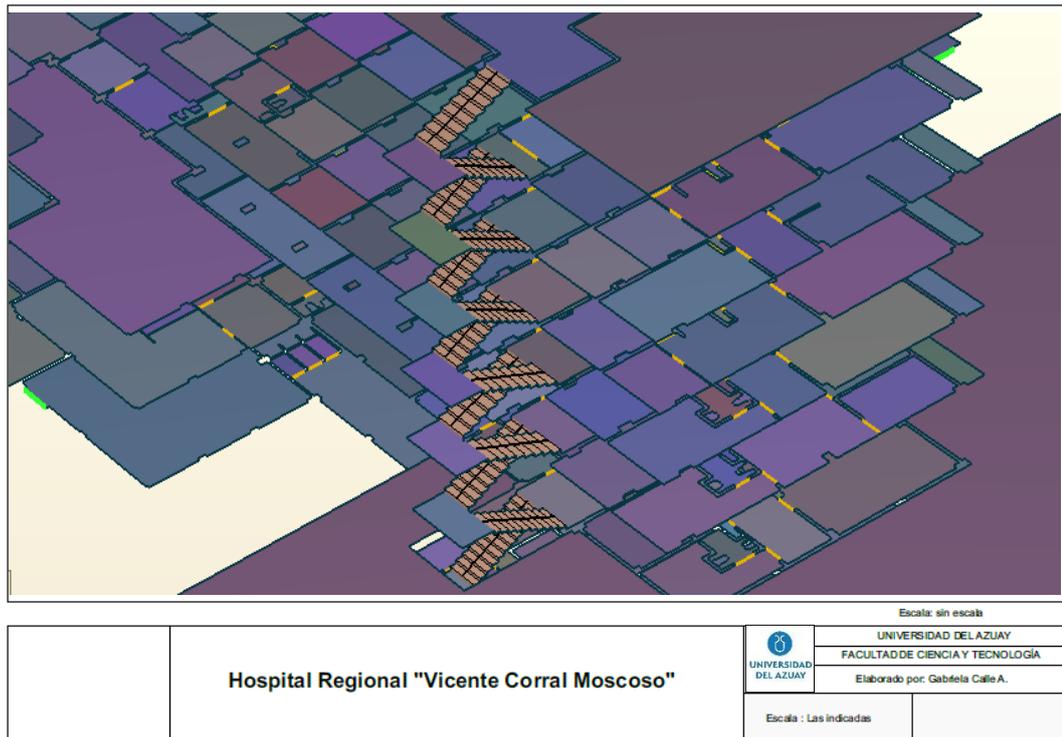


Figura 2. 20: Modelación de las escaleras del hospital (vista en 3D)

Fuente: Elaboración propia

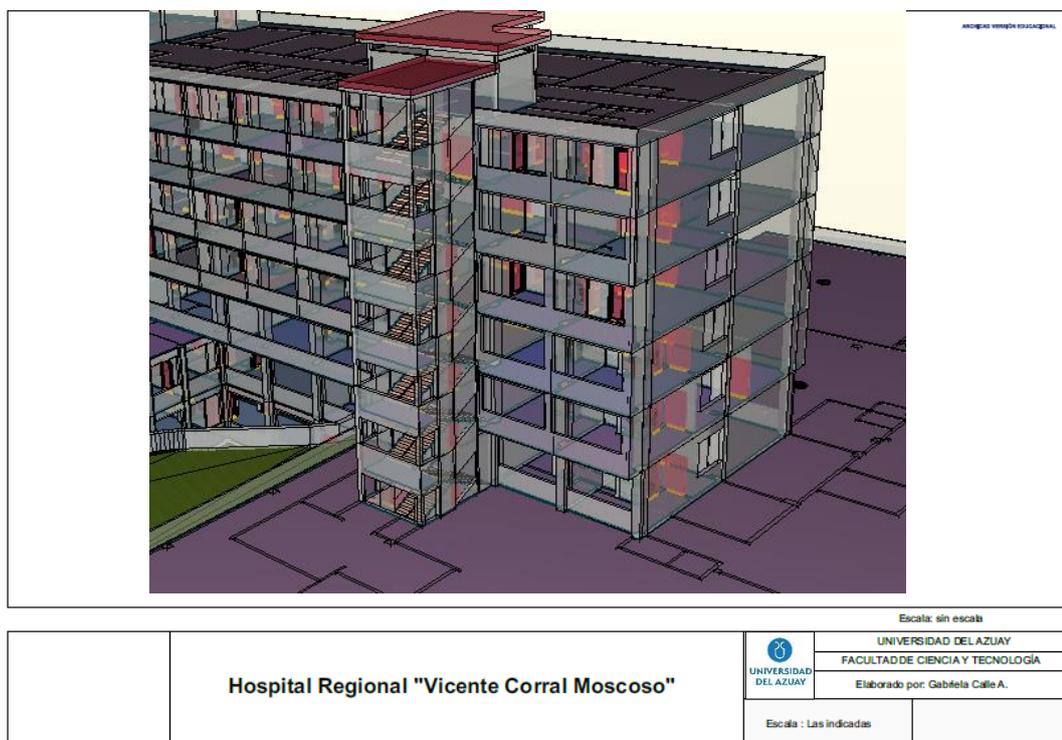


Figura 2. 21: Modelación de las escaleras del hospital (vista en 3D)

Fuente: Elaboración propia

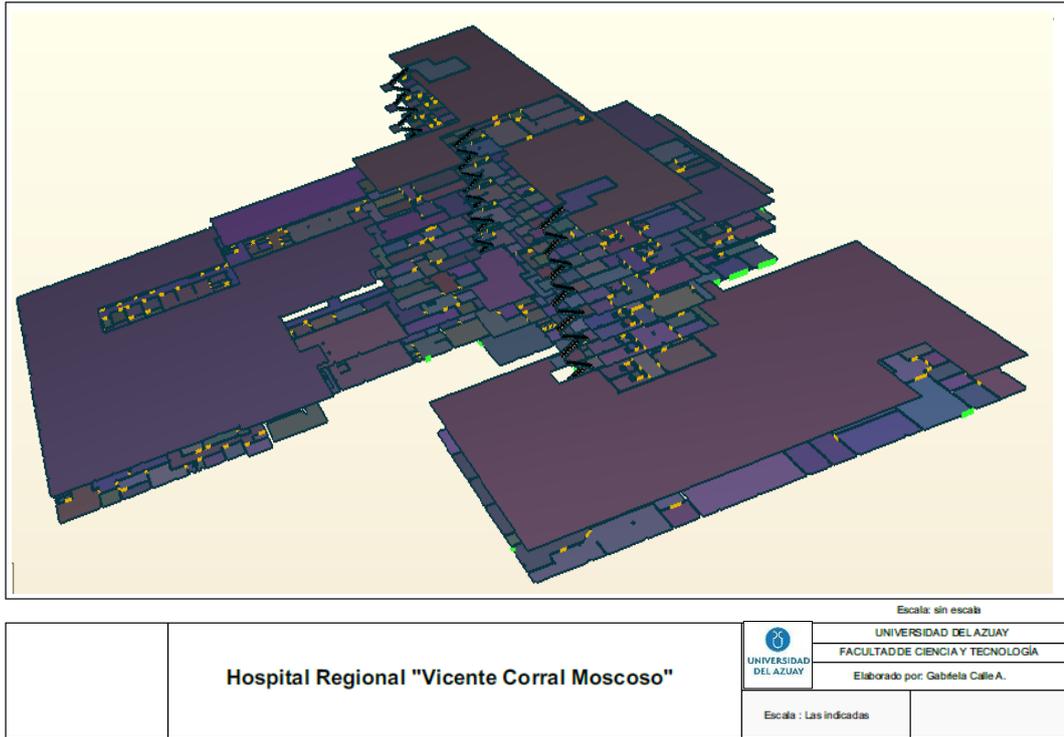


Figura 2. 22: Modelación de las escaleras del hospital (vista en 3D)

Fuente: Elaboración propia

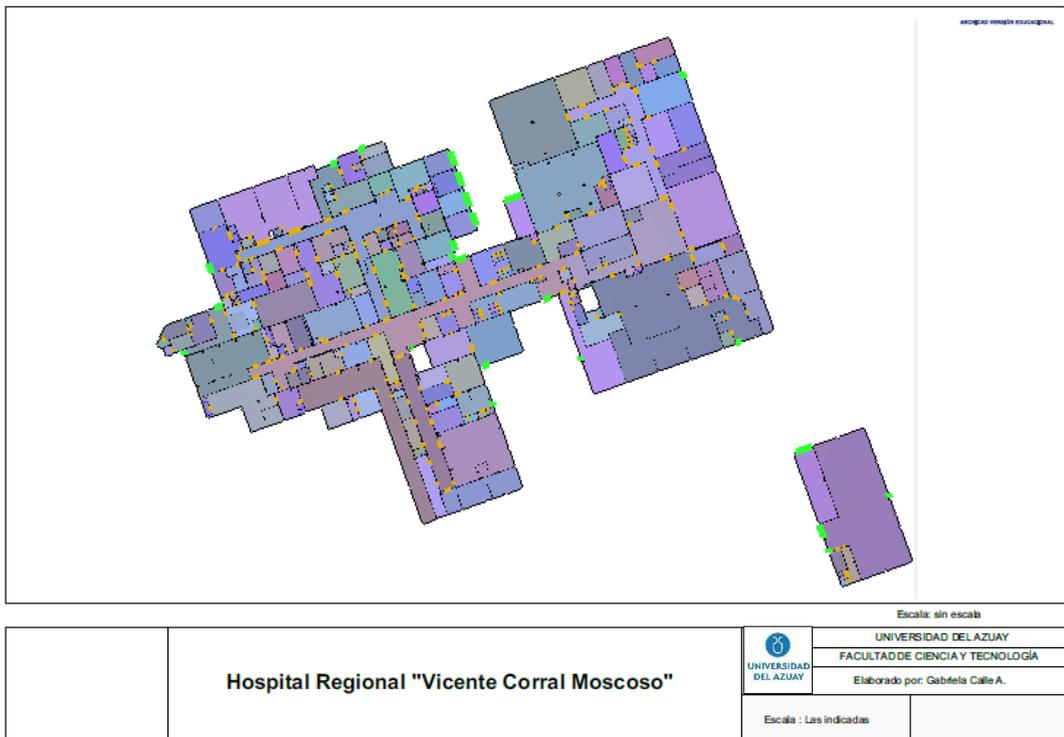


Figura 2. 23: Modelación de las escaleras del subsuelo

Fuente: Elaboración propia

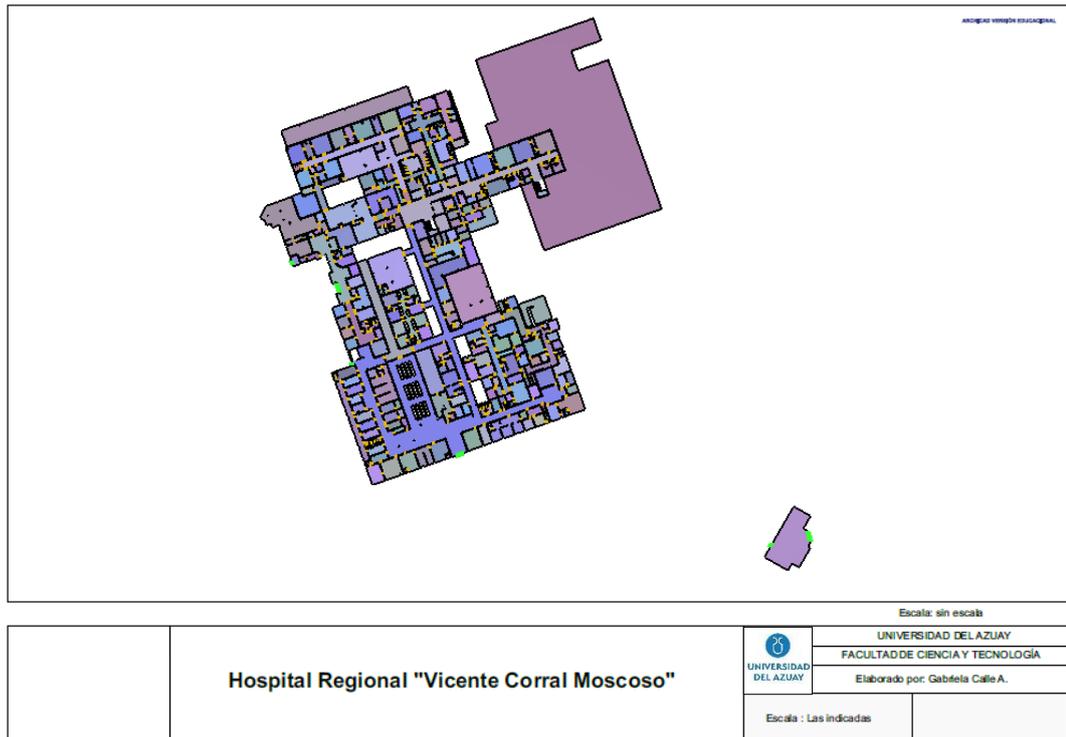


Figura 2. 24: Modelación de las escaleras del primer piso

Fuente: Elaboración propia

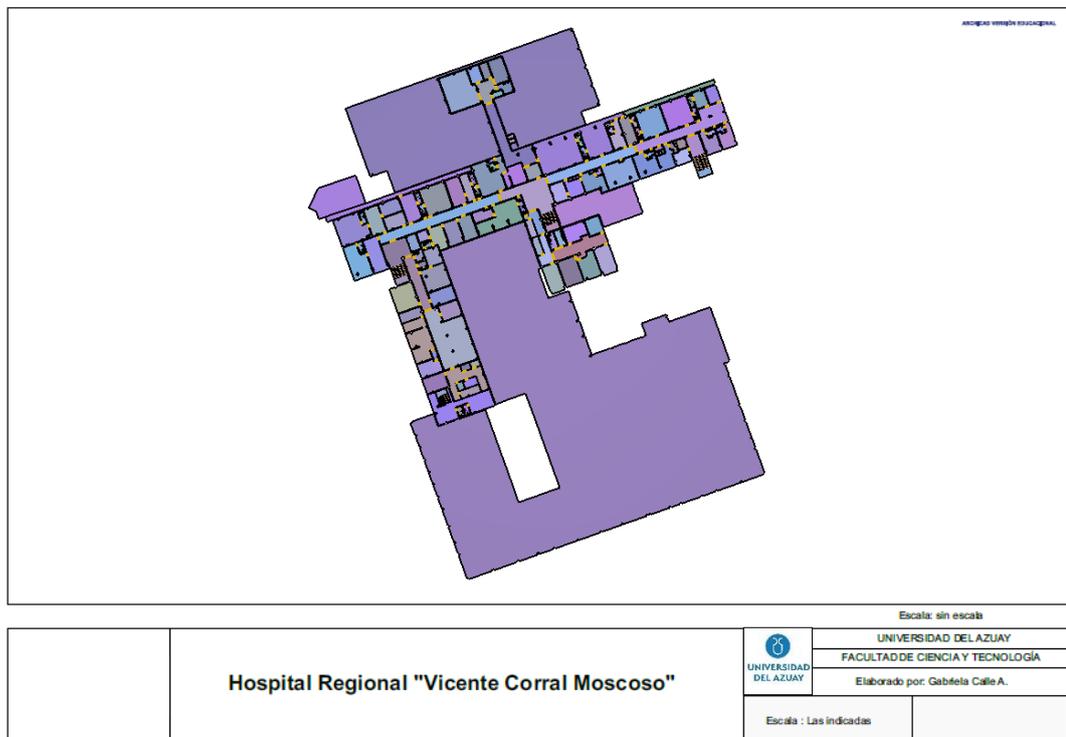


Figura 2. 25: Modelación de las escaleras del segundo piso

Fuente: Elaboración propia

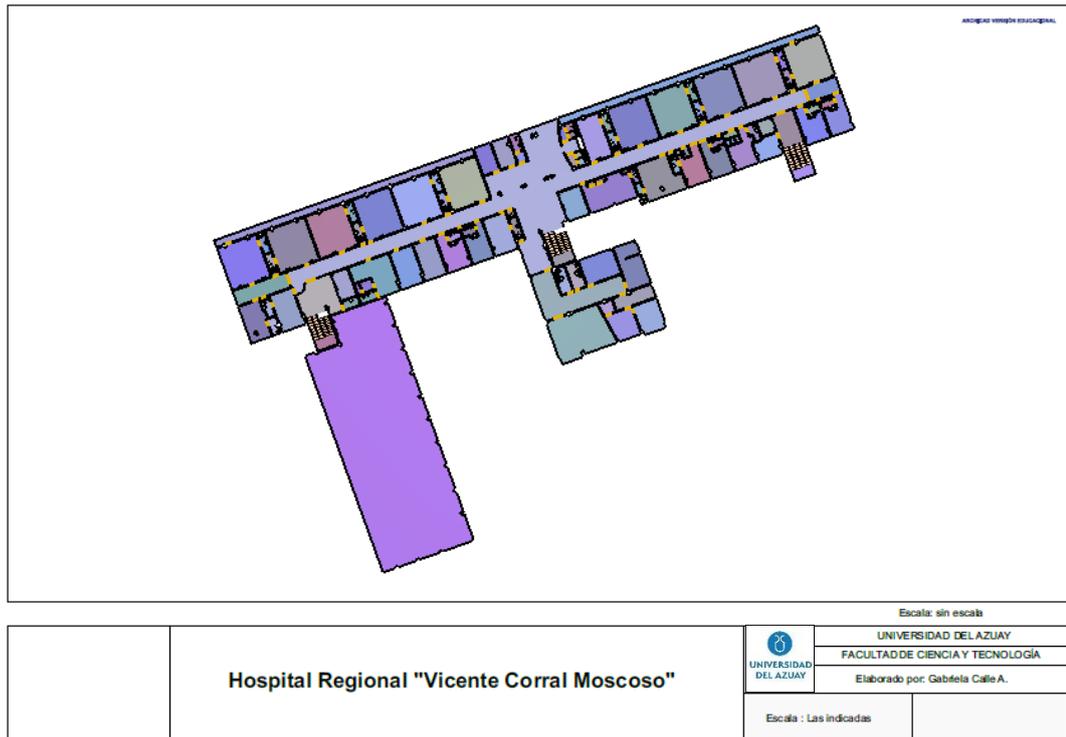


Figura 2. 26: Modelación de las escaleras del tercer piso

Fuente: Elaboración propia

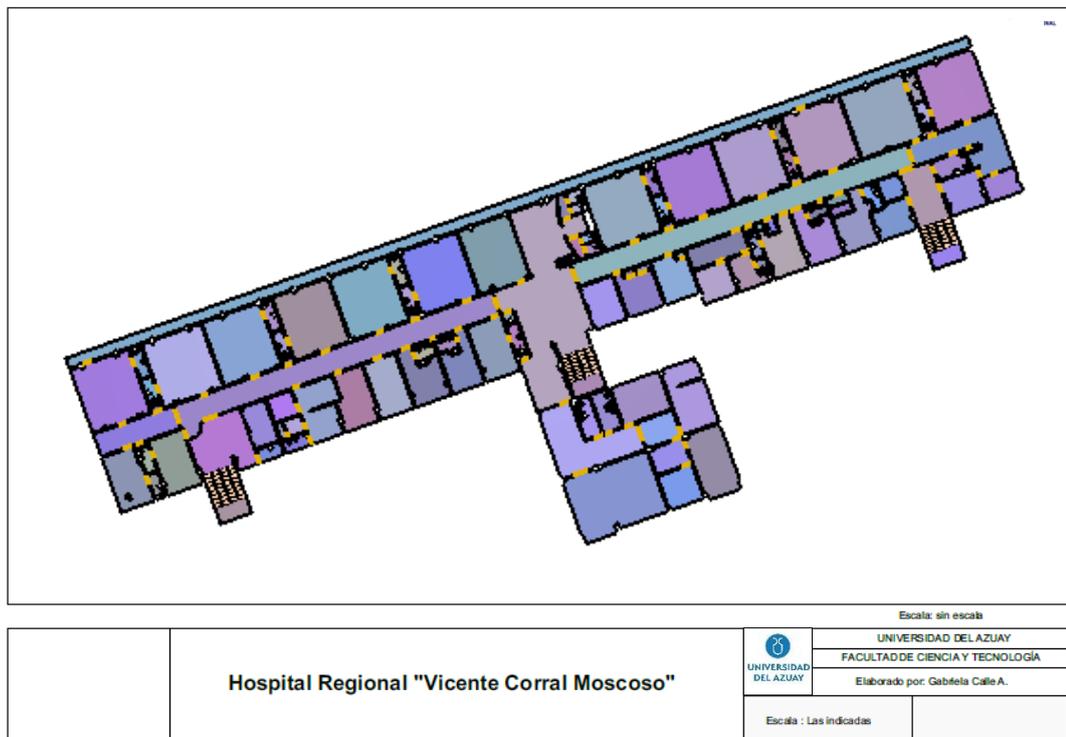


Figura 2. 27: Modelación de las escaleras del cuarto piso

Fuente: Elaboración propia

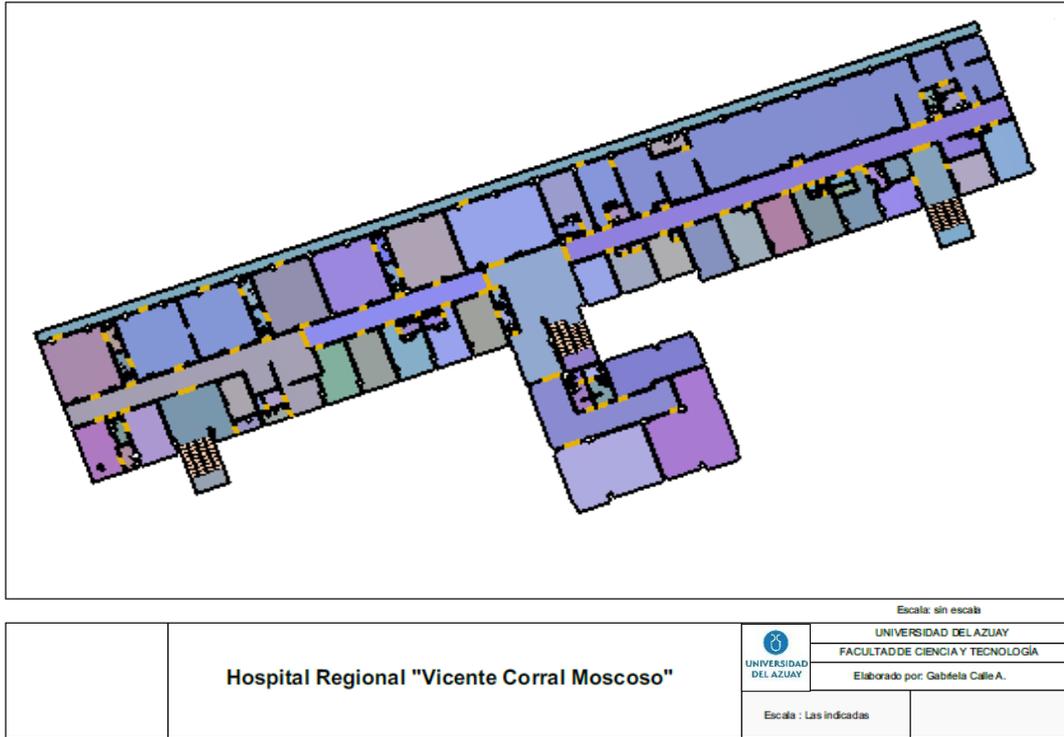


Figura 2. 28: Modelación de las escaleras del quinto piso

Fuente: Elaboración propia

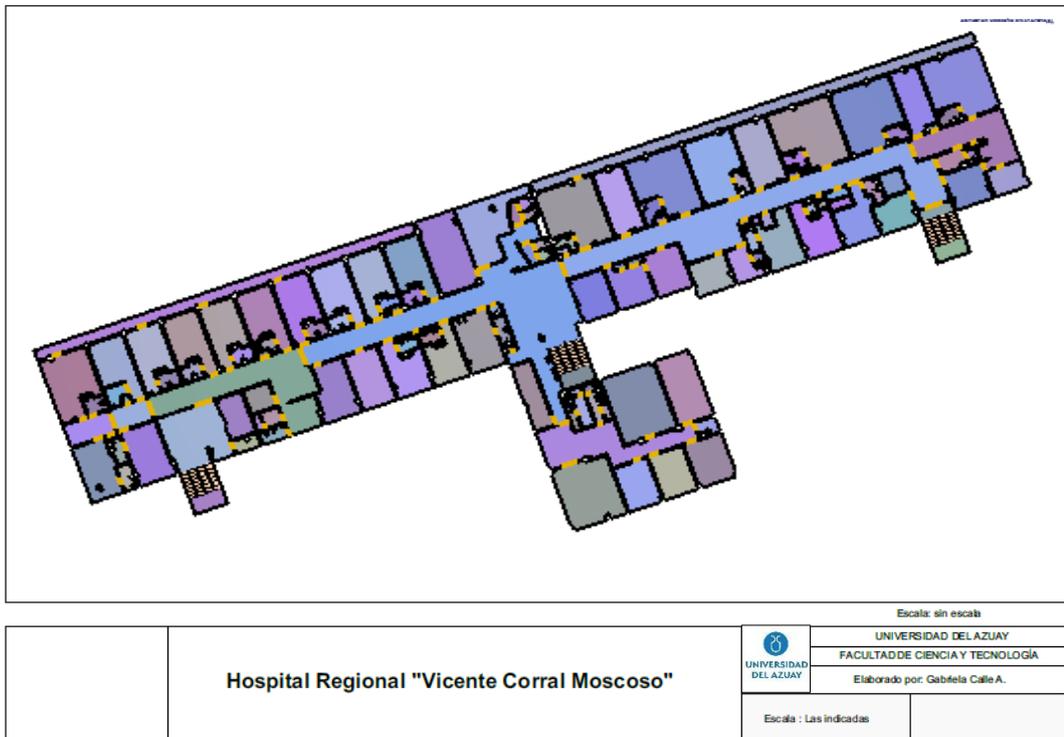


Figura 2. 29: Modelación de las escaleras del sexto piso

Fuente: Elaboración propia

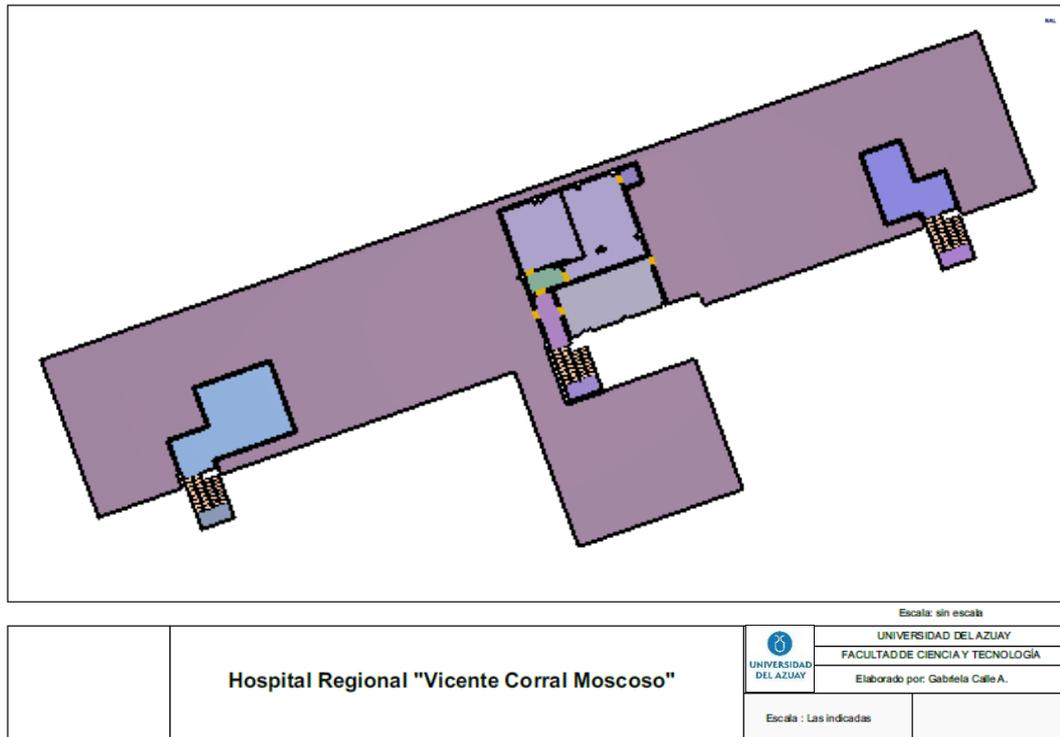


Figura 2. 30: Modelación de las escaleras de la terraza

Fuente: Elaboración propia

2.1.4 Modelación de ascensores

La modelación de los ascensores no se consideró debido, a que en caso de un sismo no se recomienda la utilización de los mismos.

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

2.2.1 Número de personas en el Hospital Regional Vicente Corral Moscoso

Para determinar el número de personas que se encuentran en el hospital se utilizó datos proporcionados por el mismo hospital.

Los datos que se utilizan para este estudio son del mes de junio del año 2018, donde se tomó muestras de varios días para determinar si estos datos coincidían con el estado actual, el cual varió con un mínimo de 2 a 3 personas en cada piso.

Para este estudio se consideró la población máxima del hospital para obtener resultados más favorables, constando de trabajadores en general, pacientes internos,

pacientes externos, visitas de familiares, acompañantes de pacientes externos, guardias, entre otros.

2.2.1.1 Trabajadores en general

2.2.1.1.1 Personal de salud

Las personas que conforman cada piso del hospital son: médicos, licenciadas en enfermería, enfermeras, auxiliares en diferentes ámbitos, internos en diferentes unidades, posgradistas y residentes. A continuación se detalla el número de personas en cada piso.

Subsuelo: 90 personas en total del subsuelo.

Primer piso: 85 personas en total del primer piso.

Segundo piso: 40 personas en total del segundo piso.

Tercer piso: 46 personas en total del tercer piso.

Cuarto piso: 89 personas en total del cuarto piso.

Quinto piso: 29 personas en total del quinto piso.

Sexto piso: 46 personas en total del sexto piso.

Se utilizará para la modelación un total de 425 personas en todos los pisos.

2.2.1.1.2 Guardias

Los guardias que trabajan en el hospital se distribuyen en tres grupos de 12 personas, con un total de 36 guardias. Cada grupo trabaja en diferentes turnos de 8 horas, donde utilizaremos para el estudio un grupo de guardias.

De los 12 guardias mencionados anteriormente, tres no se considerarían en la modelación, ya que la misma solo consta de la parte interna de la unidad hospitalaria.

2.2.1.1.3 Limpieza y mantenimiento

El número de personas que conforman la limpieza y mantenimiento en cada piso del hospital son los siguientes:

Subsuelo: 8 personas de limpieza y 1 persona de mantenimiento.

Primer piso: 2 personas de limpieza y 2 personas de mantenimiento.

Segundo piso: 1 persona de limpieza.

Tercer piso: 2 personas de limpieza y 1 persona de mantenimiento.

Cuarto piso: 6 personas de limpieza.

Quinto piso: 1 persona de limpieza.

Sexto piso: 3 personas de limpieza.

El personal de mantenimiento considerado anteriormente trabaja de manera rotatoria en todos los pisos de la edificación.

Para la modelación se tomará en cuenta un total de 23 personas de limpieza y 4 personas de mantenimiento.

2.2.1.1.4 Cocina y lavador de vajilla

El personal que labora en cocina está conformado aproximadamente por 7 personas, los cuales se han tomado para la modelación.

2.2.1.1.5 Lavandería

Se consideran 7 personas en el área de lavandería, los mismos que se encargan de recolectar la ropa de las diferentes especialidades de la unidad hospitalaria y trasladan toda la ropa hasta la sección de lavandería.

2.2.1.1.6 Cafetería, bar

Se supone un número de 4 personas en el área de cafetería y el bar.

2.2.1.1.7 Costureras

En el área de costura laboran aproximadamente 5 personas.

2.2.1.1.8 Personal administrativo

Se ha determinado el personal administrativo dependiendo el cargo en cada piso de la unidad hospitalaria. A continuación se detallará cuantas personas están cada piso.

Subsuelo: 9 personas.

Primer piso: 15 personas.

Segundo piso: 41 personas.

Tercer piso: 3 personas.

Cuarto piso: 9 personas.

Quinto piso: 10 personas.

Sexto piso: 11 personas.

Terraza: No se encuentra personal en este piso.

Se utilizará en la modelación un total de 98 personas en el área administrativa.

2.2.1.1.9 Carpintería y taller

No se encuentra definido pero se tomará de 1 a 2 personas en cada área. Se modelará con un total de 13 personas.

2.2.1.1.10 Laboratorio clínico

Se consideraron un mínimo de 7 personas, ya que son personas ambulatorias.

2.2.1.2 Pacientes internos

Se ha determinado el número de pacientes internos de acuerdo al número de camas que se encuentra en cada piso de la edificación.

2.2.1.2.1 Número de camas por piso

Subsuelo: 67 camas en total, en la parte derecha hay 28 camas y en la parte izquierda hay 39 camas.

Primer piso: 31 camas en la parte derecha.

Segundo piso: 37 camas en la parte derecha, en el lado izquierdo no existen camas.

Tercer piso: 59 camas, en la parte derecha hay 31 camas y en la parte izquierda hay 28 camas.

Cuarto piso: 50 camas, en la parte derecha hay 28 camas y en la parte izquierda hay 22 camas.

Quinto piso: 3 camas en la parte derecha y 9 entre sillas y camas en la parte izquierda.

Sexto piso: 39 camas, en la parte derecha hay 24 camas y en la parte izquierda hay 15 camas.

Para la modelación se utilizó solo pacientes que puedan evacuar por sí mismos, ya que sabemos que la mayoría de pacientes en estado crítico se encuentran en la parte derecha del hospital, por lo tanto se tomó un total de 172 pacientes.

2.2.1.3 Visitas (familiares de pacientes internos)

Se ha determinado que se debe considerar un mínimo 2 por pacientes, debido a que se ha observado que por lo general los pacientes llegan con 2 o más personas.

En la modelación se estimó un total de 285 personas.

2.2.1.4 Pacientes consulta externa

Se determinó un promedio por hora de pacientes que acuden diariamente a consulta externa mediante la documentación adquirida en la edificación hospitalaria, en la cual se detalla el total de pacientes que fueron atendidos en consulta externa en el período de Enero a Junio del presente año.

El total de pacientes atendidos en consulta externa en el período de enero a junio es de 83022 pacientes, a continuación se detalla el cálculo de los pacientes considerados:

Tabla 2. 1: 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

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

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

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

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

Como resultado se obtiene un total de 85 pacientes que son atendidos en consulta externa cada hora.

2.2.1.5 Acompañantes de pacientes externos

La mayoría de pacientes que acuden a la edificación hospitalaria van acompañadas por una persona, pero en ciertos casos acuden al hospital con 2 o más acompañantes; por lo que se consideró un factor de 1.5 adicional al número de pacientes, obteniéndose un total de acompañantes en consulta externa de:

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

$$\text{Total de acompañantes de pacientes externos} = 128 \text{ acompañantes/hora}$$

2.3 Modelación de la evacuación de los ocupantes ante una situación de riesgo

En el literal anterior, se determinó el número total de ocupantes de la edificación hospitalaria, para ello, se consideró el personal de salud, paciente en consulta con sus respectivos acompañantes, paciente en hospitalización y visitas. Cabe recalcar que para realizar la modelación, se incluyó el número máximo de ocupantes que acuden

diariamente a la edificación hospitalaria, para ello se realizaron varios registros en diferentes horas del día y diferentes días, obteniéndose el mayor número de ocupantes en el horario de visitas de 10H00 a 11H00.

2.3.1 Planos y tipo de paciente interno

A continuación se detallará el tipo de paciente que encontramos en los diferentes pisos de la edificación hospitalaria, de la misma manera analizaremos la diferencia de edades de los pacientes y su respectiva ubicación dentro de las instalaciones.

Cabe recalcar que en la parte derecha de toda la edificación hospitalaria, se encuentran los pacientes en estado crítico, mientras que en el lado izquierdo, se encuentran los pacientes considerados como estables.

2.3.1.1 Planta subsuelo

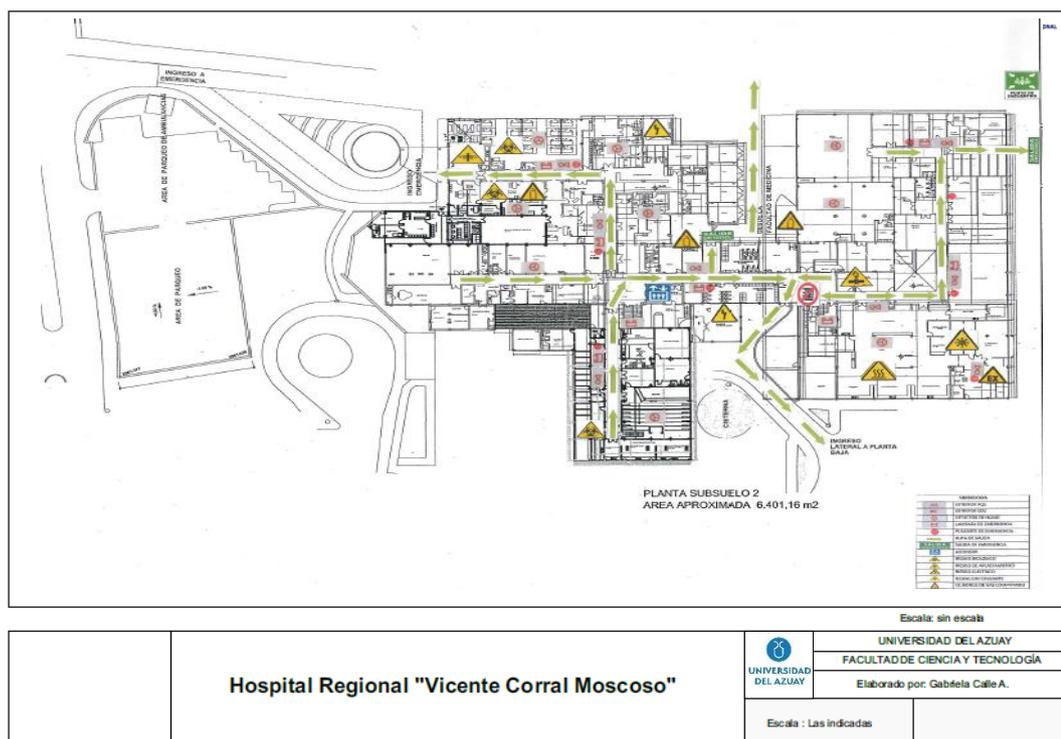


Figura 2. 31: Planta Subsuelo

Fuente: Elaboración propia

A continuación se detallan los servicios que brinda la entidad hospitalaria en esta planta:

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

En la parte izquierda están localizados los servicios de urgencias, aquí existen salas de observaciones de hombres y mujeres, vestidores, consultorios de médicos tratantes, estaciones de enfermería, la Unidad de Cuidados Críticos, una 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 ocupacional, un auditorio, un cuarto de almacenamiento de muestras de anatomía patológica, un cuarto de archivo documental (anatomía patológica), un banco de ojos (anatomía patológica) y un sindicato de enfermería.

2.3.1.2 Planta primer piso

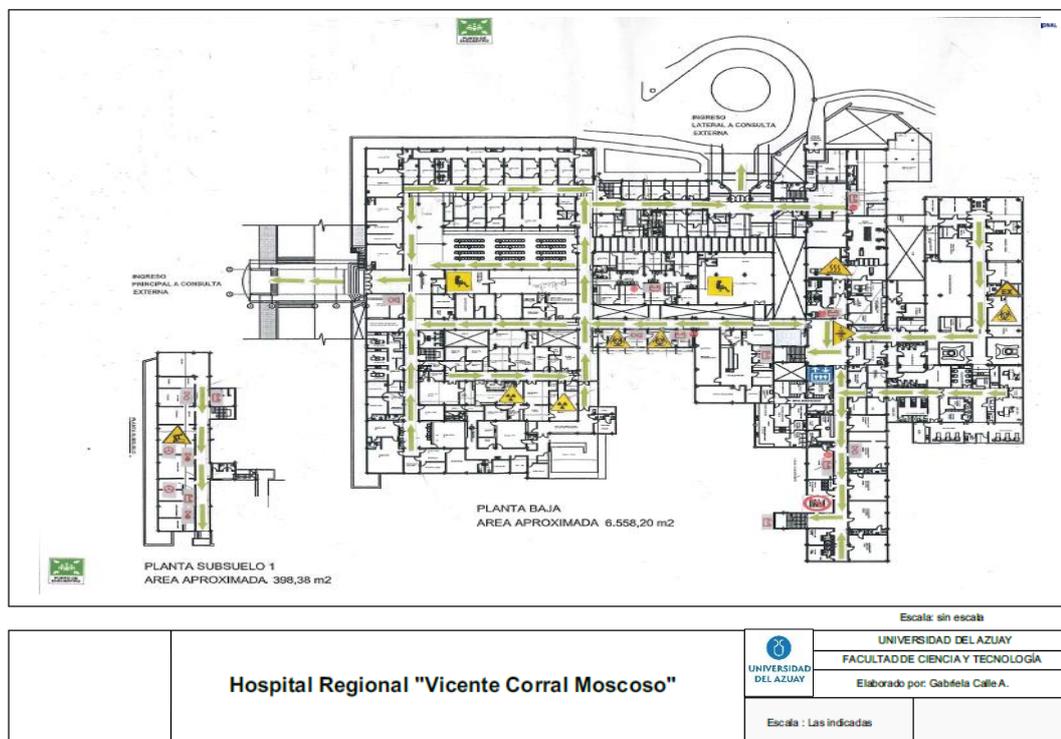


Figura 2. 32: Planta primer piso

Fuente: Elaboración propia

En este piso la unidad hospitalaria brinda los servicios de consulta externa en la parte frontal, y en la parte posterior existen pacientes internados.

La unidad hospitalaria en el área de consulta externa brinda diferentes especialidades a los usuarios, las mismas que detallaremos a continuación:

- Otorrinolaringología
- Cirugía maxilofacial
- Traumatología
- Odontología
- Coloproctología
- Neumología – neumología pediátrica
- Neurología – neurocirugía
- Cirugía pediátrica
- Sala de tomografía
- Radiación (remodelación)
- Sala de procedimientos de fluoroscopia
- Cuarto de mandos
- Radiología
- Salas de rayos X
- Secretaría
- Sala de reanimación – recuperación
- Sala de mamografía
- Cuarto de tratantes
- Sala de ecografía
- Cirugía vascular – nefrología
- Cardiología
- Cardiología pediátrica
- Gastroenterología
- Gastroenterología pediátrica
- Nefrología adultos
- Nefrología pediátrica
- Cirugía general
- Dermatología

- Endocrinología
- Atención al usuario
- Preparación adultos
- Hematología – cirugía plástica
- Nutriología adultos
- Nutrición pediátrica
- Oftalmología
- Pediatría – endocrinología pediátrica
- Cirugía plástica pediátrica
- Reumatología endocrinología
- Medicina interna
- Genética – dermatología – oncología
- Sala de triaje – banco de leche
- Registro civil
- Psicología infante juvenil
- Urología
- Capilla
- Infectología adultos
- Oficina de enfermería
- Psicología psiquiátrica
- Audiología
- Terapia de audiología
- IESS
- Vacunación
- Farmacia
- Gestión financiera – contratación pública
- Neurología
- Entrega de resultados
- Monitorización
- Valoración recién nacidos
- Anestesia
- Gineco obstetricia

2.3.1.3 Planta segundo piso

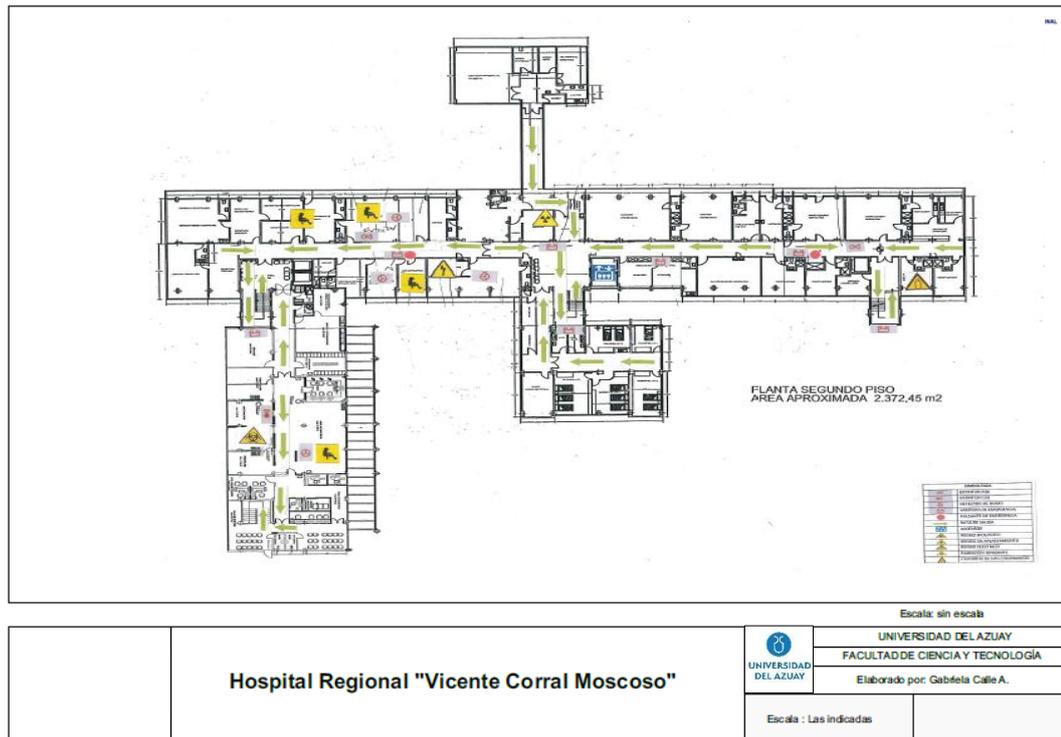


Figura 2. 33: Planta segundo piso

Fuente: Elaboración propia

En el segundo piso se localiza:

- ✓ Gerencia
- ✓ Dirección hospitalaria
- ✓ Recaudación (Red Pública Integral de Salud)
- ✓ Neonatología
- ✓ Ginecología

En la parte frontal izquierda es la preparación de cultivos y ésta se encuentra en remodelación, en la parte posterior izquierda están localizadas las oficinas de: gerencia hospitalaria, oficina de planificación seguimiento y evaluación de la gestión, gestión de calidad y vigilancia epidemiológica, unidad de talento humano, unidad de seguridad y salud ocupacional, vigilancia epidemiológica y la oficina de Red Pública.

En la parte derecha está ginecología; existe una sala de valoración de pacientes, una estación de enfermería, ginecobstetricia, manejo materno prenatal, ecografías y habitaciones para pacientes de ginecología.

2.3.1.4 Planta tercer piso

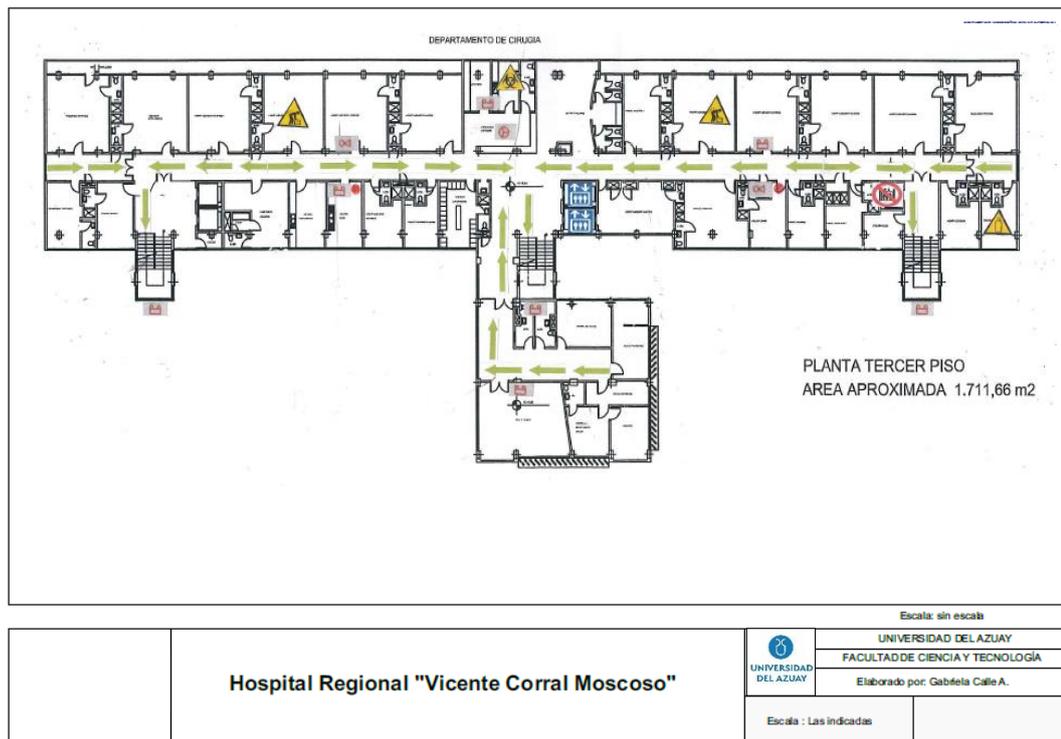


Figura 2. 34: Planta tercer piso

Fuente: Elaboración propia

En el tercer piso está:

- ✓ Cirugía
- ✓ Administración cirugía
- ✓ Trabajo Social cirugía

En la parte izquierda hay un vestuario de enfermería, cuartos de residentes, cuartos de tratamientos, habitaciones con aislamiento por aire, habitaciones con aislamiento por contacto y habitaciones para pacientes considerados como estables.

En la parte derecha hay un cuarto de internos, un cuarto de ropa limpia y cuartos de pacientes considerados en estado crítico.

En la parte central se localizan las oficinas de trabajo social y la administración de cirugía.

2.3.1.5 Planta cuarto piso

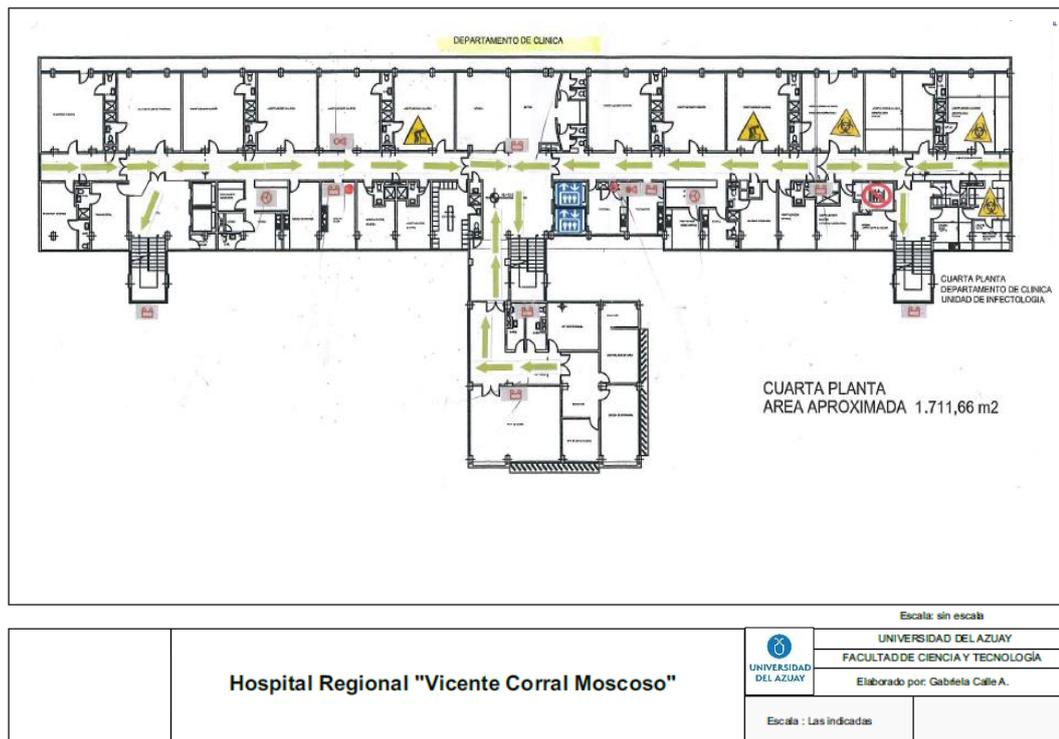


Figura 2. 35: Planta cuarto piso

Fuente: Elaboración propia

En el cuarto piso encontramos:

- ✓ Infectología
- ✓ Cirugía hombres
- ✓ Clínica mujeres
- ✓ Administración clínica
- ✓ Trabajo social clínica

En la parte izquierda hay un cuarto de hemodiálisis, habitaciones con aislamiento y habitaciones para pacientes estables.

En la parte derecha están ubicadas las habitaciones para pacientes considerados en estado crítico.

En la parte central hay una estación de enfermería, un lactario, una sala de reuniones y una sala de sesiones.

2.3.1.6 Planta quinto piso

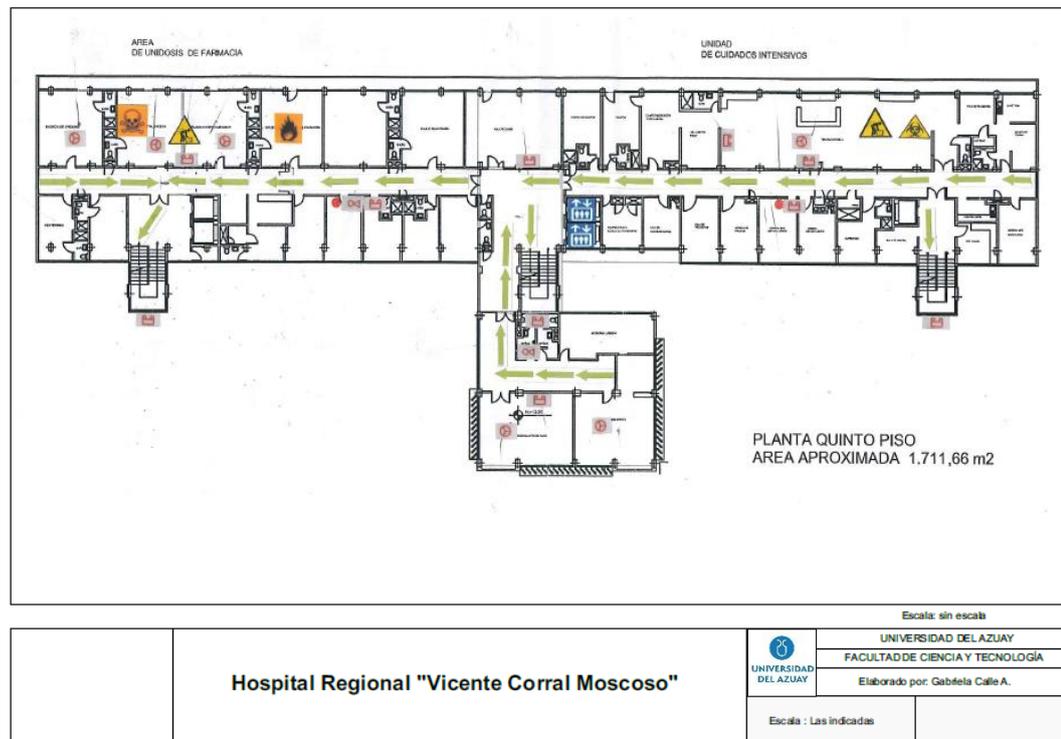


Figura 2. 36: Planta quinto piso

Fuente: Elaboración propia

En el quinto piso tenemos:

- ✓ Activos fijos
- ✓ Biblioteca
- ✓ Asesoría jurídica
- ✓ Unidad de Cuidados Intensivos (UCI)
- ✓ Unidad de biológicos

En la parte izquierda hay una bodega de la farmacia, salas de varones, la unidad de biológicos y existen habitaciones a las cuales no se pudo ingresar debido a que se encuentran cerradas.

En la parte derecha, está la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI).

En la parte central hay oficinas de asesoría jurídica, biblioteca y una oficina de activos fijos.

2.3.1.7 Planta sexto piso

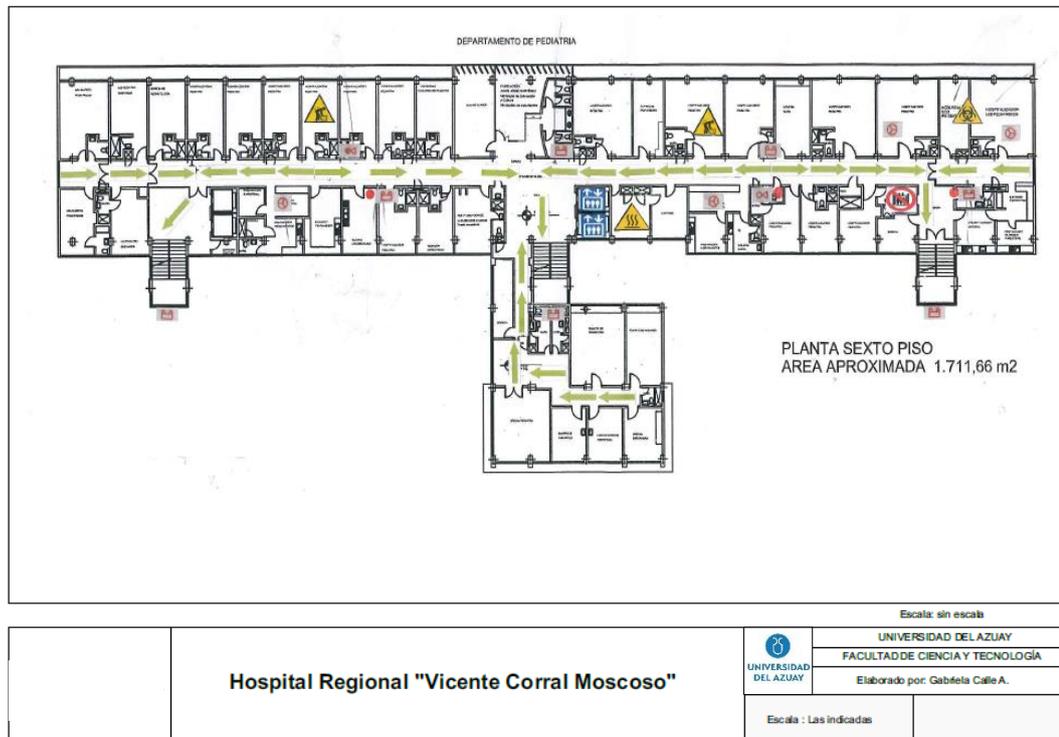


Figura 2. 37: Planta sexto piso

Fuente: Elaboración propia

En el sexto piso están localizados los siguientes servicios:

- ✓ Cirugía pediátrica
- ✓ Administración pediátrica
- ✓ Área de quemados
- ✓ Clínica pediátrica
- ✓ Unidad de Cuidados Intensivos (UCI)

En la parte izquierda existe una estación de enfermería, un cuarto de nutrición, un cuarto con ropa contaminada, vestidores de enfermería y habitaciones para pacientes considerados como estables.

En la parte derecha está la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI), cuartos con

aislamiento por contacto, preparación clínica y un cuarto de procedimientos.

Se encuentra en remodelación la Unidad de Cuidados Intensivos, localizada en la parte izquierda de este piso.

En la parte central del sexto piso hay oficinas de médicos, cuartos de residentes y cuartos de internos de medicina.

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

Para realizar la simulación de la evacuación en la entidad hospitalaria, se calculó una velocidad de paso promedio de los usuarios determinando un tamaño muestral para optimizar los recursos.

Un tamaño de muestra demasiado grande representa un desperdicio de recursos, tanto materiales como humanos. Además la calidad del estudio, dado dicho incremento, puede verse afectada en 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).

2.3.2.1 Determinación del tamaño de la muestra

A continuación se realizará el cálculo del tamaño de la población a considerarse para determinar la velocidad de paso promedio de los usuarios de la entidad hospitalaria.

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. 2: Porcentaje de nivel 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 que, generalmente 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:

$$e = 0.05, N=213, \sigma= 0.5 \text{ y } Z= 1.96$$

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

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

2.3.2.2 Clasificación de la muestra

A partir del tamaño de la muestra calculado en el literal anterior, se procedió a sacar un porcentaje según el tipo de paciente y acompañante que acude a consulta externa, para ello se consideró una relación considerable de usuarios con diferentes tipos de condiciones físicas e intelectuales, como se puede observar en la tabla 2.3:

Tabla 2. 3: Clasificación de la muestra consulta externa

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: Elaboración propia

2.3.2.3 Cálculo de la velocidad de paso

Para realizar el cálculo de la velocidad de paso de los pacientes y sus acompañantes, con la ayuda de un cronómetro se tomaron los tiempos que tardan cada uno de los usuarios en dar una pisada y se determinó un promedio de tiempo en cada caso.

De la misma manera, se consideró una distancia promedio de pisada para cada tipo de persona considerada anteriormente.

Una vez obtenidos estos datos se realizó el cálculo de la velocidad de cada usuario. Para el cálculo de la velocidad de cada ocupante, se usó la fórmula de la velocidad de Movimiento Rectilíneo Uniforme (MRU).

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

Tabla 2. 4: Cálculo de velocidad de paso de los ocupantes de la unidad hospitalaria

CÁLCULO DE VELOCIDAD DE PASO														
	ADULTOS	EMBARAZADAS	TERCERA EDAD	NIÑOS	PERSONAS CON MULETAS	PERSONAS CON NIÑOS EN BRAZOS	SILLA DE RUEDAS	PERSONAS CON NIÑOS CON CAPACIDADES ESPECIALES EN BRAZOS	PERSONA A MAL CADERA	PERSONA OPERADA PIE	TERCERA EDAD (MAL CADERA)	TERCERA EDAD (BASTÓN)	JOVEN PROBLEMA BRAZO Y PIE	PERSONAS OPERADAS
	0.54	0.62	0.93	0.48	0.83	0.46	0.52	0.73	0.53	0.94	0.5	0.82	1.01	1.05
	0.49	0.59	0.62	0.45	0.85	0.47	0.52					0.65		1.24
	0.66	0.65	0.65	0.46	0.79	0.47	0.79					0.75		1.15
	0.79	0.68	0.93	0.62										
	0.59	0.65	0.62	0.43										
	0.42	0.67	0.65	0.49										
	0.53	0.66	0.77	0.4										
	0.55		0.58	0.53										
	0.5		0.52	0.4										
	0.49		0.52	0.39										
	0.55		0.6	0.39										
	0.51		0.77	0.42										
	0.5		0.8	0.35										
	0.5			0.38										
	0.55			0.39										
	0.57			0.38										
	0.58			0.36										
	0.52			0.4										
	0.53			0.36										
	0.5			0.36										
	0.53			0.41										
	0.55			0.35										
	0.57			0.35										
	0.53			0.35										
	0.52			0.38										
	0.56			0.35										
	0.53			0.36										
	0.51			0.36										
	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)	0.540	0.605	0.689	0.405	0.823	0.467	0.610	0.730	0.530	0.940	0.500	0.735	1.010	1.145
Distancia de paso (m)	0.45	0.4	0.4	0.3	0.35	0.45	0.45	0.44	0.35	0.3	0.3	0.3	0.35	0.3
Velocidad (m/seg)	0.83	0.66	0.58	0.74	0.43	0.96	0.74	0.60	0.66	0.32	0.60	0.41	0.35	0.26

Fuente: Elaboración propia

2.3.2.4 Velocidad de paso del personal del hospital

El personal de la institución hospitalaria, está dentro de un rango de edad de 20 a 65 años, por lo que son considerados como adultos según la clasificación anterior, es por esta razón que estarían en el grupo de personas adultas. Entonces la velocidad de paso del personal considerada en el software es de $0.83 \frac{m}{seg}$ para el cálculo del tiempo del simulacro teórico y $0.625 \frac{m}{seg}$ para el cálculo del tiempo del simulacro práctico.

2.3.4 Modelación en el simulador de evacuación

A continuación se mostrará el resultado final de la modelación de la unidad hospitalaria.

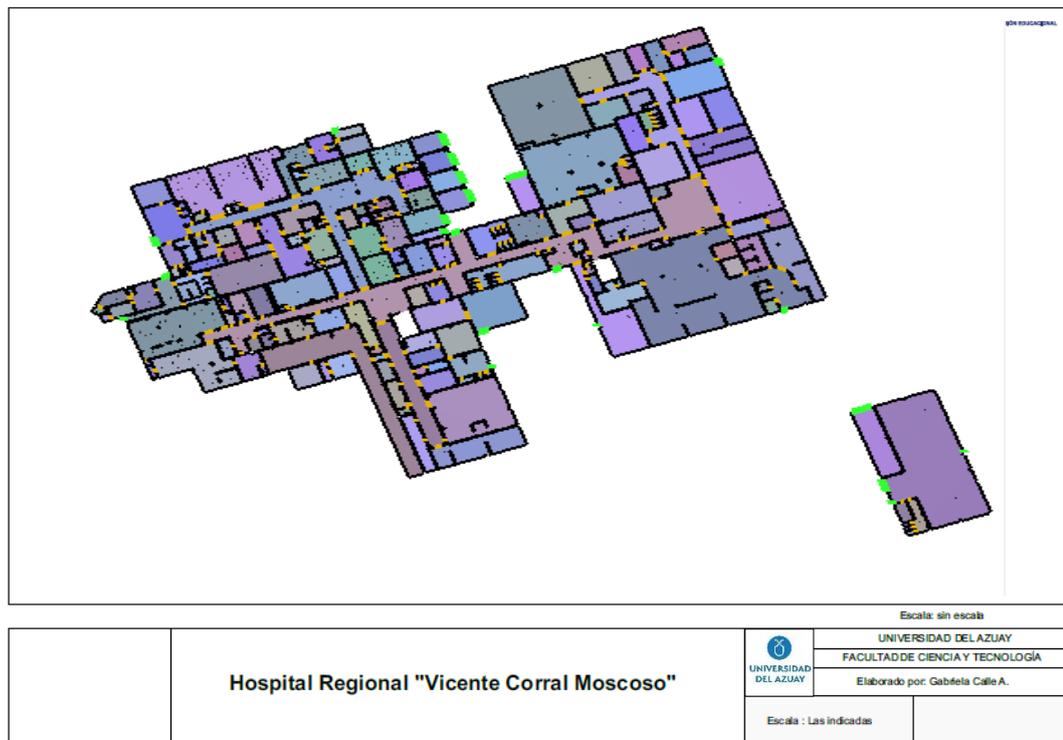


Figura 2. 38: Modelación final del subsuelo

Fuente: Elaboración propia

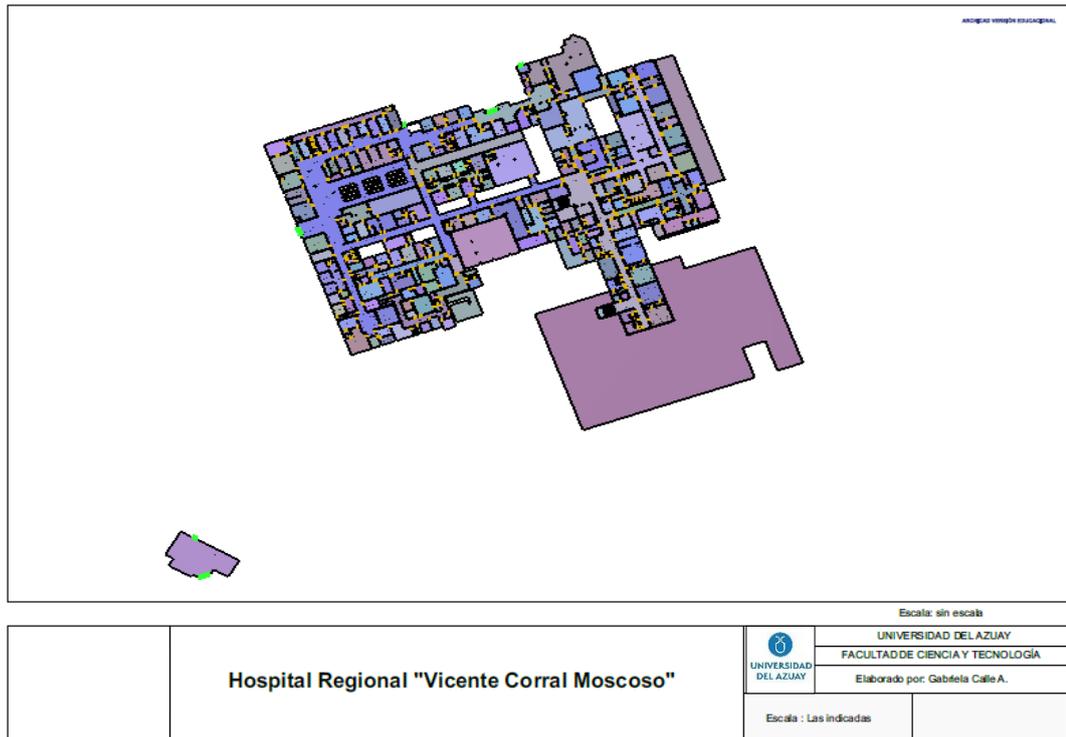


Figura 2. 39: Modelación final del primer piso

Fuente: Elaboración propia

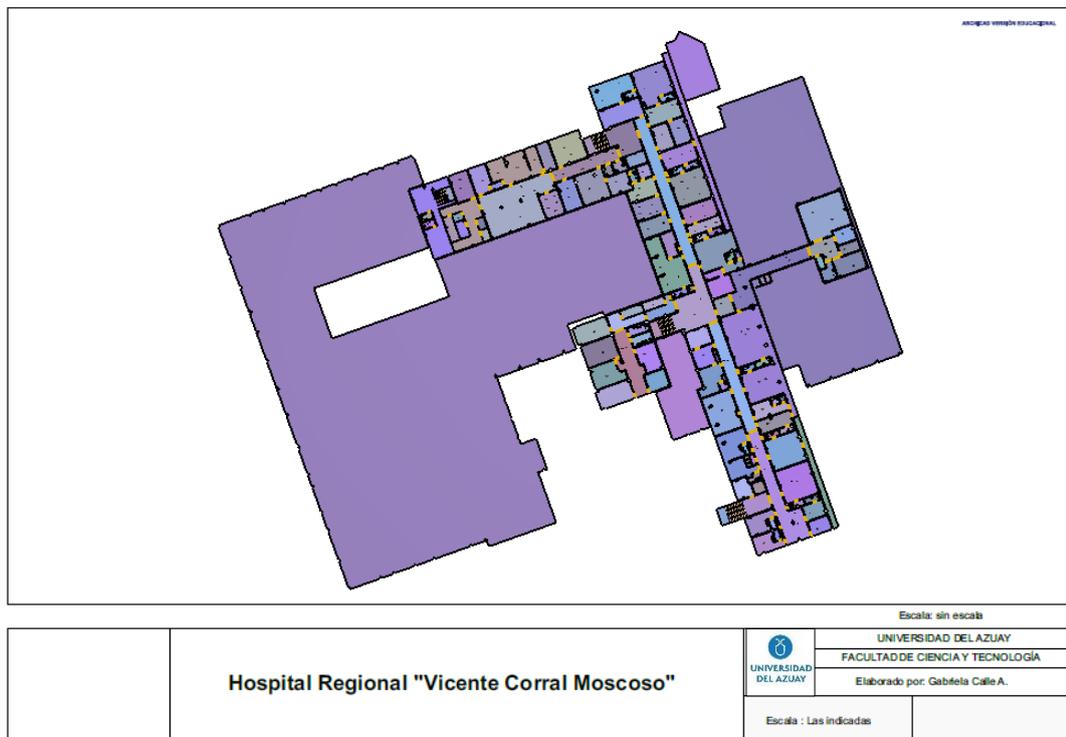


Figura 2. 40: Modelación final del segundo piso

Fuente: Elaboración propia

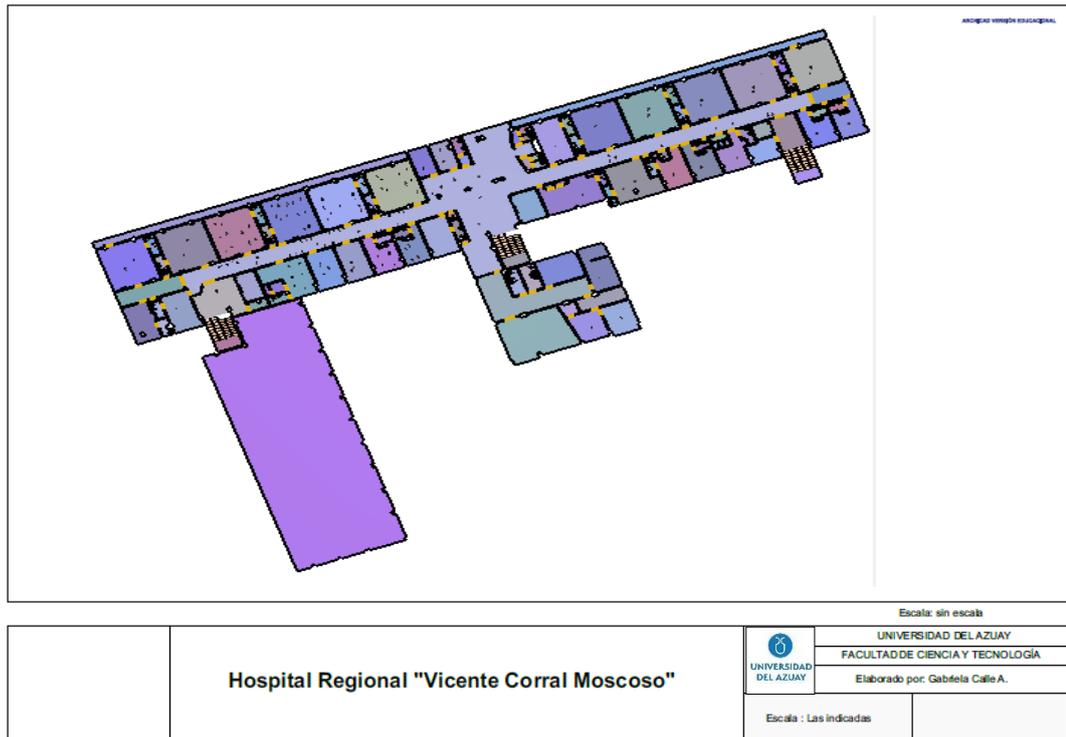


Figura 2. 41: Modelación final del tercer piso

Fuente: Elaboración propia

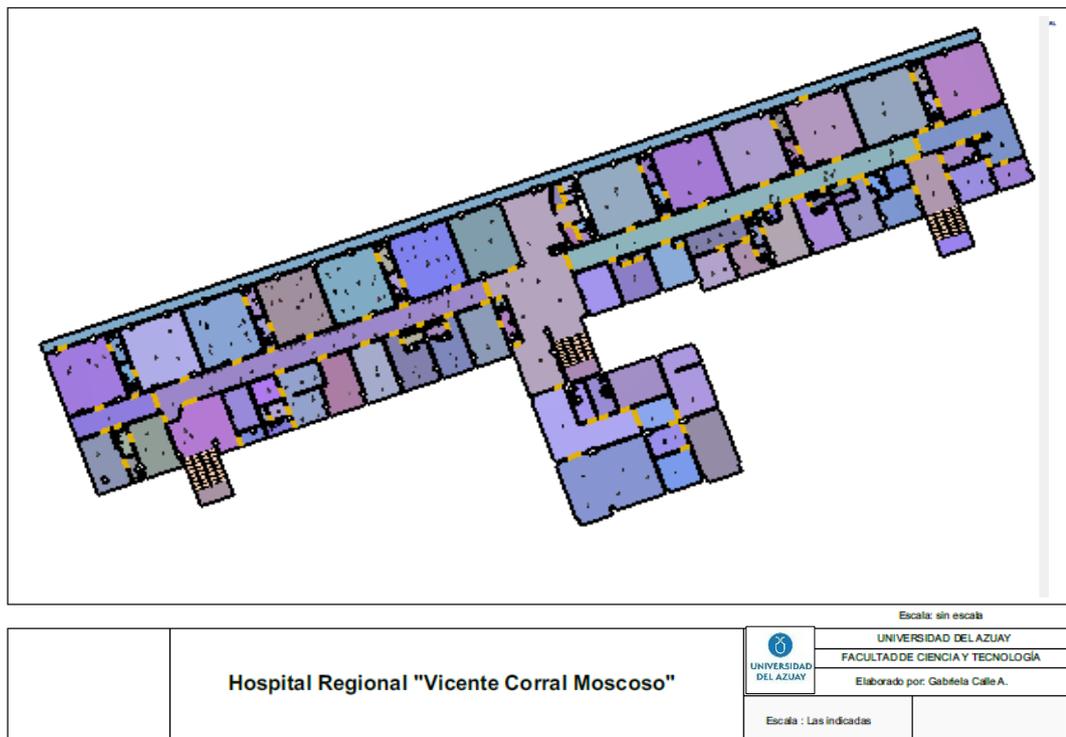


Figura 2. 42: Modelación final del cuarto piso

Fuente: Elaboración propia

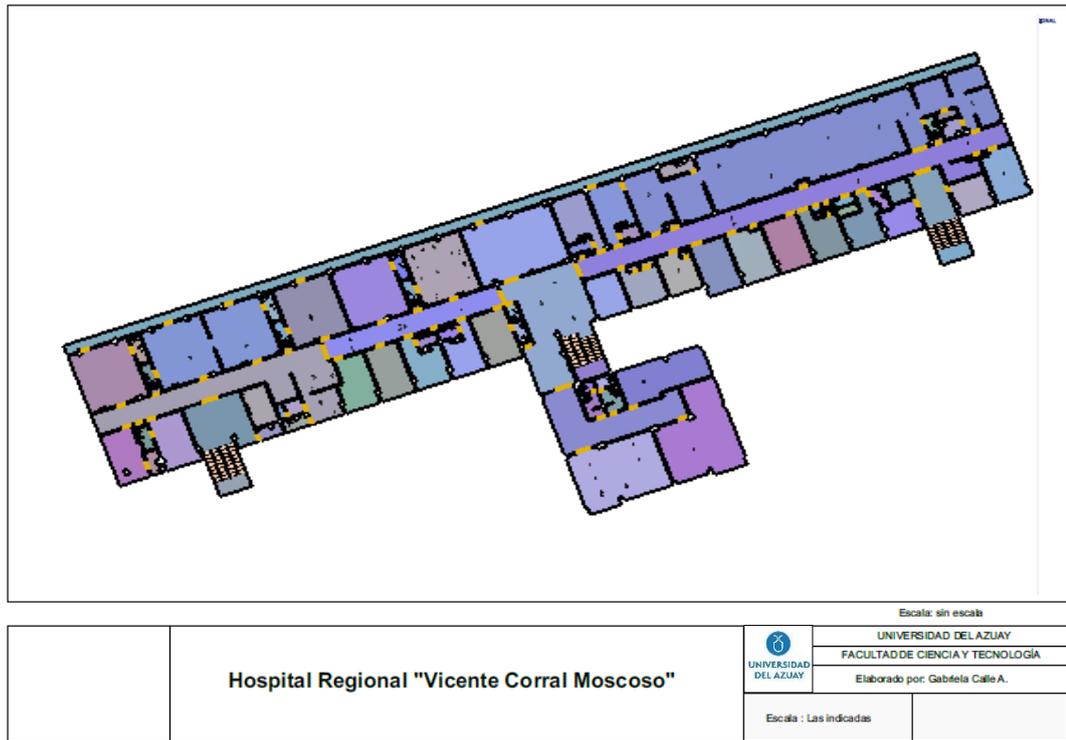


Figura 2. 43: Modelación final del quinto piso

Fuente: Elaboración propia

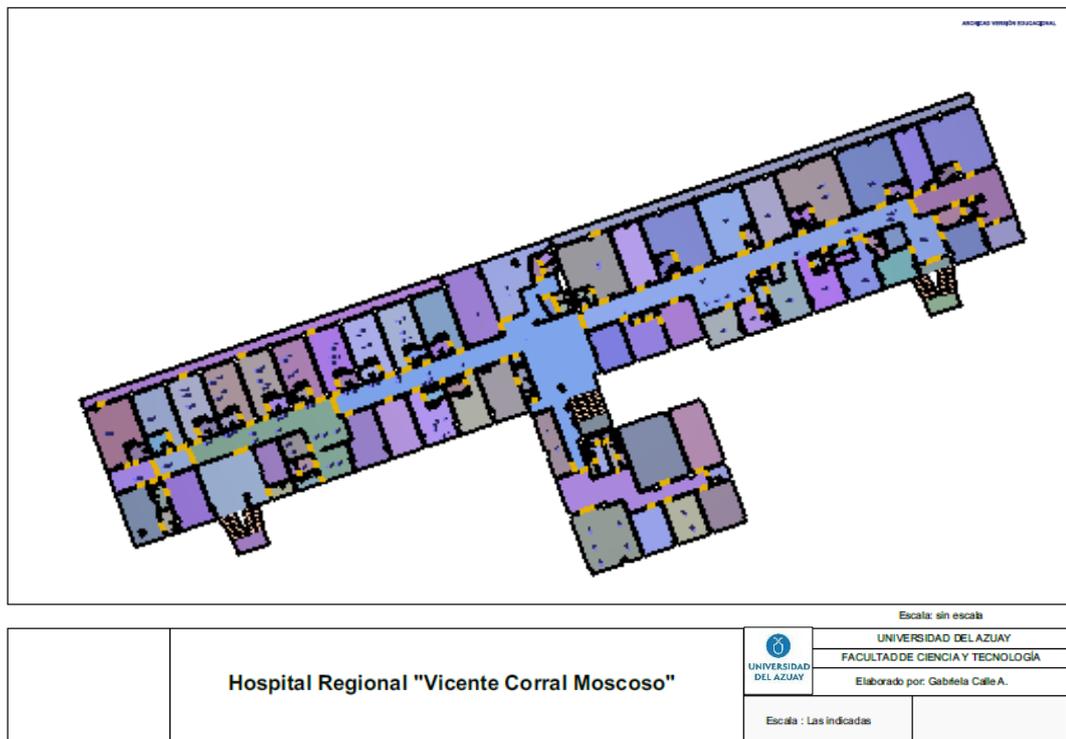


Figura 2. 44: Modelación final del sexto piso

Fuente: Elaboración propia

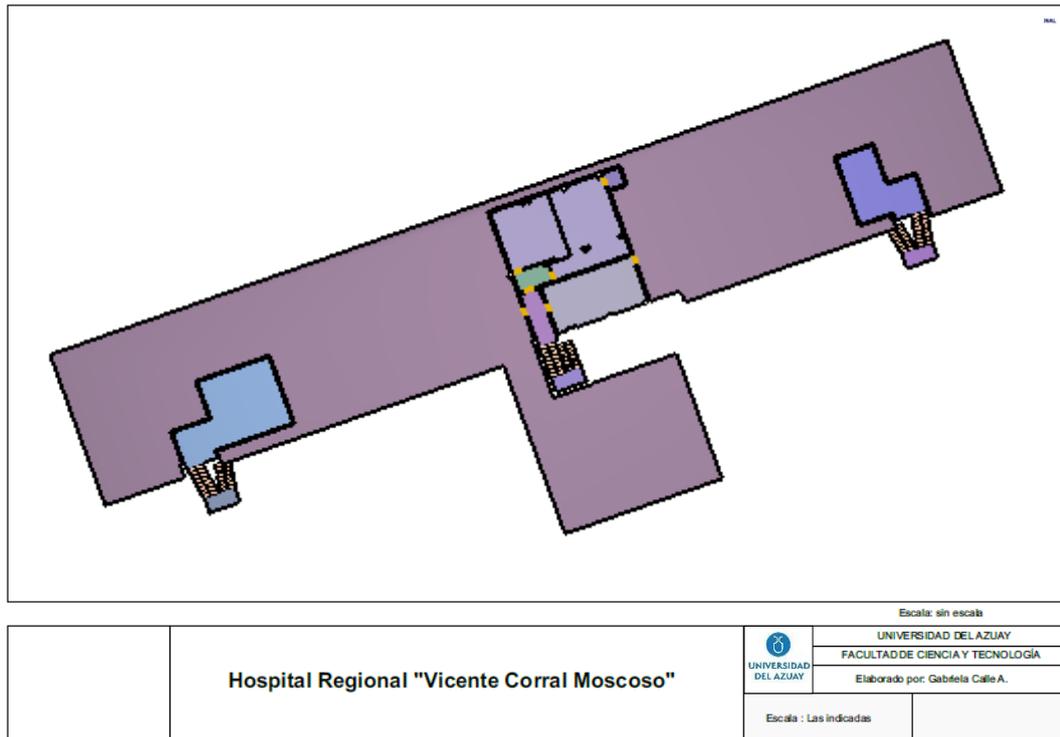


Figura 2. 45: Modelación final séptimo piso

Fuente: Elaboración propia

2.3.5 Triage

La evacuación total en un hospital es muy difícil de conseguir, lo más frecuente en una unidad hospitalaria son las evacuaciones parciales, para esto cada área del hospital debe contar con su propio plan de evacuación y éste debe concordar con el plan de evacuación general.

Al tratarse de una unidad hospitalaria relativamente grande, los usuarios que no puedan evacuar hacia el exterior de la entidad hospitalaria, deben tratar de dirigirse hacia un área segura o que no fue seriamente comprometida por el sismo extremo. Esta área denominada como segura debe ser definida previamente en el mismo piso o en pisos adyacentes.

Es importante saber que el objetivo de una evacuación es disminuir la pérdida de vidas humanas, por lo que se debe dar prioridad a los enfermos, familiares, personal de salud y luego a los expedientes y bienes de la unidad hospitalaria.

Para poder desalojar a los pacientes de áreas críticas, se debe tener en cuenta el tipo de patología que presenta la persona, la amplitud en cuanto a 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.

2.4 Plan de rutas de escape

No se cuenta con gradas de emergencia exteriores, pero esta edificación tiene gradas en la parte central, en la parte izquierda y en la parte derecha, que son las que habitualmente se usan para el ingreso y salida del personal de salud, pacientes, trabajadores en general y visitas, estas gradas también han sido consideradas como las rutas de evacuación a seguir para desalojar el hospital en caso de un evento siniestro.

Es necesario integrar y capacitar a una brigada de evacuación, considerando a todo el personal y todos los turnos, de la misma manera se deben verificar bien las zonas seguras y debe estar la correcta señalización en cada ruta de evacuación, de manera que no sea un impedimento al momento de la evacuación. En caso de una emergencia, las personas capacitadas para la evacuación, deben ser quienes deben guiar a los usuarios ajenos al hospital hacia puntos considerados como seguros.

Debe existir una buena señalización, tanto para el acceso a la edificación hospitalaria, como para la evacuación del mismo.

Ver planos en **Anexo 2.**

2.5 Análisis en corredores, puntos críticos, escaleras, entre otros

Al iniciar la evacuación de las instalaciones hospitalarias, se van a congestionar las salidas, los corredores y sobretodo las escaleras. El flujo en los pasillos es limitado, debido al ancho de las puertas de los pasillos, los cuales provocan cuellos de botella, es por esta razón habrá conflictos en la evacuación con ciertas demoras.

La entidad hospitalaria no cuenta con escaleras externas de emergencia, siendo éste un factor que influencia en el congestionamiento de los usuarios.

La mayoría de personas que ingresa al hospital, desconocen las salidas de emergencia y las rutas a seguir para poder llegar hasta ellas, este también debería ser considerado como un serio problema, ya que ocasionaría la inmovilización en la 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 salida serían las gradas.

Al ser una edificación con una gran concentración de personas, se generaría una gran congestión en las puertas de salida, lo que ocasionaría que el tiempo de evacuación se incremente considerablemente.

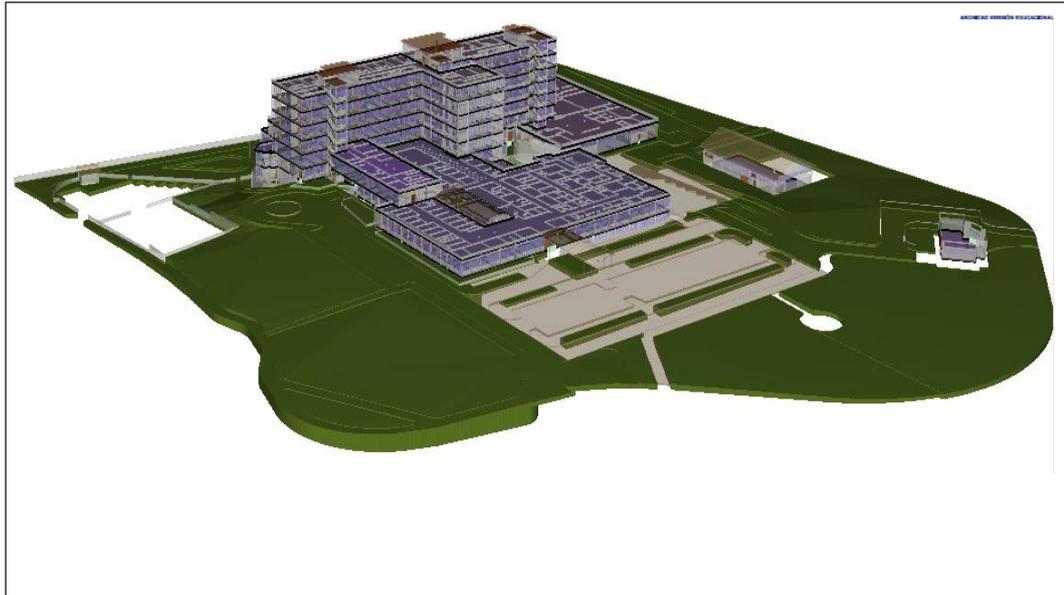
En cuanto a la zona de las escaleras, al querer descender, puede haber tropiezos, empujes entre usuarios, caídas de personas, caídas de objetos cortos punzantes (vidrios), etc., ocasionando una considerable disminución en la velocidad de descenso.

Un punto importante también es la verificación de la funcionalidad en cuanto a las salidas de emergencia, ya que al estar una de estas cerradas o fuera de servicio, provocaría un entorpecimiento en cuanto al flujo de evacuación.

2.6 Cuantificación del tiempo de evacuación

2.6.1 Modelación e interpretación de resultados

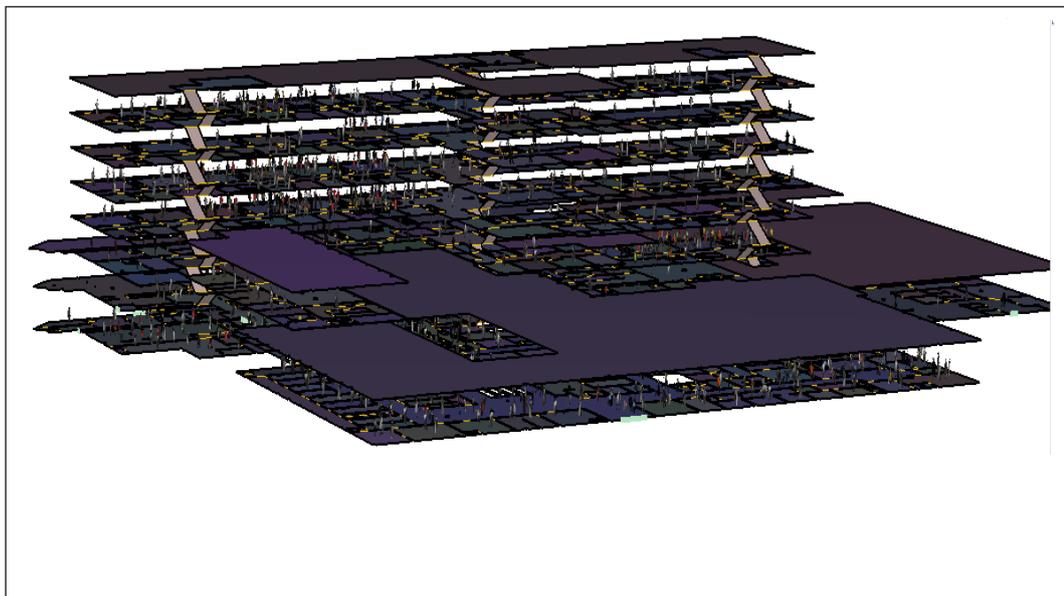
En el Hospital Regional Vicente Corral Moscoso se ha logrado realizar la modelación de un simulador de evacuación para los ocupantes en general, excepto los pacientes que se encuentran en estado crítico; así obteniendo una simulación semejante a la realidad, como podemos ver a continuación en las siguientes imágenes.



		Escala: sin escala	
		UNIVERSIDAD DEL AZUAY FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: Gabriela Calle A.	
Hospital Regional "Vicente Corral Moscoso"		Escala : Las indicadas	

Figura 2. 46: Modelación final del Hospital Vicente Corral Moscoso

Fuente: Elaboración propia



		Escala: sin escala	
		UNIVERSIDAD DEL AZUAY FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Elaborado por: Gabriela Calle A.	
Hospital Regional "Vicente Corral Moscoso"		Escala : Las indicadas	

Figura 2. 47: Vista 1 de la modelación en 3D

Fuente: Elaboración propia

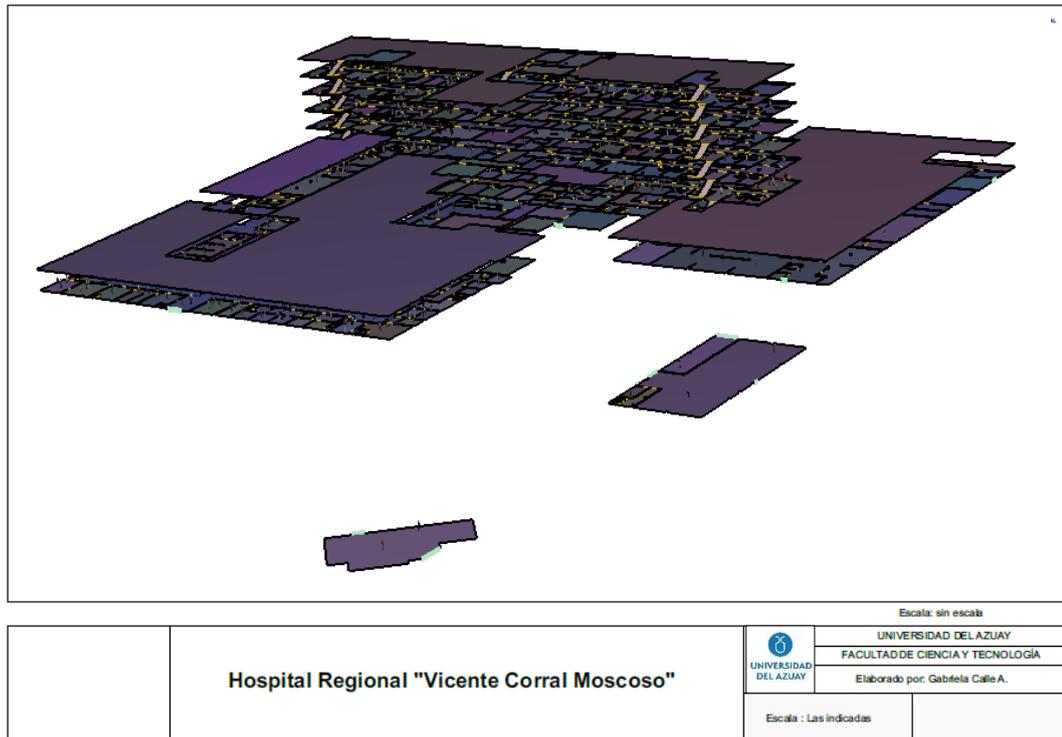


Figura 2. 48: Vista 2 de la modelación en 3D

Fuente: Elaboración propia

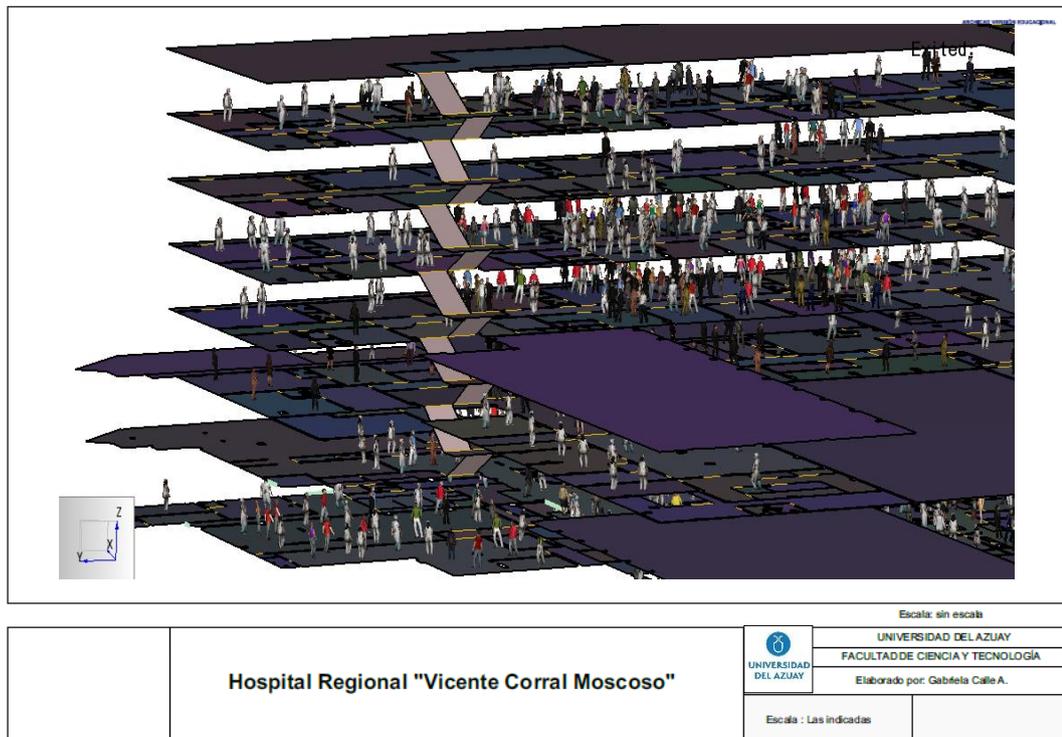


Figura 2. 49: Acercamiento de la modelación en 3D

Fuente: Elaboración propia

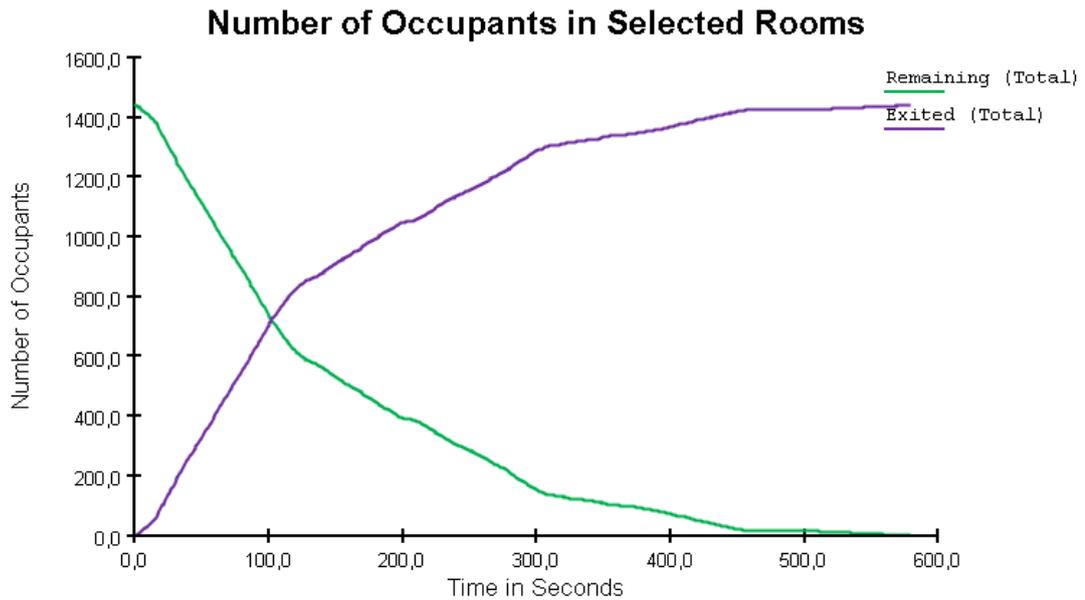


Figura 2. 50: Número de ocupantes en habitaciones seleccionadas

Fuente: Elaboración propia (software)

Podemos observar en la figura 2.50 la línea verde, representa cuantas personas quedan por evacuar en el transcurso del tiempo y la línea morada, representa cuantas personas evacuan con respecto al tiempo.

2.6.2 Densidad durante la evacuación de los ocupantes de la unidad hospitalaria

Se puede observar que la densidad es de acuerdo a la cantidad de personas que se encuentran en el lugar. Existe mayor densidad en espacios reducidos, escaleras, pasillos y puertas de salida. A continuación se puede observar cómo varía la densidad conforme pasa el tiempo:

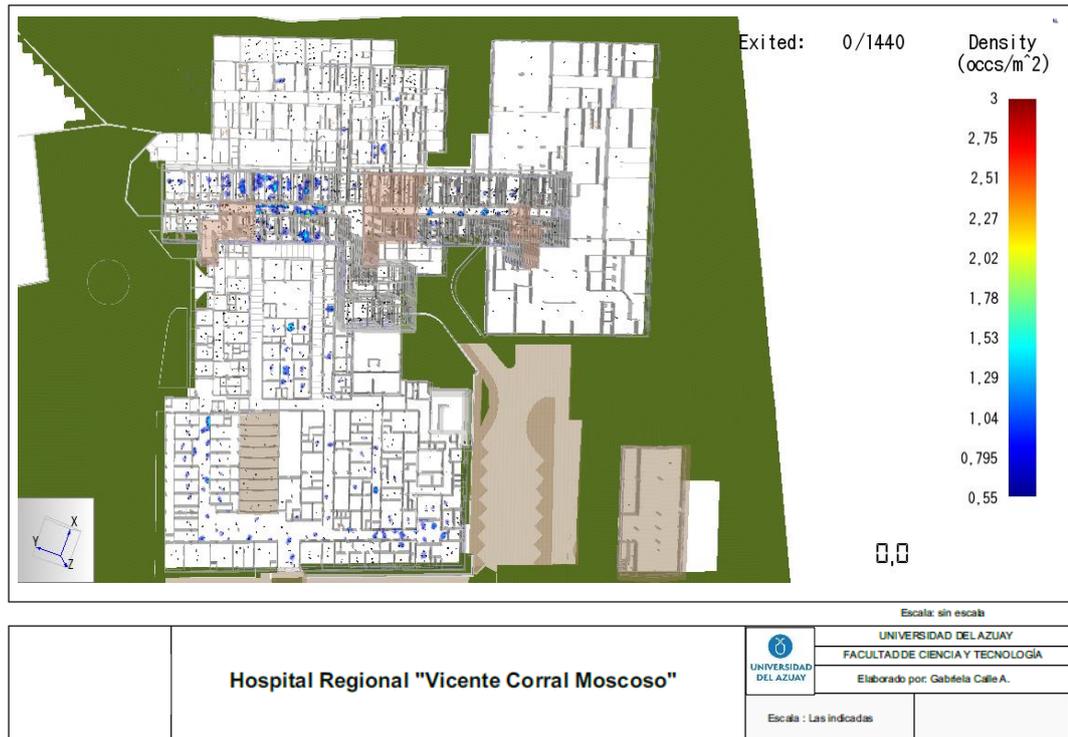


Figura 2. 51: Densidad de los ocupantes en el tiempo 0,0 seg

Fuente: Elaboración propia

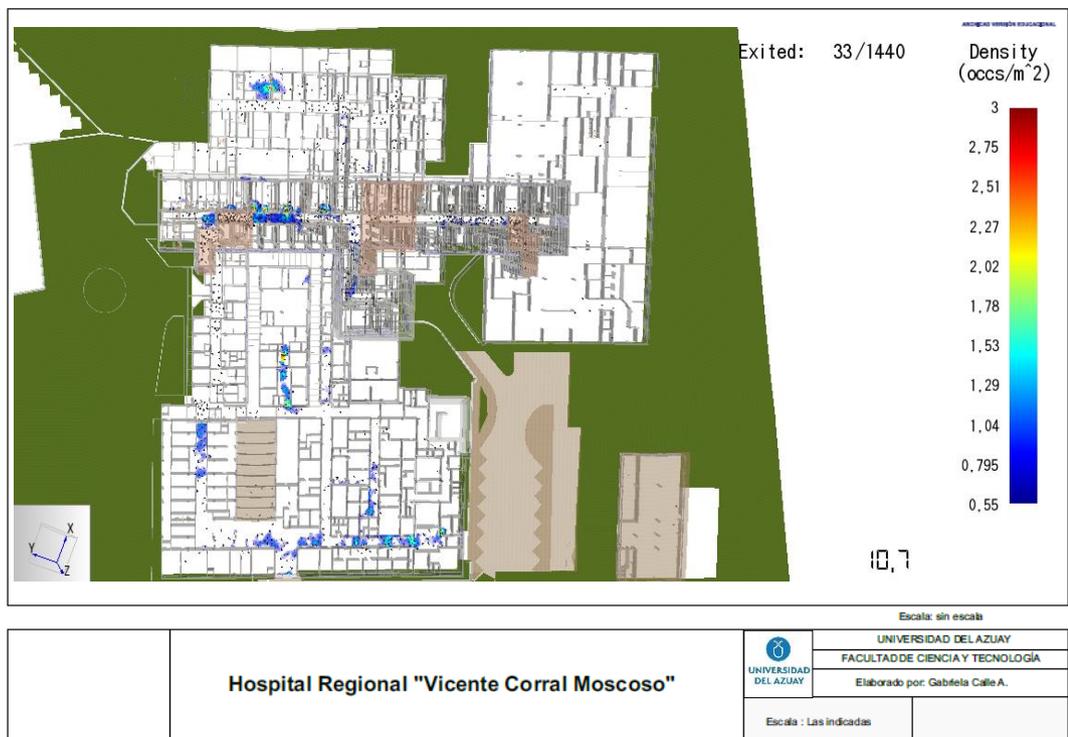


Figura 2. 52: Densidad de los ocupantes en el tiempo 10,7 seg

Fuente: Elaboración propia

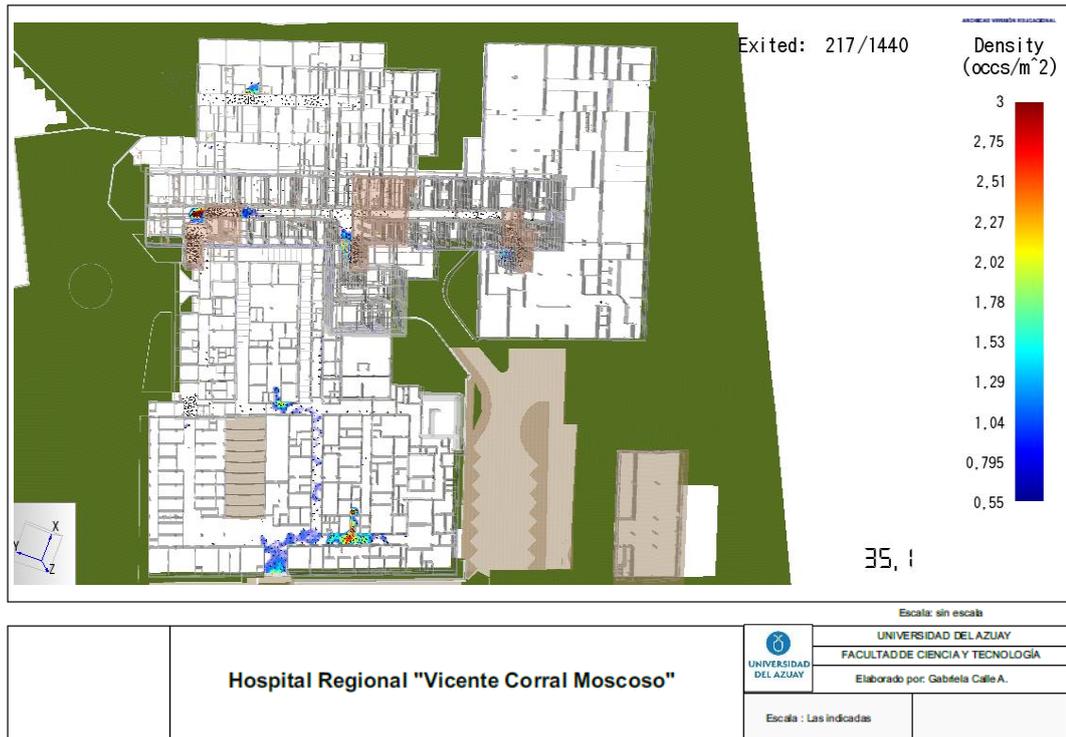


Figura 2. 53: Densidad de los ocupantes en el tiempo 35,1 seg

Fuente: Elaboración propia

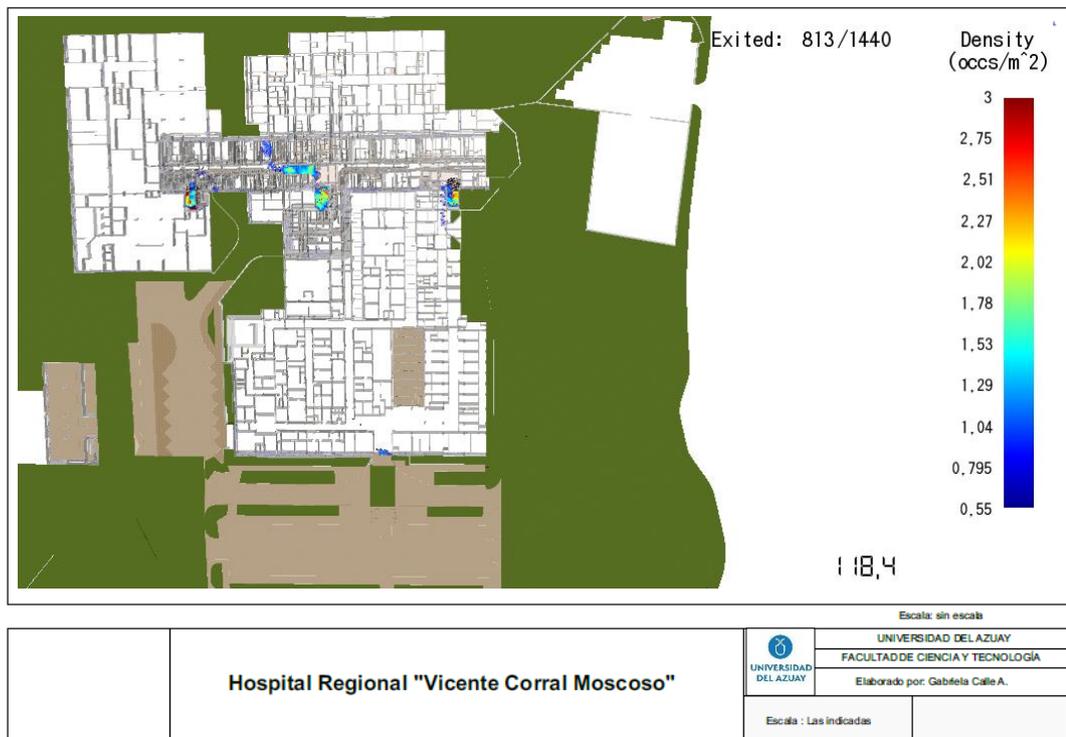


Figura 2. 54: Densidad de los ocupantes en el tiempo 118,4 seg

Fuente: Elaboración propia

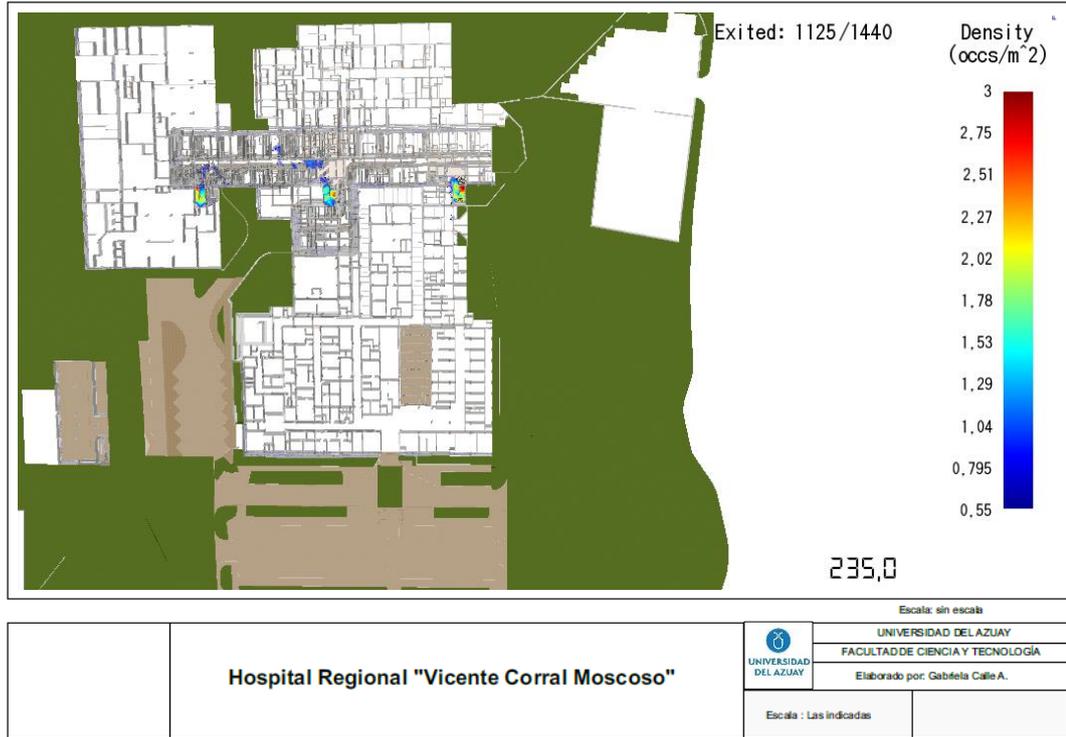


Figura 2. 55: Densidad de los ocupantes en el tiempo 235,0 seg

Fuente: Elaboración propia

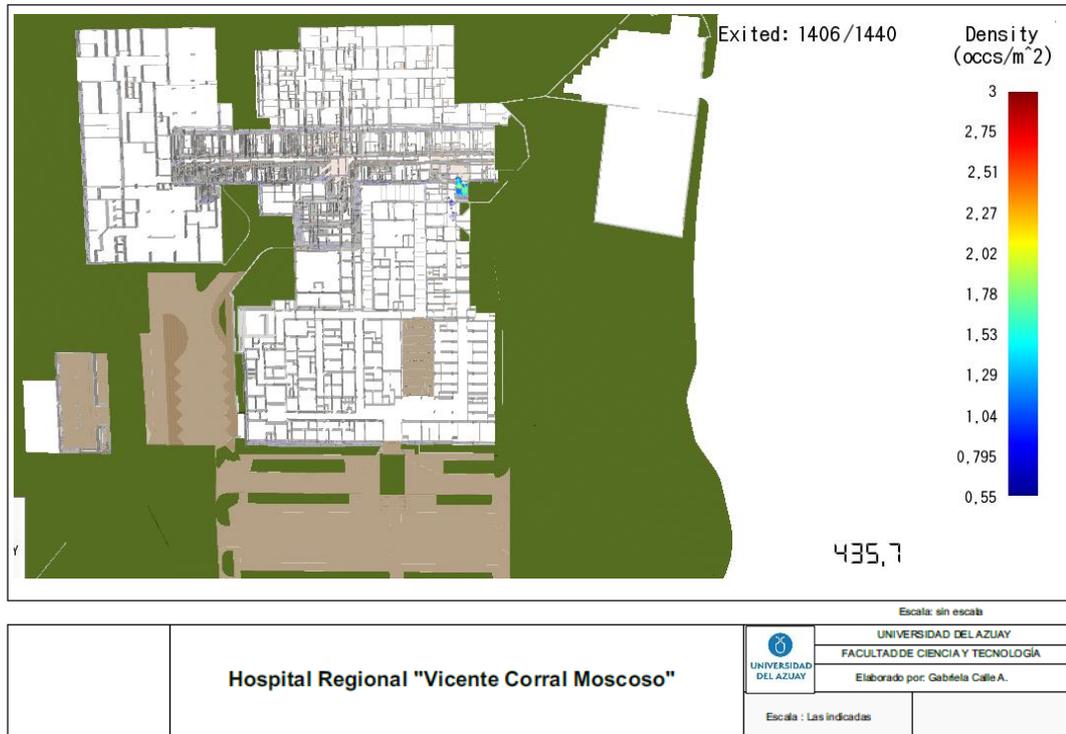


Figura 2. 56 : Densidad de los ocupantes en el tiempo 435,7 seg

Fuente: Elaboración propia

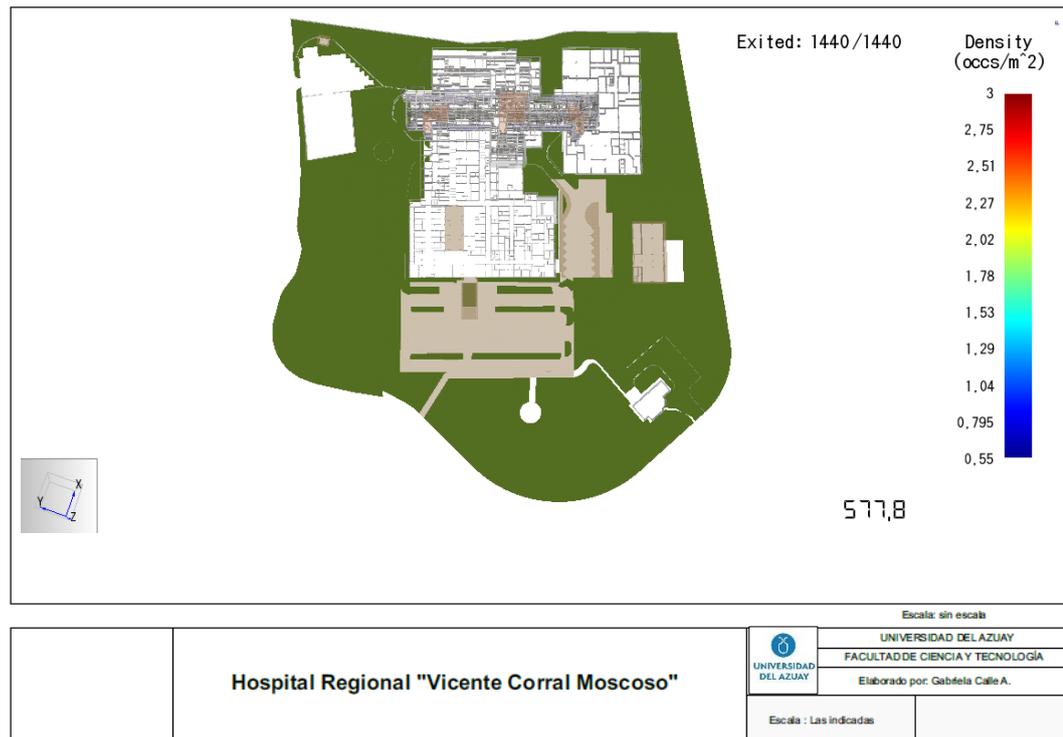


Figura 2. 57 : Densidad de los ocupantes en el tiempo 577,8 seg

Fuente: Elaboración propia

2.6.3 Persona más alejada y más cercana a las salidas de la unidad hospitalaria (distancia, tiempo)

Se comprobó que un gran número de ocupantes que desalojó la edificación hospitalaria en los primeros segundos, corresponden a las personas que estaban más próximas a las salidas, con un tiempo de 1,4 seg; de igual manera, la última persona que salió de la edificación hospitalaria se demoró 577,8 seg.

La distancia mínima desde la persona más cercana a la salida es de 0,7 m y la distancia máxima desde la persona más alejada a la salida es 167,2 m.

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

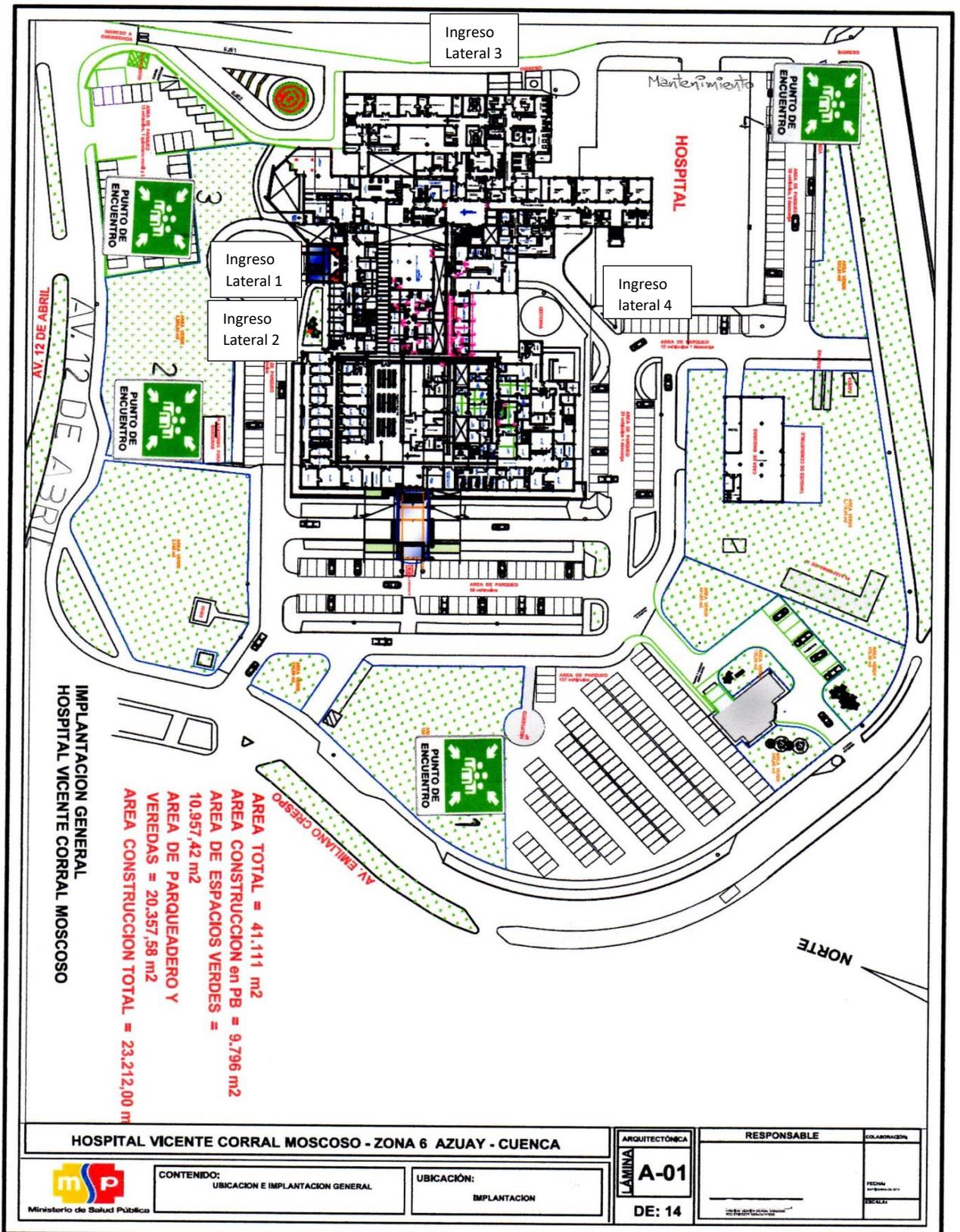


Figura 2. 58: Ubicación de los puntos de encuentro de la unidad hospitalaria

Fuente: Hospital Regional Vicente Corral Moscoso



A continuación se presenta los tiempos aproximados que tardan los ocupantes en llegar desde las diferentes salidas hasta los puntos de encuentro más cercanos.

Tabla 2. 5: 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: Elaboración propia

Estos tiempos fueron determinados de manera manual con un cronómetro desde cada ingreso o salida del hospital hasta los 4 puntos de encuentro considerados de acuerdo a su ubicación como lo muestra la figura 2.58.

Para determinar estos tiempos se consideró la pisada normal de una persona.

2.6.4 Tiempo final de evacuación

En la modelación de la evacuación se consideraron 1440 personas evacuadas, entre las cuales están pacientes, personal de salud, visitas, pacientes de consulta externa y sus acompañantes y los diferentes trabajadores del hospital.

No se consideraron en la evacuación los pacientes cuyo estado de salud es crítico, debido a la complejidad de su traslado, ya que al necesitar ser asistidos por equipos e insumos médicos, lo mejor para ellos sería permanecer en el interior de la estructura.

El tiempo total que duró la evacuación es de 577.80 seg, equivalentes a 9,63 min.

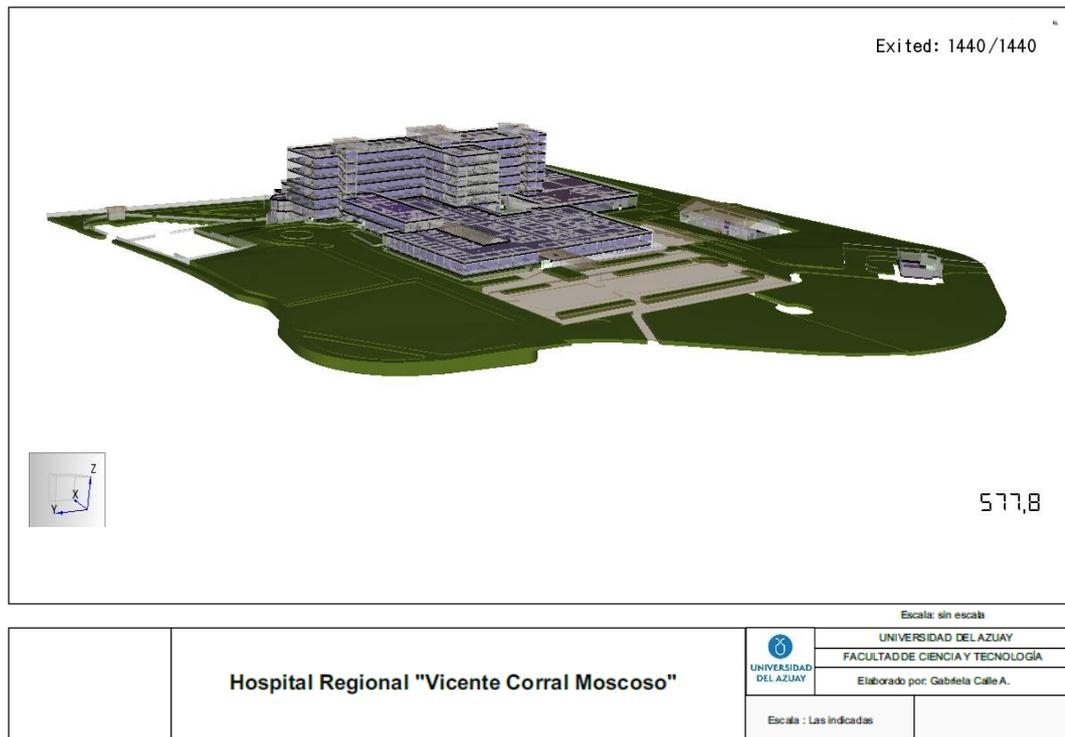


Figura 2. 59: Modelación final de la unidad hospitalaria

Fuente: Elaboración propia

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

La modelación del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso se realizó anteriormente con la pisada normal de las personas dependiendo su edad y el estado en que se encuentra su salud, así usando sus velocidades de paso normales. Actualmente se utilizó velocidades de acuerdo a un simulacro ejecutado el día miércoles 31 de octubre del 2018, donde se tomaron datos y obtuvimos los siguientes resultados:



Tabla 2. 6 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	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 elaboración propia



Una vez definido las velocidades se colocan a los ocupantes en el hospital y así podemos lograr determinar el tiempo final de evacuación en el mismo.

2.6.5.1 Tiempo final de evacuación

El tiempo final de evacuación en el hospital se obtuvo de 798,5 seg equivalente a 13,3 min con un total de 1440 personas evacuadas, donde los ocupantes pueden desalojar el hospital de manera propia, ya que los pacientes en estado crítico no son considerados en esta simulación.

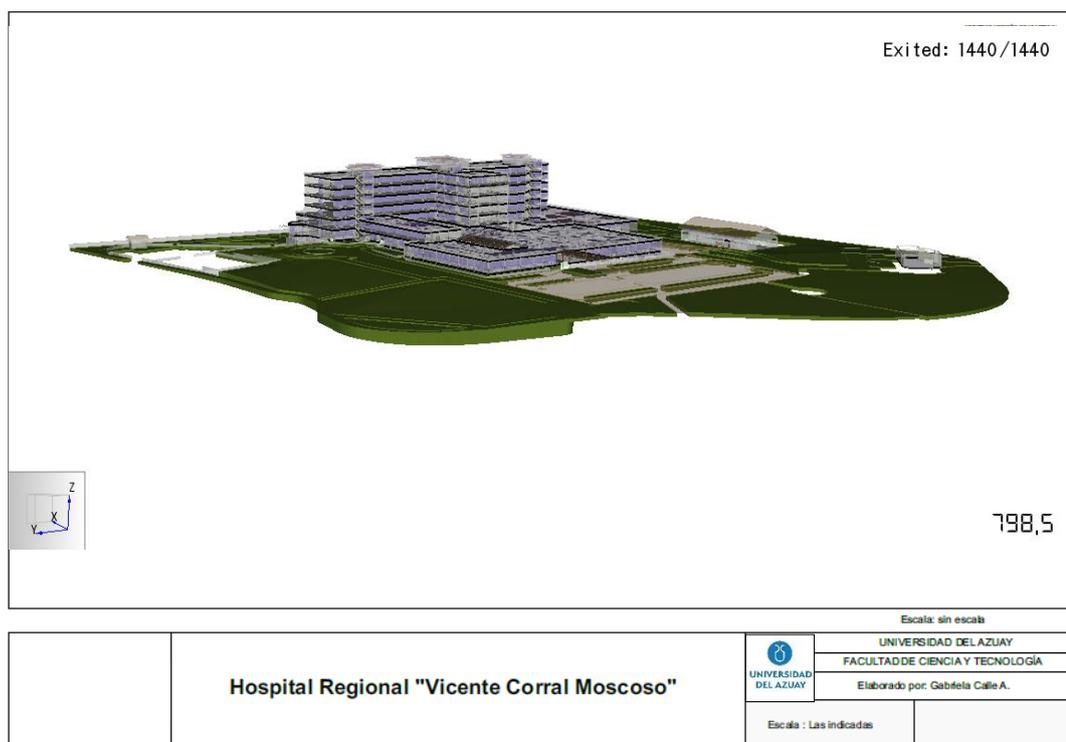


Figura 2. 60: Modelación final del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso con tiempos basados en un simulacro real

Fuente: Elaboración propia

2.6.5.2 Persona más alejada y más cercana de las salidas de la unidad hospitalaria (distancia, tiempo)

En la simulación en el programa especializado se obtuvo un tiempo mínimo de evacuación de la persona más cercana a una salida del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso de 1,7 seg y el tiempo máximo de la persona más alejada a una salida de 798,5 seg.



La distancia mínima desde la persona más cercana 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 3

COMPARACIÓN TÉCNICA DE EVACUACIÓN VS POSIBILIDAD DE COLAPSO

En el Hospital Regional Vicente Corral Moscoso se realizó anteriormente un análisis dinámico no lineal en 2D por los ingenieros José Palomino y Ángel Quezada, en el cual estudiamos tres pórticos representativos como se muestra en la figura 3.1 en un software de código abierto OpenSees, ingresando datos que definen la estructura de la unidad hospitalaria, como los elementos y sus secciones, materiales y propiedades, geometría y sus masas que se aplican como producto de la carga muerta en la estructura, que ya se encuentran definidos en su investigación, determinando los períodos naturales en cada pórtico seleccionado.

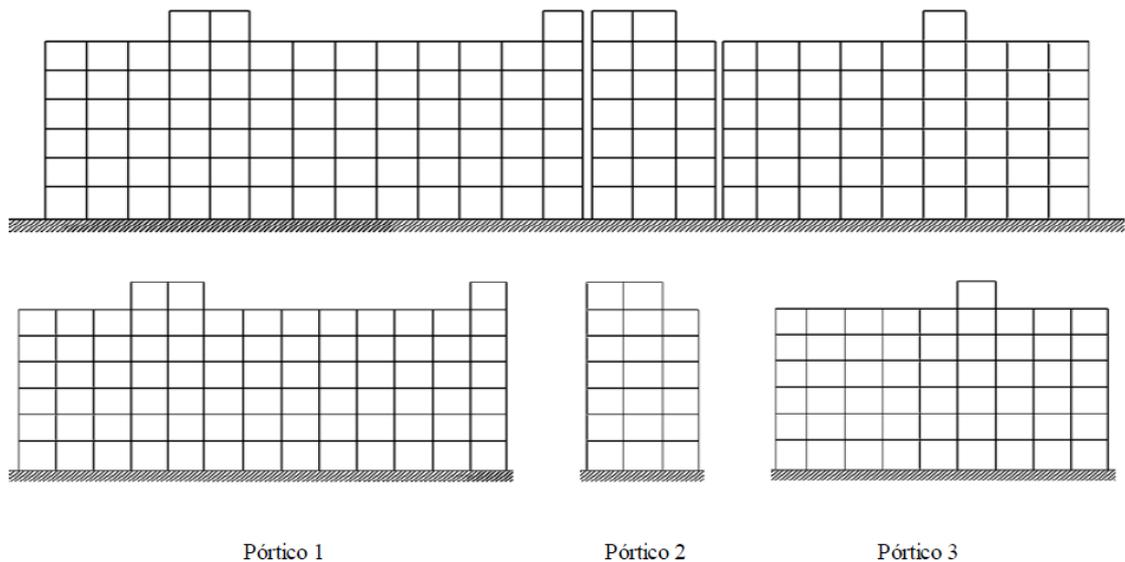


Figura 3. 1: Vista Frontal de los pórticos considerados en el análisis

Fuente: (Palomino & Quezada, 2017)

Los períodos naturales que se consideró en cada pórtico es el modo 1 y son los siguientes:

Pórtico 1

Modo 1: 1.0780 s

Pórtico 2

Modo 1: 1.2014 s

Pórtico 3

Modo 1: 1.0269 s

Luego se realizó un escalamiento de sismos, tomando en cuenta que cada pórtico tiene un período fundamental diferente; donde el análisis es similar, pero variando los valores en los que influye el período, como el escalamiento de los espectros de los sismos.

En el escalamiento son utilizados tres sismos ocurrentes para cada pórtico y para tres diferentes casos. Siendo el primer caso la consideración de un análisis elástico y un período de retorno de 475 años, donde el valor del espectro de diseño fue considerado con un $R=8$, el segundo caso se consideró un análisis dinámico y un período de retorno de 475 años y con $R=1$ y el tercer caso se consideró un análisis dinámico y un período de retorno de 2500 años y con un $R=1$.

Los sismos utilizados son propios del Ecuador, tomados de los Registros Sísmicos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional con fecha del 16/05/2016.

Los sismos utilizados fueron el AGYE N, con 10002 puntos y una variación del 0.01 s, el PRAM N, con 20004 puntos y una variación de 0.01 s y el AOTA N, con 13002 puntos y una variación de 0.01 s (Palomino & Quezada, 2017).

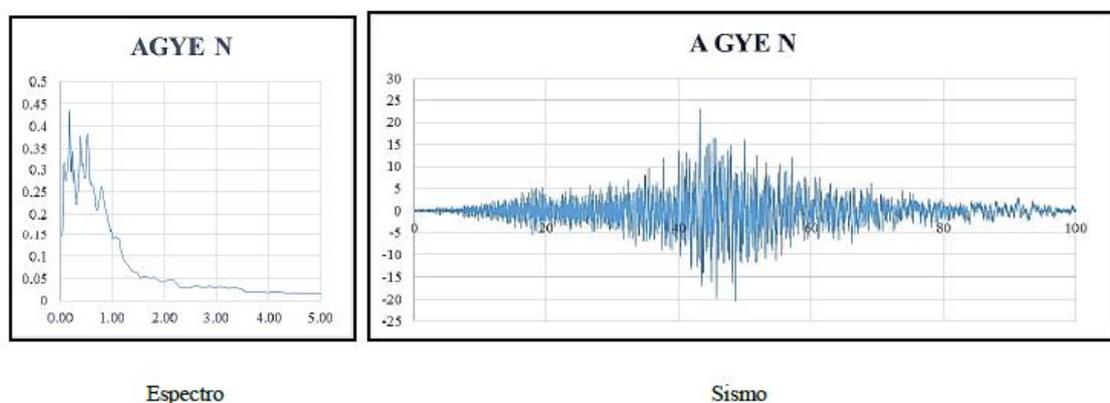


Figura 3. 2: sismo AGYE N

Fuente: (Palomino & Quezada, 2017)

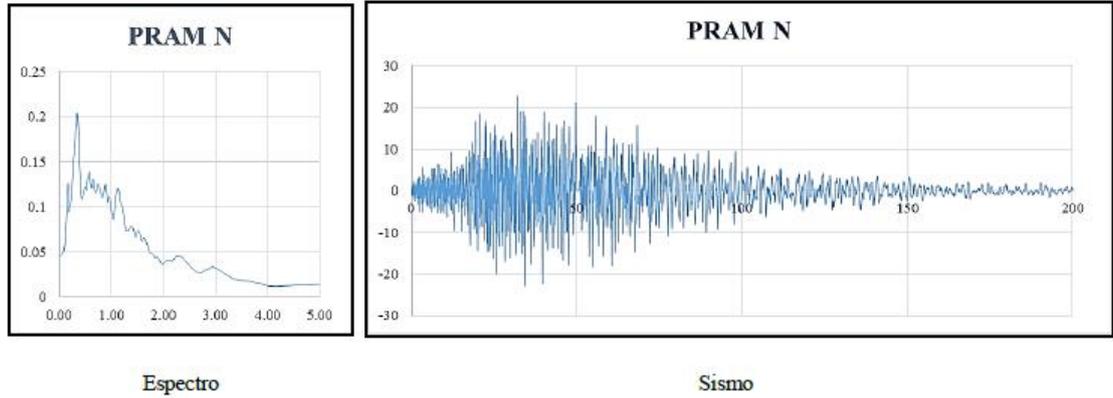


Figura 3. 3: sismo PRAM N

Fuente: (Palomino & Quezada, 2017)

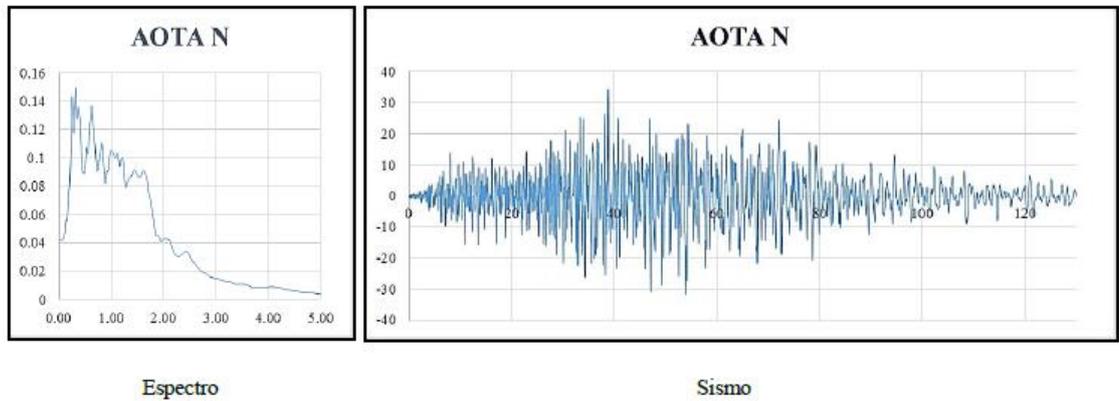


Figura 3. 4: sismo AOTA N

Fuente: (Palomino & Quezada, 2017)

Se ha realizado la determinación de los factores Fcs, de acuerdo a diferentes análisis en los períodos correspondientes.

Análisis dinámico lineal – período de retorno = 475 años

Tabla 3. 1: valores de Fcs

Pórtico 1		Pórtico 2		Pórtico 3	
Sismos	Fcs	Sismos	Fcs	Sismos	Fcs
AGYE N	5.36810	AGYE N	6.14554	AGYE N	5.08651
PRAM N	2.20699	PRAM N	1.94888	PRAM N	2.58256
AOTA N	1.45824	AOTA N	1.18969	AOTA N	1.33246

Fuente: (Palomino & Quezada, 2017)

Análisis dinámico no lineal – período de retorno = 475 años

Tabla 3. 2: valores de Fcs

Pórtico 1		Pórtico 2		Pórtico 3	
Sismos	Fcs	Sismos	Fcs	Sismos	Fcs
AGYE N	42.94478	AGYE N	49.16430	AGYE N	40.69209
PRAM N	17.65593	PRAM N	15.59101	PRAM N	20.66045
AOTAN	11.66590	AOTAN	9.51755	AOTAN	10.65996

Fuente: (Palomino & Quezada, 2017)

Análisis dinámico no lineal - período de retorno = 2500 años

Tabla 3. 3: valores de Fcs

Pórtico 1		Pórtico 2		Pórtico 3	
Sismos	Fcs	Sismos	Fcs	Sismos	Fcs
AGYE N	54.12443	AGYE N	63.24508	AGYE N	50.85860
PRAM N	22.25224	PRAM N	20.05632	PRAM N	25.82225
AOTAN	14.70284	AOTAN	12.24341	AOTAN	13.32287

Fuente: (Palomino & Quezada, 2017)

Análisis Pushover

Método de análisis estático no lineal (AENL), permite que actúen primero las cargas gravitatorias para que se produzcan las primeras deformaciones y luego las cargas laterales con el fin que se incrementen en el tiempo, hasta que se forma una primera rótula plástica y se presente una redistribución de rigidez en la estructura, así de esa manera se genere un proceso iterativo hasta que la estructura llegue a fallar por completo.

Se realizó una modelación en el software de código abierto OpenSees, utilizando información del análisis modal mencionado anteriormente, acciones gravitacionales permanentes y acciones laterales que se determinaron mediante la iteración de varias cargas, encontrando un valor de desplazamiento máximo para el análisis. También se obtuvo el valor del cortante basal de diseño, donde se determina la máxima capacidad de soporte del cortante basal que afectaría la estructura, para períodos de retorno de 475 y 2500 años.

Los resultados del análisis se detallarán a continuación:

Pórtico 1

Cortante basal (V) obtenido por la (NEC, 2014) fue:

$$V (475 \text{ años}) = 1969473.92 \text{ N}$$

$$V (2500 \text{ años}) = 2410636.07 \text{ N}$$

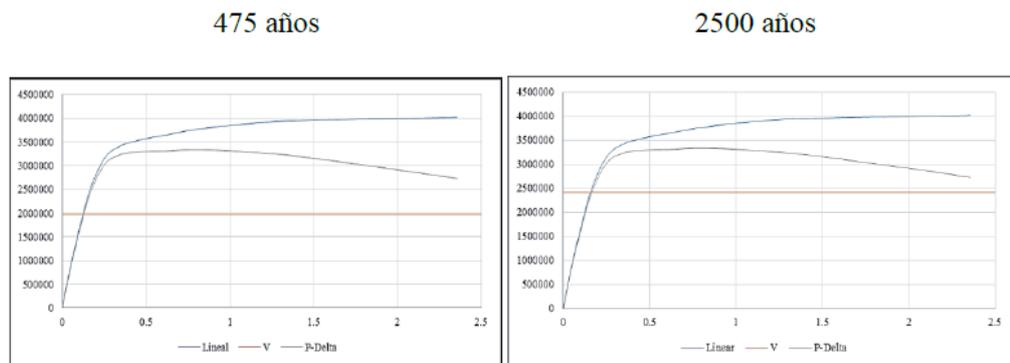


Figura 3. 5: curva *Pushover* con efectos lineal y P-Delta, y V (475 años y 2500 años) – pórtico 1
Fuente: (Palomino & Quezada, 2017)

$$V \text{ Pushover} = 3328360.00 \text{ N}$$

$$V (475 \text{ años}) = 1969473.92 \text{ N}$$

$$\% \text{ sobre resistencia} = 69.00 \%$$

$$V (2500 \text{ años}) = 2410636.07 \text{ N}$$

$$\% \text{ sobre resistencia} = 38.07 \%$$

Pórtico 2

Cortante basal (V) obtenido por la (NEC, 2014) fue:

$$V (475 \text{ años}) = 489756.94 \text{ N}$$

$$V (2500 \text{ años}) = 599462.50 \text{ N}$$

475 años

2500 años

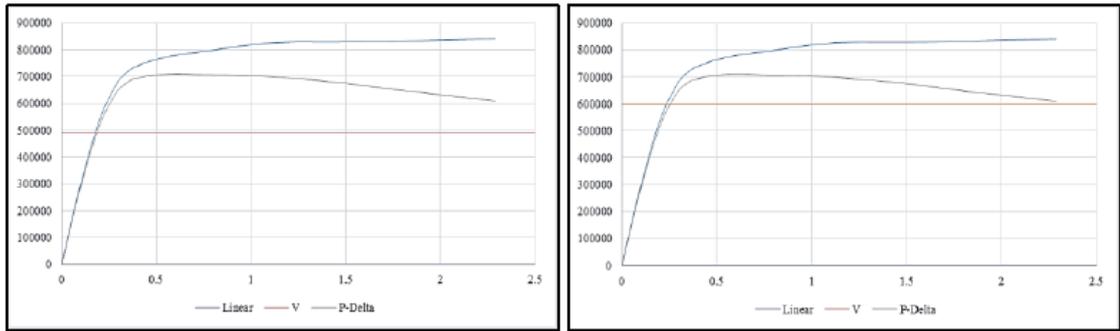


Figura 3. 6: curva Pushover con efectos lineal y P-Delta, y V (475 años y 2500 años) – pórtico 2

Fuente: (Palomino & Quezada, 2017)

$$V \text{ Pushover} = 708907.00 \text{ N}$$

$$V (475 \text{ años}) = 489756.94 \text{ N}$$

$$\% \text{ sobre resistencia} = 44.75 \%$$

$$V (2500 \text{ años}) = 599462.50 \text{ N}$$

$$\% \text{ sobre resistencia} = 18.26 \%$$

Pórtico 3

Cortante basal (V) obtenido por la (NEC, 2014) fue:

$$V (475 \text{ años}) = 1311531.93 \text{ N}$$

$$V (2500 \text{ años}) = 1605315.08 \text{ N}$$

475 años

2500 años

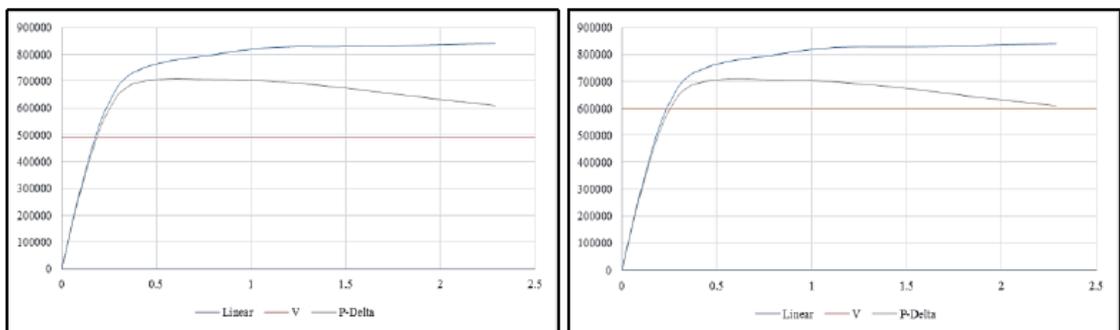


Figura 3. 7: curva Pushover con efectos lineal y P-Delta, y V (475 años y 2500 años) – pórtico 2

Fuente: (Palomino & Quezada, 2017)

$V_{Pushover} = 2354270.00 \text{ N}$

$V(475 \text{ años}) = 1311531.93 \text{ N}$

% sobre resistencia = 79.51 %

$V(2500 \text{ años}) = 1605315.08 \text{ N}$

% sobre resistencia = 46.65 % (Palomino & Quezada, 2017).

Este análisis se realizó en el estado actual de la estructura y a su vez con una medida de mitigación como son los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo, donde se utilizará los tiempos determinados con la deriva máxima para hacer la comparación con los tiempos de evacuación determinados en el capítulo 2.

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

3.1.1 Análisis dinámico no lineal

El análisis dinámico no lineal es un método que reconoce el comportamiento no lineal en el diseño de estructuras catalogadas como esenciales; en las reducciones por ductilidad de los espectros de diseño y en la exigencia de esfuerzo que permitan a la estructura alcanzar grandes deformaciones, ya sea estructurales y no estructurales y disipar gran cantidad de energía sin llegar al colapso.

Se realizó la modelación en el software OpenSees, donde se introdujeron datos como el análisis modal, carga gravitatoria y los sismos con sus factores de escalamiento F_{cs} . Se utilizaron dos casos: el análisis para un período de retorno de 475 años y el análisis para un período de retorno de 2500 años (Palomino & Quezada, 2017).

Las derivas inelásticas de todos los pisos se detallan a continuación:



3.1.1.1 Para un período de retorno de 475 años

Tabla 3. 4: derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 1 con los sismos analizados.

Sismo AGYE N		Sismo PRAM N		Sismo AOTA N	
planta 1	1.10%	planta 1	1.06%	planta 1	1.71%
planta 2	1.70%	planta 2	1.76%	planta 2	2.99%
planta 3	1.88%	planta 3	1.87%	planta 3	3.10%
planta 4	1.87%	planta 4	1.54%	planta 4	2.46%
planta 5	1.79%	planta 5	1.15%	planta 5	1.61%
planta 6	1.70%	planta 6	0.77%	planta 6	1.05%
planta 7	1.68%	planta 7	0.74%	planta 7	0.79%

Fuente: (Palomino & Quezada, 2017).

Tabla 3. 5: derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 2 con los sismos analizados.

Sismo AGYE N		Sismo PRAM N		Sismo AOTA N	
planta 1	1.68%	planta 1	1.07%	planta 1	1.48%
planta 2	2.23%	planta 2	1.83%	planta 2	2.70%
planta 3	1.94%	planta 3	1.77%	planta 3	2.86%
planta 4	1.93%	planta 4	1.70%	planta 4	2.39%
planta 5	2.05%	planta 5	1.42%	planta 5	1.75%
planta 6	1.72%	planta 6	1.12%	planta 6	1.21%
planta 7	1.24%	planta 7	0.89%	planta 7	0.81%

Fuente: (Palomino & Quezada, 2017).

Tabla 3. 6: derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 3 con los sismos analizados.

Sismo AGYE N		Sismo PRAM N		Sismo AOTA N	
planta 1	1.18%	planta 1	1.14%	planta 1	1.98%
planta 2	1.93%	planta 2	1.90%	planta 2	3.17%
planta 3	2.02%	planta 3	2.06%	planta 3	3.09%
planta 4	1.98%	planta 4	1.83%	planta 4	2.57%
planta 5	1.64%	planta 5	1.38%	planta 5	1.71%
planta 6	1.29%	planta 6	0.86%	planta 6	0.98%

Fuente: (Palomino & Quezada, 2017).

3.1.1.2 Para un período de retorno de 2500 años

Tabla 3. 7: derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 1 con los sismos analizados.

Sismo AGYE N		Sismo PRAM N		Sismo AOTA N	
planta 1	1.45%	planta 1	1.41%	planta 1	2.24%
planta 2	2.17%	planta 2	2.25%	planta 2	3.69%
planta 3	2.45%	planta 3	2.27%	planta 3	3.75%
planta 4	2.46%	planta 4	1.90%	planta 4	3.04%
planta 5	2.14%	planta 5	1.51%	planta 5	2.09%
planta 6	1.74%	planta 6	1.00%	planta 6	1.31%
planta 7	1.59%	planta 7	0.98%	planta 7	0.97%

Fuente: (Palomino & Quezada, 2017).

Tabla 3. 8: derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 2 con los sismos analizados.

Sismo AGYE N		Sismo PRAM N		Sismo AOTA N	
planta 1	1.98%	planta 1	1.37%	planta 1	1.82%
planta 2	2.75%	planta 2	2.28%	planta 2	3.24%
planta 3	2.52%	planta 3	2.15%	planta 3	3.41%
planta 4	2.73%	planta 4	2.05%	planta 4	2.81%
planta 5	2.69%	planta 5	1.85%	planta 5	2.05%
planta 6	2.34%	planta 6	1.47%	planta 6	1.38%
planta 7	1.70%	planta 7	1.11%	planta 7	0.94%

Fuente: (Palomino & Quezada, 2017).

Tabla 3. 9: derivas inelásticas de todos los pisos del pórtico 3 con los sismos analizados.

Sismo AGYE N		Sismo PRAM N		Sismo AOTA N	
planta 1	1.25%	planta 1	1.35%	planta 1	2.04%
planta 2	2.15%	planta 2	2.28%	planta 2	3.28%
planta 3	2.37%	planta 3	2.32%	planta 3	3.19%
planta 4	2.60%	planta 4	1.94%	planta 4	2.41%
planta 5	2.18%	planta 5	1.32%	planta 5	1.61%
planta 6	1.47%	planta 6	0.87%	planta 6	1.07%

Fuente: (Palomino & Quezada, 2017).

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

Las estructuras esenciales deben diseñarse para que tengan una funcionalidad continua en caso de que se presente amenazas sísmicas para el cual se realizó este estudio. En este caso se analizó solo la estructura en qué estado se encuentra y si está

preparada para resistir amenazas mencionadas anteriormente; más no generar un diseño nuevo que refleje un comportamiento futuro.

En el caso del Hospital Regional Vicente Corral Moscoso se ha logrado implementar una medida de mitigación como son los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo, los cuales constan de láminas de caucho natural intercaladas con placas de acero, vulcanizadas entre sí y con un núcleo de plomo que aumenta su capacidad de amortiguamiento.

Los aisladores son fabricados de acuerdo a cada proyecto, de acuerdo a la rigidez horizontal, vertical, el desplazamiento, capacidad de carga y capacidad de amortiguamiento requerida (Palomino & Quezada, 2017).

3.2.1 Prediseño del aislador

Se tomaron varias series de factores de un catálogo, ya que generó mayor facilidad y se fue probando hasta encontrar uno que se acople a las condiciones reales de la estructura analizada.

El catálogo utilizado para determinar el aislador más conveniente es el siguiente:

Dimensiones del dispositivo				Dimensiones de la placa de anclaje					
Do	H	# capas	Di	L	t	# de	ϕ orificio	A	B
mm	mm	de goma	mm	mm	mm	orificios	mm	mm	mm
305	125-280	4-14	0-100	355	25	4	27	50	-
355	150-305	5-16	0-100	405	25	4	27	50	-
405	175-330	6-20	0-125	455	25	4	27	50	-
455	175-355	6-20	0-125	510	25	4	27	50	-
520	205-380	8-24	0-180	570	25	8	27	50	50
570	205-380	8-24	0-180	620	25	8	27	50	50
650	205-380	8-24	0-205	700	32	8	27	50	50
700	205-430	8-30	0-205	750	32	8	33	65	75

Figura 3. 8: Catálogo de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo
Fuente: (Palomino & Quezada, 2017)

Se realizó la modelación en el software libre OpenSees, usando la modelación dinámica no lineal mencionada anteriormente, incluyendo el aislador, obteniendo el resultado siguiente:



Tabla 3. 10: Propiedades del aislador elegido

Parámetros del Aislador		
D:	Diámetro del aislador	30.50 cm
Dp:	Diámetro del núcleo de plomo	5.00 cm
H:	Altura del aislador	28.00 cm
gr:	Módulo de corte del caucho	55.00 psi
tp:	Límite de fluencia del núcleo de plomo	1.30 ksi
α :	Módulo de corte del núcleo de plomo	85.00 psi
β :	Razón entre las rigideces inicial y de fluencia	10.00

Fuente: (Palomino & Quezada, 2017)

Los períodos naturales de la estructura aumentaron al incrementar los aisladores en el análisis y se obtuvo lo siguiente:

Pórtico 1: T (sin aislamiento) = 1.08 s; **T (con aislamiento) = 2.08s**

Pórtico 2: T (sin aislamiento) = 1.20 s; **T (con aislamiento) = 2.06s**

Pórtico 3: T (sin aislamiento) = 1.02 s; **T (con aislamiento) = 2.00s**

3.2.2 Derivas con aislamiento sísmico

El porcentaje determinado de las derivas usando el aislamiento sísmico disminuyó considerablemente en comparación con su estado actual, a continuación se muestran los resultados:

Tabla 3. 11: derivas de piso del pórtico 1 con los sismos analizados.

AGYEN		PRAMN		AOTAN	
planta 1	0.28%	planta 1	0.21%	planta 1	0.14%
planta 2	0.42%	planta 2	0.36%	planta 2	0.25%
planta 3	0.46%	planta 3	0.43%	planta 3	0.34%
planta 4	0.46%	planta 4	0.43%	planta 4	0.37%
planta 5	0.41%	planta 5	0.38%	planta 5	0.33%
planta 6	0.31%	planta 6	0.28%	planta 6	0.25%
planta 7	0.24%	planta 7	0.23%	planta 7	0.20%

Fuente: (Palomino & Quezada, 2017).



Tabla 3. 12: derivas de piso del pórtico 2 con los sismos analizados.

AGYE N		PRAM N		AOTA N	
planta 1	0.33%	planta 1	0.18%	planta 1	0.16%
planta 2	0.57%	planta 2	0.31%	planta 2	0.32%
planta 3	0.62%	planta 3	0.42%	planta 3	0.40%
planta 4	0.58%	planta 4	0.45%	planta 4	0.39%
planta 5	0.55%	planta 5	0.44%	planta 5	0.38%
planta 6	0.45%	planta 6	0.37%	planta 6	0.34%
planta 7	0.33%	planta 7	0.28%	planta 7	0.28%

Fuente: (Palomino & Quezada, 2017).

Tabla 3. 13: derivas de piso del pórtico 3 con los sismos analizados.

AGYE N		PRAM N		AOTA N	
planta 1	0.23%	planta 1	0.22%	planta 1	0.14%
planta 2	0.36%	planta 2	0.37%	planta 2	0.25%
planta 3	0.38%	planta 3	0.42%	planta 3	0.31%
planta 4	0.38%	planta 4	0.39%	planta 4	0.33%
planta 5	0.32%	planta 5	0.32%	planta 5	0.33%
planta 6	0.23%	planta 6	0.22%	planta 6	0.26%

Fuente: (Palomino & Quezada, 2017).

3.3 Comparación de resultados de evacuación vs colapso

Para realizar la comparación de los diferentes resultados obtenidos en cada capítulo cabe recalcar que, para que se genere el colapso de la estructura analizada a través de pórticos representativos, las derivas máximas deben exceder el 4 % de acuerdo a la (NEC, 2014). En este caso las derivas no exceden al 4% como se muestra en las secciones 3.1.1.1, 3.1.1.2 y de acuerdo a (Zayas, 2017) nos menciona que la deriva máxima con medida de mitigación para que se genere colapso debe exceder el 3%, pero en los análisis de la seccion 3.2.2 son menores al 1%, por lo tanto no existe colapso de la estructura, pero si se genera daños representativos que produciría dificultad al evacuar a las personas pero sin riesgos de colapso.

Se debe mencionar que dificultaría la evacuación de los ocupantes las posibles caídas de objetos, paredes, vidrios, etc.



En este caso se analizó y no se vio la necesidad de hacer una comparación, ya que no existe colapso de la estructura analizada que es el Hospital Regional Vicente Corral Moscoso.

CONCLUSIONES

- Para realizar la modelación se determinaron datos reales, como el tiempo que tarda una persona en dar un paso, la distancia de éste y así calcular la velocidad de paso. De igual manera se realizó un conteo de la cantidad de camas para determinar el número de pacientes que se encuentran en cada piso, información que permitió cuantificar el tiempo promedio total de evacuación.
- Se determinó el tiempo promedio que tardan los usuarios en llegar a los puntos de encuentro desde las puertas de ingreso o salidas, por modelación y por simulacro son diferentes, se observó que el personal y pacientes en capacidad de evacuar el edificio asumieron con tranquilidad la actividad.
- Se pudo observar que existe una densidad mayor de ocupantes en los pasillos, escaleras, puertas de salida y en los puntos donde se reducen las dimensiones considerablemente, es decir el hospital en un evento sísmico fuerte no presta condiciones mínimas para evacuación.
- Teóricamente se ha logrado equilibrar la salida de las personas, para evitar congestionamientos, ya que cada usuario sale por la puerta que está más cercana, logrando generar un tiempo de evacuación más corto, que debe ser parte del plan de contingencia de la entidad hospitalaria.
- En conclusión existe en la modelación 1440 ocupantes, ya sea pacientes internos, pacientes externos, personal administrativo, médicos, licenciadas en enfermería, auxiliares, estudiantes, personal que trabaja en el hospital con diferentes funciones, familiares de los pacientes internos, acompañantes de los pacientes externos, entre otros, que están en situación de vulnerabilidad,.



- Se determinó el tiempo promedio total de evacuación de dos maneras: primero de una manera teórica, utilizando velocidades de pisada de acuerdo al tipo de persona y se obtuvo 577.80 segundos, equivalentes a 9,63 minutos de una manera simulada, utilizando tiempos reales de evacuación de un simulacro realizado en el mismo hospital y como resultado dio 798,5 segundos equivalente a 13,3 minutos, dando una diferencia de casi 4 minutos.
- Finalmente no se realizó una comparación de tiempos de las derivas máximas obtenidos vs el tiempo total de evacuación mencionado anteriormente, debido a que no se generaría colapso en la estructura.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que una vez analizado la unidad hospitalaria se podría realizar una nueva construcción de unas gradas de emergencia con puertas de auxilio en el ala derecha del hospital, debido a que, desde las 5 pm se cierra una puerta de emergencia y a las 9 pm se cierra otra puerta y al momento de generarse la evacuación los ocupantes no podrían evacuar normalmente y se generaría congestión en las otras salidas de emergencia; al igual que si se ejecuta la construcción del mismo nos ayudaría a disminuir los tiempos de evacuación determinados en el capítulo 2.

En la figura 3.9 y 3.10 podemos observar con un cuadro en rojo el lugar donde se recomienda la construcción de las escaleras de emergencia.



Figura 3. 9: Hospital Regional Vicente Corral Moscoso

Fuente: Hospital Regional Vicente Corral Moscoso



Figura 3. 10: Hospital Regional Vicente Corral Moscoso en software especializado

Fuente: Elaboración propia

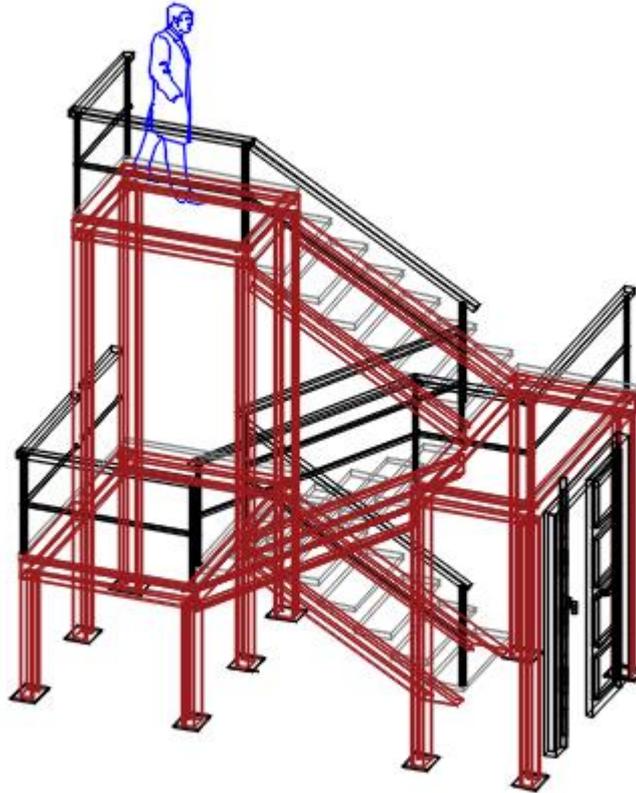


Figura 3. 11: Posible diseño de gradas de emergencia

Fuente: Elaboración propia

Al colocar estas gradas de emergencia se pretende que sólo sirvan para evacuación de los ocupantes, es decir, al colocar puertas de auxilio al comienzo y final de las gradas, solo podrán ser abiertas desde la parte interior de la unidad hospitalaria y a su vez se colocaría un cerramiento para que no ingrese personas del exterior.

A continuación se podrá observar una ejemplificación de las gradas de emergencia en la figura 3.12 y la ruta de evacuación en la figura 3.13.



Figura 3. 12: Colocación de una simulación de unas gradas de emergencia

Fuente: Elaboración propia



Figura 3. 13: Señalización de la ruta de evacuación hacia las gradas de emergencia

Fuente: Elaboración propia

- Replanificar los espacios del hospital para mejorar vías y pasos de evacuación.



- Recomendar el análisis para el uso de mecanismos de disipación en la estructura que disminuyan su vulnerabilidad sísmica.
- Elaborar y contar con un plan de evacuación ante situaciones extremas.



BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- Cuesta Pinedo, X. (09 de 2013). MODELADO Y SIMULACIÓN COMPUTACIONAL DE LOS PROCESOS DE EVACUACIÓN EN CENTROS HOSPITALARIOS. Cantabria, España.
- Cuesta, J. (2013). Modelo y simulación computacional de los procesos de evacuación en centros hospitalarios . 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.
- Granda, E. (2012). Salud Pública. Cuba.
- Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). (2010). Programa Unidad Médica Segura. México.
- Martinez, E., Franco, R., Saavedra, J., Elizondo, S., Bautista, A., Dector, D., & Reséndiz, S. (2010). Evacuación de Unidades Críticas en Hospitales. México



- Morales Soto, N. R. (2000). PLAN HOSPITALARIO PARA DESASTRES. Lima, Perú.
- NEC. (2014). MIDUVI Y CAMICON.
- NEC, P. (2014). Norma Ecuatoriana de la Construcción. Quito , Ecuador.
- OPS/OMS, O. (2010). *Indice de Seguridad Hospitalaria*. Obtenido de <http://www.dipecholac.net/docs/files/200-indice-de-seguridad-hospitalaria.pdf>
- Palomino, J., & Quezada, A. (2017). Análisis dinámico no lineal del “Hospital Regional Vicente Corral Moscoso” (Cuenca), medidas de mitigación y refuerzo para disminuir su vulnerabilidad estructural. Cuenca , Ecuador.
- Pinedo, J. C. (Septiembre de 2013). Modelado Y simulación computacional de los procesos de evacuación en centros hospitalarios. España.
- Rivera, H., Mazadiego, T., & Martinez, 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, J. F., Franco, A. E., Álvarez, M. G., & Recuero, P. R. (2013). Plan Hospitalario de Gestión del riesgo de emergencias y desastres. . Antioquia, Colombia: Amalfi.
- Suarez Ibijés, 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.