



FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES

**Evaluación estructural de la entidad hospitalaria “Hospital
Paute” del cantón Paute – Provincia del Azuay, para
cuantificar las amenazas y vulnerabilidad de la edificación
hospitalaria**

Trabajo de grado previo a la obtención del título de:

**INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES**

Autor:

HUGO JOSUÉ PESANTEZ ROMERO

Director:

JOSÉ FERNANDO VÁZQUEZ CALERO

Cuenca, Ecuador

2016

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS Y APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE SEGURIDAD HOSPITALARIA	20
1.1. Identificación de amenazas entorno a la entidad hospitalaria Paute	20
1.2. Percepción de riesgo como medida para complementar amenazas.	22
1.3. Aplicación del Índice de Seguridad Hospitalaria (ISH).....	31
CAPÍTULO 2: ESTUDIO DE SUELO DE CIMENTACIÓN.....	63
2.1. Investigación de campo.....	63
2.2. Selección de parámetros para cálculos geotécnicos.....	64
2.3. Determinación de la capacidad soportante.....	64
2.4. Determinación de asentamientos.....	66
2.5. Conclusiones	67
CAPÍTULO 3: AGRUPACIÓN Y MODELACIÓN DE CARGAS	68
3.1. Cargas gravitacionales	69
3.1.1. Cargas vivas de uso	69
3.1.2. Cargas muertas y permanentes	71
3.2. Cargas accidentales	73
3.2.1. Cargas sísmicas.....	73

CAPÍTULO 4: MODELO MATEMÁTICO IDEALIZADO DE LA ESTRUCTURA E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	80
4.1. Idealización del modelo de estructura hospitalaria.....	80
4.2. Generación y modelación dinámica estructural del hospital en software especializado	81
4.3. Comprobación del diseño de los diferentes miembros estructurales	81
4.3.1. Criterios de comprobación en elementos de hormigón armado.....	81
4.3.2. Criterios de comprobación en elementos metálicos.....	96
4.3.3. Resistencia de secciones no tubulares sometidas a torsión y tensiones combinadas	104
4.4. Depuración e interpretación de los resultados obtenidos de la modelación...	108
4.5. Generación de gráficos explicativos.	108
4.5.1. Errores de comprobación en columnas.....	108
4.5.2. Errores de comprobación en vigas	112
4.5.3. Errores de comprobación en elementos de cubierta.....	116
4.5.4. Errores de comprobación en elementos metálicos en el área de odontología, ginecología y laboratorios.....	120
4.6. Análisis de resultados y propuestas de mitigación.	123
CONCLUSIONES	126
RECOMENDACIONES	128
BIBLIOGRAFÍA	129
ANEXOS	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Vista satelital del Hospital Paute	20
Figura 1.2: Percepción de riesgo sísmico.....	24
Figura 1.3: Percepción de riesgo de inundación	25
Figura 1.4: Percepción de riesgo de incendio o explosión.....	26
Figura 1.5: Percepción de riesgo de contaminación.....	27
Figura 1.6: Contaminación causada por el cementerio municipal	28
Figura 1.7: Zonas de alto nivel de amenazas vs zonas de bajo nivel de amenazas....	30
Figura 1.8: Zonificación sísmica.....	32
Figura 1.9: Peligro volcánico	33
Figura 1.10: Talud sobre los transformadores de energía	33
Figura 1.11: Susceptibilidad a movimientos de masa.....	34
Figura 1.12 Velocidad del viento	35
Figura 1.13: Cielo raso, filtración de agua	35
Figura 1.14: Piso, filtración de agua, área de bodega	36
Figura 1.15: Precipitaciones medias anuales	36
Figura 1.16: Zonas propensas a inundación.....	37
Figura 1.17: Litología	38
Figura 1.18: Vías de alta concentración de personas	39
Figura 1.19: Almacenamiento de gas.....	40
Figura 1.20: Taxonomía	41
Figura 1.21: Escaneo de armadura	43
Figura 1.22: Mampostería sin confinamiento en farmacia.....	43
Figura 1.23: Falta de columna y excentricidad de vigas en emergencia.....	44
Figura 1.24: Mampostería sin confinamiento en mantenimiento.....	44
Figura 1.25: Cubiertas en mal estado	45
Figura 1.26: Prueba de esclerometría, emergencia	45
Figura 1.27: Prueba de esclerometría, clínica	46
Figura 1.28: Columnas cortas	47
Figura 1.29: Generador	48
Figura 1.30: Cableado	49
Figura 1.31: Tablero de control.....	50
Figura 1.32: Cisterna.....	51

Figura 1.33: Sistema de bombeo	51
Figura 1.34: Tanque de combustible.....	52
Figura 1.35: Recinto de gas.....	52
Figura 1.36: Tanques de oxígeno	53
Figura 1.37: Falta de anclaje en los tanques de oxígeno	54
Figura 1.38: Válvula de oxígeno	54
Figura 1.39: Extintor, recinto de oxígeno	55
Figura 1.40: Prueba de ultrasonido	56
Figura 1.41: Circulación clínica	57
Figura 1.42: Grietas en el cielo raso de cocina	57
Figura 1.43: Condición de vías de acceso.....	59
Figura 1.44: Seguridad Estructural ISH	60
Figura 1.45: Seguridad No Estructural ISH	61
Figura 1.46: Seguridad Funcional ISH	61
Figura 1.47: Índice de Seguridad Hospitalaria.....	61
Figura 2.1: Capacidad soportante por estratos	66
Figura 3.1: Espectro elástico horizontal de diseño de aceleraciones	77
Figura 4.1: Modelo Virtual BIM.....	80
Figura 4.2: Tensión-deformación en hormigón	90
Figura 4.3: Tensión-deformación en acero	90
Figura 4.4: Vista preliminar de columnas que no cumplen uno o más criterios de comprobación	109
Figura 4.5: Columnas. Armadura máxima y mínima.....	110
Figura 4.6: Columnas. Diseño por capacidad	110
Figura 4.7: Columnas. Estado límite de agotamiento en condiciones normales.....	110
Figura 4.8: Columnas. Estado límite de agotamiento en frente a cortante	111
Figura 4.9: Columnas. Criterios de diseño por sismo (NEC-14).....	111
Figura 4.10: Columnas. Criterios de diseño por sismo (ACI 318M-11).....	111
Figura 4.11: Vigas. Disposición relativas a las armaduras	112
Figura 4.12: Vigas. Armadura máxima y mínima	113
Figura 4.13: Vigas. Estado límite de agotamiento frente a cortante (Sísmico).....	113
Figura 4.14: Vigas. Estado límite de agotamiento frente a cortante (No Sísmico)..	113
Figura 4.15: Vigas. Estado límite de agotamiento en condiciones normales (Sísmica)	114

Figura 4.16: Vigas. Estado límite de agotamiento en condiciones normales (No Sísmica).....	114
Figura 4.17: Diseño de cortante para vigas.....	114
Figura 4.18: Resistencia a cortante de elementos sometidos a flexión.....	115
Figura 4.19: Vigas. Criterios de diseño por sismo (NEC-14).....	115
Figura 4.20: Vigas. Criterios de diseño por sismo (ACI 318M-11).....	115
Figura 4.21: Elementos de cubierta. Resistencia a tracción.....	116
Figura 4.22: Elementos de cubierta. Limitación de esbeltez para compresión.....	117
Figura 4.23: Elementos de cubierta. Resistencia a flexión eje Y.....	117
Figura 4.24: Elementos de cubierta. Resistencia a flexión eje X.....	117
Figura 4.25: Elementos de cubierta. Resistencia a corte eje Y.....	118
Figura 4.26: Elementos de cubierta. Resistencia a corte eje X.....	118
Figura 4.27: Elementos de cubierta. Resistencia a compresión.....	118
Figura 4.28: Elementos de cubierta. Esfuerzos combinados y torsión.....	119
Figura 4.29: Elementos de laboratorio. Resistencia a tracción.....	120
Figura 4.30: Elementos de laboratorio. Limitación de esbeltez para compresión ...	121
Figura 4.31: Elementos de laboratorio. Resistencia a flexión eje Y.....	121
Figura 4.32: Elementos de laboratorio. Resistencia a flexión eje X.....	121
Figura 4.33: Elementos de laboratorio. Resistencia a corte eje Y.....	122
Figura 4.34: Elementos de laboratorio. Resistencia a corte eje X.....	122
Figura 4.35: Elementos de laboratorio. Resistencia a compresión.....	122
Figura 4.36: Elementos de laboratorio. Esfuerzos combinados y torsión.....	123
Figura 4.37: Diagonales metálicas en farmacia.....	124
Figura 4.38: Propuesta de replanificación de la vivienda de médicos.....	125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Pruebas de esclerometría.....	46
Tabla 2.1: Ángulo de fricción interno, densidad y módulo de elasticidad de los depósitos.....	64
Tabla 2.2: Capacidad admisible del suelo.....	65
Tabla 2.3: Asentamientos.....	67
Tabla 3.1: Sobrecarga mínima de acuerdo al uso	69
Tabla 3.2: Sobrecarga mínima de acuerdo al uso	70
Tabla 3.3: Densidades de materiales de construcción.....	71
Tabla 3.4: Densidades de materiales de construcción.....	72
Tabla 3.4: Tipo de suelo y factores de sitio F_a	76
Tabla 3.5: Tipo de suelo y factores de sitio F_d	76
Tabla 3.6: Tipo de suelo y factores del comportamiento inelástico del subsuelo F_s .	76
Tabla 3.7: Tipo de suelo, destino e importancia de la estructura.....	78
Tabla 3.8: Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles	79
Tabla 4.1: Derivas de piso.....	108

ÍNDICE DE ANEXOS

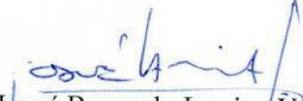
Anexo 1: Tabla de la guía del evaluador de hospitales seguros.....	130
Anexo 2: Errores de comprobación en elementos de hormigón armado	130
Anexo 3: Errores de comprobación en elementos metálicos	130

**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LA ENTIDAD HOSPITALARIA
“HOSPITAL PAUTE” DEL CANTÓN PAUTE – PROVINCIA DEL AZUAY,
PARA CUANTIFICAR LAS AMENAZAS Y VULNERABILIDAD DE LA
EDIFICACIÓN HOSPITALARIA**

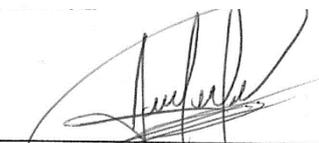
RESUMEN

Actualmente los Hospitales son considerados edificaciones de tipo esencial, es decir, deben mantener su capacidad de prestar atención ante un evento sísmico, por ello se realizó una evaluación en los ámbitos: estructural, no estructural y funcional; con el fin de generar y discretizar información que contribuya a la correcta administración de recursos. En el año 1977, cuando se construyó el Hospital Paute, no existía una zonificación sísmica en el país, además de un código de construcción (CEC-77), que no correspondía a la realidad del Ecuador. El modelo virtual brinda información manipulable a las autoridades, mientras la idealización y modelación de cargas, indica factores como: cantidad, ubicación y motivo de falla de los elementos estructurales que constituyen la edificación hospitalaria.

Palabras Clave: Evaluación estructural, amenaza, vulnerabilidad, riesgo, índice de seguridad hospitalaria.


José Bernardo Larriva Vásquez
Thesis Director


Paúl Cornelio Cordero Díaz
School Director


Hugo Josué Pesantez Romero
Autor

**STRUCTURAL ASSESSMENT OF " PAUTE HOSPITAL " LOCATED IN PAUTE -
AZUAY PROVINCE, IN ORDER TO QUANTIFY THREATS AND
VULNERABILITY OF THE HOSPITAL BUILDING**

ABSTRACT

Currently, hospitals are considered essential-type buildings, in other words, they must maintain their ability to provide care in case of a seismic event. Therefore, an evaluation in the structural, non- structural and functional areas was carried out in order to generate and discretize information that will contribute to the proper management of resources. In 1977, when the *Paute* Hospital was built, there was no seismic zoning in the country, but a (SCC-77) building code, which did not correspond to the reality of Ecuador. However, the virtual model provides manipulable information to the authorities, while idealization and load modeling indicate factors such as quantity, location and reason for failure of the structural elements that constitute the hospital building.

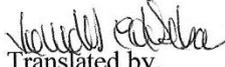
Keywords: Structural Assessment, Threat, Vulnerability, Risk, Hospital Safety Index.


José Fernando Vázquez Calero
Thesis Director


Paul Cornelio Cordero Díaz
School Director


Hugo José Pesantez Romero
Author


UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas


Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Pesantez Romero Hugo Josué

Trabajo de Titulación

Ing. José Vázquez Calero, M. Sc.

Octubre, 2016

**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE LA ENTIDAD HOSPITALARIA
“HOSPITAL PAUTE” DEL CANTÓN PAUTE – PROVINCIA DEL AZUAY,
PARA CUANTIFICAR LAS AMENAZAS Y VULNERABILIDAD DE LA
EDIFICACIÓN HOSPITALARIA**

INTRODUCCIÓN

Los hospitales en el Ecuador son edificaciones que albergan a un gran número de personas que requieren atención médica, en muchos casos de forma urgente, por lo tanto, ante la posibilidad que ocurra un desastre de gran magnitud como: sismos, inundaciones, deslizamientos de masa, etc., en la proximidad de la edificación, es necesario evaluarla en aspectos estructurales, no estructurales y funcionales para garantizar la estabilidad de la estructura, así como la continuidad de los servicios y la atención de calidad a los posibles afectados.

El Hospital Paute fue construido en 1979, para entonces estaba en vigencia el Código Ecuatoriano de Construcción del año 1977, criticado por no tener como base la realidad sísmica del Ecuador y, por el contrario, ser una copia de documentos similares emitidos por el Estado de California y otros países. Hoy en día el documento que regula el diseño de construcciones civiles es la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2014 en la cual se han percibido muchos cambios tomando como referencia el primer documento, entonces resulta evidente la necesidad de comprobar si el diseño de la edificación cumple con las características de resistencia y vulnerabilidad sísmica actualizadas, y en el caso que la vulnerabilidad estructural sea muy alta, proponer medidas de mitigación para reducir de manera implícita el riesgo en situaciones de desastre.

Antecedentes

En los últimos años se ha trabajado en países de la región para mejorar la habilidad de evaluar edificaciones de salud y establecer prioridades de intervención. Mediante la aplicación del índice de seguridad hospitalaria (ISH) en países como: Ecuador, Bolivia y Perú donde se pretende formar programas piloto de hospitales seguros, se han obtenido conclusiones preliminares que indican que los elementos no estructurales como: mamposterías, ventanas, puertas, equipos, etc., son los que presentan mayor vulnerabilidad ante amenazas (OPS-OMS, 2016).

El Hospital Paute se encuentra junto al cementerio municipal y los trabajadores manifestaron que, durante los sepelios o el día de los difuntos, se presenta una gran aglomeración de personas y vehículos que muchas veces dificultan la entrada de la ambulancia a las instalaciones del hospital, si esta amenaza social coincidiera con un desastre, las consecuencias podrían ser muy graves.

El personal con más años de trabajo en la institución explica también que existe un terreno aprovechado para la agricultura, colindante con la parte alta del hospital y separado por un muro de hormigón ciclópeo que se ha visto sub dimensionado en cuanto a su altura cuando los agricultores no cierran las llaves de agua, el lodo sobrepasa el muro y afecta las instalaciones de laboratorios.

Con referencia a penetraciones de ríos en el cantón, ocurrió un desastre de grandes proporciones que tomó a la vulnerable ciudadanía por sorpresa. El desastre ocurrió en el sector la Josefina perteneciente a la parroquia de San Cristóbal, cantón Paute en la noche del 29 de marzo de 1993, cuando parte del cerro Tamunga se precipitó sobre la carretera y causó una obstrucción igual a la de una presa sobre los ríos Cuenca y Burgay que forman el río Paute y el río Jadán, por lo que se produjo la inundación del Descanso, Ucubamba, La Victoria, Chuquipata; varias actividades se cumplieron para evitar el desfogue violento del agua pero sin ningún resultado, lo inevitable se produjo a partir de las 6H30 del primero de mayo de 1993 con el desfogue de las aguas dejando 46 personas fallecidas, 300 desaparecidas, 230 casas destruidas, 725 hectáreas de terrenos arrasados, así como 11 km de carreteras. (Diario El Tiempo) 2012/04/26; el hospital tuvo que ser evacuado como medida de precaución, sin embargo, el nivel del río no lo afectó sus instalaciones.



Inundación del centro cantonal Paute

Fuente: (Diario El Tiempo,2012)

Se han llevado a cabo huelgas aproximadamente hace 10 años, que han cerrado las instalaciones del hospital, exceptuando Emergencias, hoy en día la nueva constitución de la república del Ecuador prohíbe la paralización de los servicios públicos en su artículo 326, por lo tanto, este tipo de amenaza ha disminuido considerablemente.

Objetivo General

Evaluar los elementos estructurales y parte de los no estructurales de la Entidad Hospitalaria Paute, cuantificando las amenazas y la vulnerabilidad de la edificación.

Objetivos Específicos:

- Identificar las amenazas en el entorno de la edificación hospitalaria, utilizando encuestas y mapas de riesgos existentes.
- Realizar un análisis de suelos que permitan determinar las características geológicas del hospital.
- Evaluar los elementos estructurales y parte de los no estructurales del hospital, utilizando fichas de evaluación.
- Diseñar una maqueta virtual utilizando software BIM (Building Information Modeling).
- Agrupar y modelar las cargas que especifica la norma NEC-SE-2014 utilizando un software especializado y comparar con el diseño estructural existente.

- Cuantificar la vulnerabilidad y el riesgo de la edificación de salud partiendo de los resultados obtenidos.
- Proponer medidas de mitigación y reforzamiento.

Metodología

Se evaluará las amenazas identificadas y por definir al entorno de la instalación hospitalaria sobre la base de mapas de riesgo de la Dirección Nacional de Riesgo (DNR), Sistemas de Información Geográfica (SIG) y entrevistas a diferentes funcionarios de la entidad hospitalaria. Se realizará un ensayo de penetración estándar SPT (Standar Penetration Test), que consiste en la extracción de una muestra de suelo a una profundidad de 5.50 m, para posteriormente determinar la capacidad admisible del suelo; además se identificará su tipo y clasificación para realizar una columna estratigráfica.

Recopilar la información referente a los establecimientos hospitalarios existentes, planificación arquitectónica, estudios de ingenierías, estado actual de miembros estructurales resistentes y miembros no estructurales con procedimientos visuales y apoyo de ensayos no destructivos (END) con la ayuda de equipos de precisión: dron con cámara de alta definición, esclerómetro, scanner, ultrasonido.

Se obtendrá una maqueta virtual de los miembros estructurales y parte de los no estructurales en un entorno BIM (Building Information Modeling). Se identificarán las cargas vivas y permanentes que actúan en la estructura, mediante la recolección de información acerca de losas, vigas, columnas y elementos no estructurales, posteriormente se procederá a la modelación dinámica estructural del establecimiento hospitalario en software especializado, que permitan determinar el comportamiento de la edificación ante amenazas calificadas, y poder cuantificar su vulnerabilidad. Para los parámetros de modelación se utilizará las especificaciones establecidas en el Capítulo 2 de Cargas Sísmicas y Diseño Sismo Resistente de la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2014).

Se depurará los resultados de la modelación que contiene los armados reales de la estructura para obtener parámetros de cumplimiento o no cumplimiento de elementos

estructurales, para generar gráficos explicativos que detallen el comportamiento de la infraestructura hospitalaria; para finalmente con todos los datos obtener una calificación de los componentes estructurales y parte de los no estructurales del hospital según el “Índice de Seguridad Hospitalaria”.

Recopilada toda la información de los elementos estructurales y parte de las no estructurales del hospital y realizadas las fichas de evaluación se propondrá medidas de mitigación y reforzamiento.

Estado del arte y marco teórico

Es necesario evaluar las situaciones de riesgo a las que está expuesto el Hospital Paute, sabiendo que el riesgo depende directamente de dos factores que son: vulnerabilidad y amenazas. Las amenazas son intrínsecas de cada zona y no es posible eliminarlas; por lo tanto, para lograr reducir el riesgo es necesario trabajar sobre la vulnerabilidad del hospital, es decir, analizar los aspectos estructurales, no estructurales y funcionales que aseguren que el centro de salud esté preparado para afrontar satisfactoriamente posibles situaciones de desastres.

Todos estos fenómenos pueden desembocar en afluencias masivas de heridos que saturan la capacidad del centro de salud para poder atenderlos; en la pérdida del suministro de energía o líneas vitales que permiten el correcto funcionamiento tanto del personal como de los equipos del centro de salud; en la interrupción de vías de acceso que evitan que las personas damnificadas puedan ingresar al centro de salud, etc.

Definiciones

Amenaza o peligro en una institución de salud

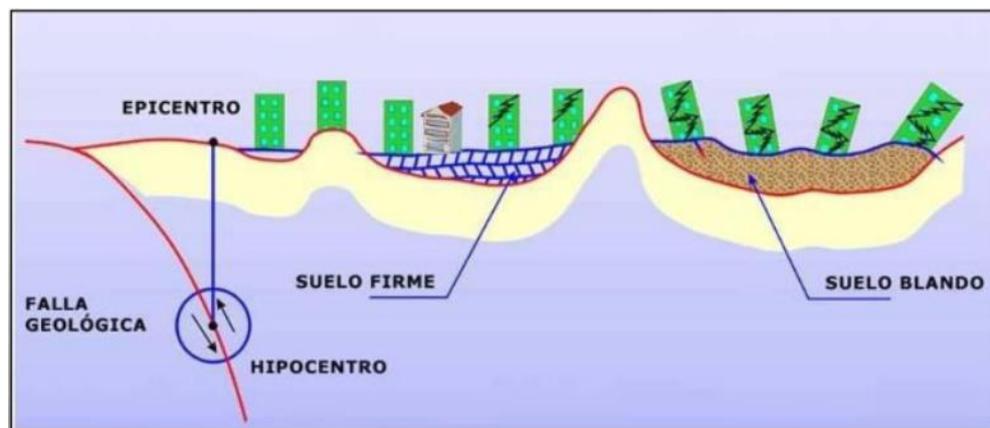
Es la probabilidad de que un fenómeno de origen humano o natural, se produzca en un intervalo de tiempo determinado en la ubicación donde se encuentre asentada una edificación de salud no adaptada para afrontarla sin consecuencias. Existen tres tipos de amenazas o peligros:

- Naturales: su origen se encuentra en la estructura de la tierra.
- Socio-naturales: son fenómenos de la naturaleza, pero en su ocurrencia o intensidad interviene la acción del hombre.
- Antrópicas: son atribuibles a la acción humana sobre la naturaleza y ponen en grave peligro la calidad de vida de las localidades. (Organización Panamericana de la Salud, 2013).

Evaluación de las amenazas

Fenómenos geológicos

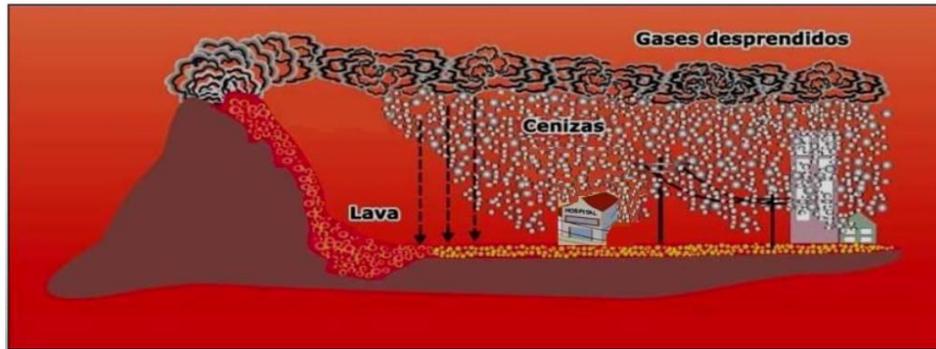
Sismos: son el resultado de los movimientos en la corteza terrestre causados generalmente por las corrientes de magma que se encuentran en el manto del planeta, estos movimientos pueden ser convergentes, divergentes y transformantes y generan deformaciones en las rocas del interior de la tierra acumulando energía que se libera súbitamente en forma de ondas que sacuden la superficie.



Sismo

Fuente: (Llanes Burón, 2008).

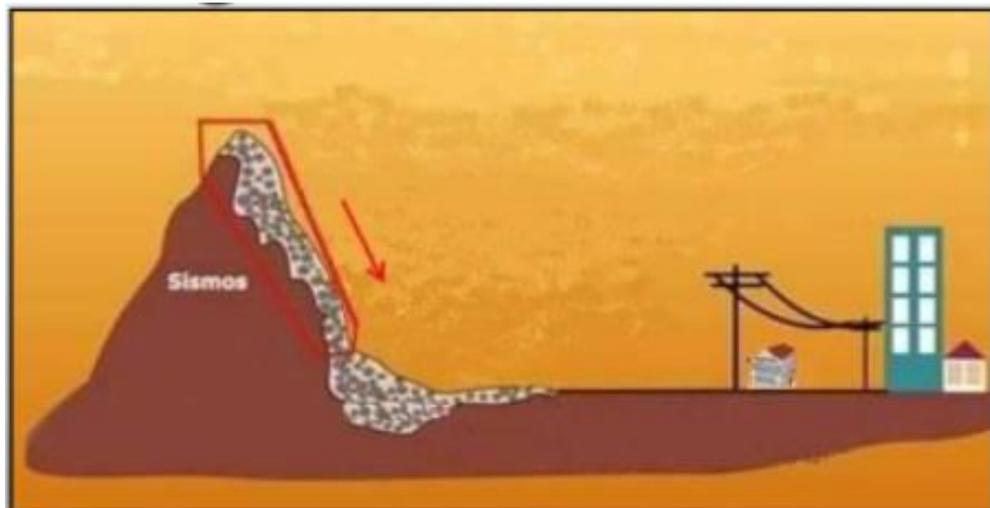
Erupciones volcánicas: salida de roca fundida, gases y cenizas procedentes del interior de la tierra. Esta acción puede acontecer levemente con lava que sale y fluye suavemente hacia fuera del volcán. Sin embargo, si el volcán ha permanecido mucho tiempo sin entrar en erupción y el conducto dentro del volcán se ha bloqueado con lava endurecida, la presión en el interior puede aumentar y el resultado es una erupción explosiva y violenta.



Erupción volcánica

Fuente: (Llanes Burón, 2008).

Deslizamientos por suelos inestables: se producen por el movimiento de material superficial de la corteza terrestre pendiente abajo, debido al aumento de peso, pérdida de consistencia de los materiales u otro factor que genere un desequilibrio en la ladera.



Deslizamiento

Fuente: (Llanes Burón, 2008).

Tsunamis: olas gigantes causadas por terremotos submarinos o erupciones volcánicas en el fondo del mar, estas acciones generan el desplazamiento de volúmenes considerables de agua por largas distancias que ganan altura a medida que llegan a la costa y ocasionan destrucción en puertos y bahías.



Tsunami

Fuente: (Llanes Burón, 2008).

Fenómenos hidrometeorológicos

Huracanes: tormentas violentas que se presentan en aguas cálidas tropicales y se definen como un centro de baja presión, en el cual los vientos giran en sentido anti horario en el hemisferio norte formando, bandas nubosas en espiral, acompañadas de intensas precipitaciones.



Huracán

Fuente: (Llanes Burón, 2008).

Lluvias torrenciales: lluvias que pueden venir acompañadas de relámpagos, rayos y truenos. Pueden inundar zonas bajas o planas produciendo estancamientos, también pueden ocasionar flujos de alta velocidad.



Lluvia torrencial

Fuente: (Llanes Burón, 2008).

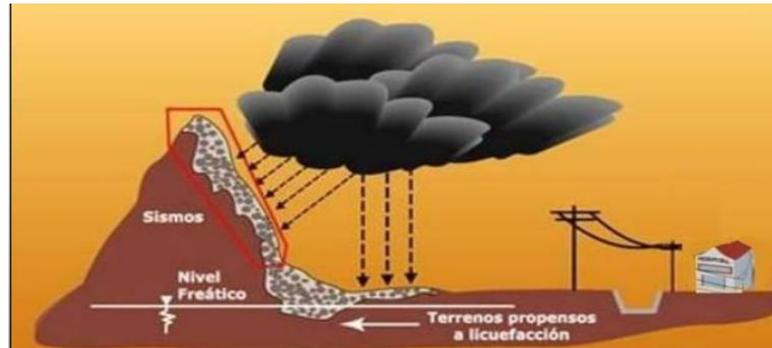
Penetraciones de río: fenómenos que se producen por el desborde de los ríos ocasionado por fuertes precipitaciones que aumentan el caudal a niveles superiores a los que el cauce natural puede transportar.



Desbordamiento del río Tomebamba

Fuente: (Diario el Mercurio, 2014)

Deslizamientos por saturación del suelo: se producen por el movimiento de material superficial de la corteza terrestre pendiente abajo en zonas con pendientes pronunciadas o suelos muy permeables que pierden estabilidad a medida que se saturan.



Deslizamiento por saturación del suelo

Fuente: (Llanes Burón, 2008).

Fenómenos sociales

Concentraciones de población: se refiere a la agrupación de personas en forma masiva en un lugar y momento determinado. Pueden afectar la cotidianidad de una comunidad y sus servicios, redundando en escenarios de violencia e inseguridad social.



Concentración de población en marcha por la vida en Cuenca

Fuente: (Diario La República, 2012)

Personas Desplazadas: personas que se han visto forzadas a salir de su hogar de residencia habitual para evitar conflictos de naturaleza antrópica como guerras, protestas, explosiones, etc., o catástrofes naturales como inundaciones, sismos, erupciones, etc.



Explosión de la Brigada Blindada Galápagos en Riobamba

Fuente: (Diario La Prensa, 2002)

Fenómenos sanitario-ecológicos

Epidemias: enfermedad altamente extendida que afecta a muchos individuos en una población. Se evidencia cuando se presenta en un lapso de tiempo un incremento significativo en el número de casos respecto al número esperado.

Contaminación: se entiende por contaminación la presencia de cualquier agente físico, químico o biológico en lugares formas y concentraciones que ser nocivos para la salud y el bienestar de la población.

Plagas: plagas urbanas son las especies implicadas en la transferencia de enfermedades infecciosas para el hombre y en el daño o deterioro del hábitat del bienestar urbano (Organización Mundial de la Salud, 1998).

Fenómenos químico-tecnológicos

Explosiones: liberación súbita al ambiente de gas a alta presión en el cual la energía se disipa mediante una onda de choque.

Incendios: fuego incontrolado que provoca daños a la propiedad y pone en riesgo la vida de las personas.

Fuga de materiales peligrosos: fuga de elementos, sustancias, residuos, etc., que representan un riesgo latente para la salud o el medio ambiente.

Propiedades geotécnicas del suelo

Licuefacción: el suelo pierde totalmente su capacidad de recibir cargas y se comporta como un fluido.

Suelo arcilloso: los limos y arcillas depositados por el viento suelen guardar grandes vacíos entre sus partículas, cuando aumenta la humedad se pierde cohesión, se ocasionan hundimientos. Además, las arcillas pueden actuar como esponjas, es decir, absorben humedad y aumentan su volumen levantando los elementos que conforman la edificación.

Talud inestable: se relacionan directamente con los movimientos de masa y dependen de varios factores como pendiente, ángulo de fricción interna, intensidad sísmica, etc.

Vulnerabilidad de una institución de salud

Puede entenderse como la debilidad frente a amenazas, es decir, como la incapacidad de resistencia o recuperación cuando ocurre un desastre, depende de múltiples factores presentes en las localidades:

- Físicos: ubicación física de los asentamientos poblacionales con sus instalaciones de salud.
- Ecológicos: explotar los recursos naturales sobre el límite de la capacidad de carga de los ecosistemas.
- Técnicos: calidad de las estructuras desde el punto de vista de análisis y diseño.
- Económicos: ausencia, insuficiencia o mal manejo de recursos económicos para la correcta gestión de riesgos en una entidad hospitalaria.
- Sociales: relaciones, comportamientos, creencias formas de organización y maneras de actuar tanto de las personas que conforman las instituciones como las que forman las comunidades que las pueden colocar en condiciones de mayor o menor vulnerabilidad.
- Políticos: capacidad de gestión y negociación ante actores externos con el compromiso por parte de los funcionarios públicos de mantener operativas las unidades de salud.

- Culturales: ideas, visiones y valores que sirven para interpretar los fenómenos de la naturaleza y su relación con la sociedad, determinando así la capacidad o incapacidad para actuar en situaciones de peligro.
- Educativos: correspondencia que existe entre los contenidos educativos con las herramientas conceptuales y prácticas que se requieren para formar un lazo armónico entre la localidad y su entorno natural.
- Organizativos: capacidad de la localidad para organizarse y colaborar para afrontar situaciones de riesgo.
- Institucionales: prevalencia de los requisitos de forma o trámites burocráticos sobre las necesidades de fondo para una rápida respuesta ante las urgencias generadas por desastres (Organización Panamericana de la Salud, 2013).

Dentro de los diferentes factores de los que depende la vulnerabilidad en una institución de salud sobresalen los aspectos técnicos, ya que se enfocan en la calidad de la estructura que es donde se puede profundizar mucho más y encontrar un sin número de factores que causan que una institución de salud sea vulnerable desde el punto de vista de arquitectura e ingeniería, que se traduce en vulnerabilidad estructural (losas, vigas, columnas, cimentaciones, cubiertas, uniones, etc.) y en vulnerabilidad no estructural (paredes, ventanas, puertas, etc.). Para determinar el nivel de vulnerabilidad estructural y no estructural, es necesario definir varios conceptos que se presentan a continuación.

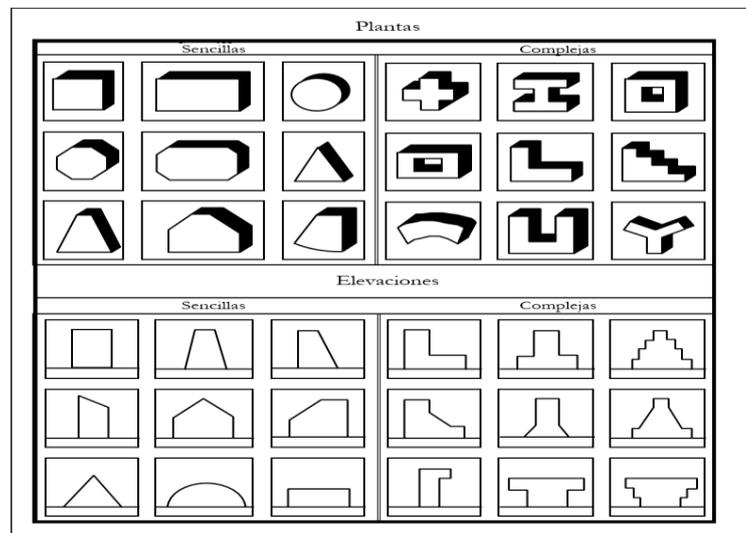
Vulnerabilidad estructural

Se refiere a la susceptibilidad frente a posibles daños en las partes de un edificio que lo mantienen en pie, entre ellas se encuentran cimientos, columnas, muros, vigas, diafragmas, cubiertas, etc., que son de gran importancia sobre todo en zonas de amenaza sísmica, por ello deben cumplir normas de sismorresistencia encaminadas a ofrecer seguridad a las personas que allí se encuentran y a evitar el colapso de una estructura al momento de un sismo de magnitud esperada (Organización Panamericana de la Salud, 2000).

Evaluación vulnerabilidad estructural

Configuración geométrica

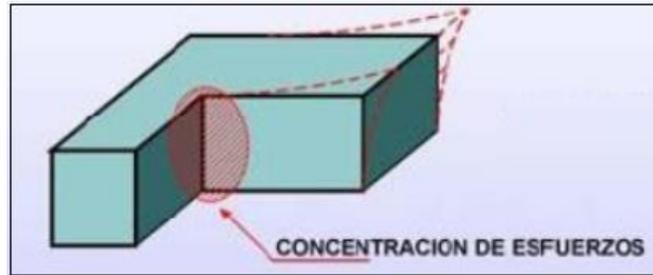
Longitud: la longitud en planta de una construcción influye en la respuesta estructural de la misma. En vista de que el movimiento del terreno consiste en una transmisión de ondas, la cual se da con una velocidad que depende de las características de masa y rigidez del suelo de soporte, la excitación que se da en un punto de apoyo del edificio en un momento dado difiere de la que se da en otro, diferencia que es mayor en la medida en que sea mayor la longitud del edificio en la dirección de las ondas. Los edificios cortos se acomodan más fácilmente a las ondas que los edificios largos (Organización Panamericana de la Salud, 2000).



Formas sencillas y complejas en planta y elevación

Fuente: (Arnold y Reitherman, 1987).

Concentración de esfuerzos debido a plantas complejas: se define como planta compleja a aquella en la cual la línea de unión de dos de sus puntos suficientemente alejados hace su recorrido en buena parte fuera de la planta. En las plantas irregulares las alas pueden asimilarse a un voladizo empotrado en el cuerpo restante del edificio, sitio en el cual sufriría menores deformaciones laterales que en el resto del ala. Por esta razón aparecen grandes esfuerzos en la zona de transición, los cuales producen con frecuencia daños en los elementos no estructurales, en la estructura vertical y aun en el diafragma de la planta (Organización Panamericana de la Salud, 2000).



Concentración de esfuerzos

Fuente: (Llanes Burón, 2008).

Configuración estructural

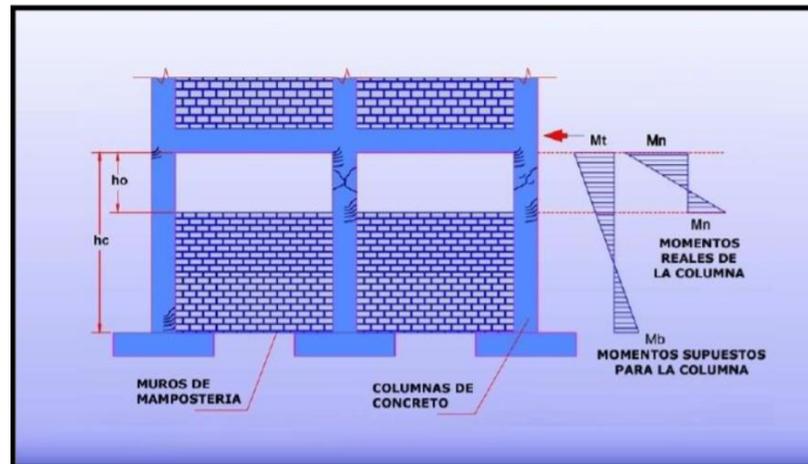
Concentraciones de masa: consiste en la disposición de grandes cantidades de masa (equipos pesados, bodegas, materiales, etc.) en un piso o nivel determinado, mientras más elevado sea el nivel en el que se concentran grandes cantidades de masa, mayor será la posibilidad de que ocurra volcamiento (Organización Panamericana de la Salud, 2000).



Concentraciones de masa, tanques en el techo de hospitales

Fuente: Organización panamericana de la salud (OPS)

Columnas débiles: se pueden catalogar como dos problemas, columnas cortas y viga fuerte columna débil. Una columna que ha sido diseñada considerando la altura completa, se puede transformar en una columna corta debido a la ubicación de una pared de relleno que atrae mayores cargas laterales hacia ella con respecto a su nueva rigidez, su mecanismo de falla es frágil, por lo que se convierte en un problema muy serio, ya que el diseño sismorresistente se busca un mecanismo de falla dúctil.



Columna corta

Fuente: (Llanes Burón, 2008).

Piso blando: son pisos más vulnerables al daño sísmico que los restantes, debido a que tienen menor rigidez, menor resistencia o ambas cosas. La presencia de pisos suaves se puede atribuir a la diferencia de altura entre pisos o a la interrupción de elementos estructurales verticales en el piso (columnas y muros). Puede presentarse en cualquier nivel, pero lo más común en encontrarlo en la planta baja.

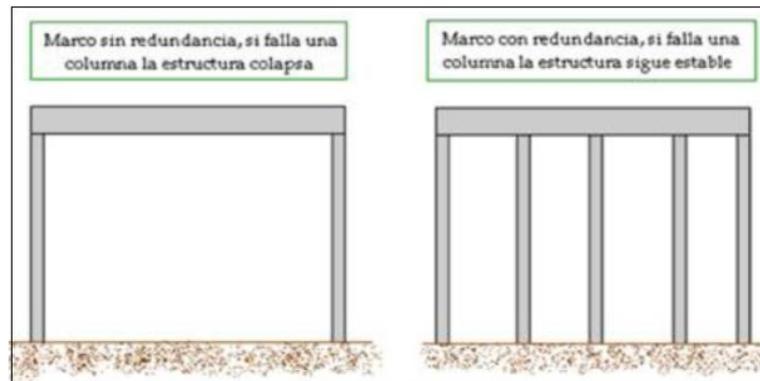


Piso blando, falla del quinto piso del hospital público del oeste de Kobe

Fuente: (Llanes Burón, 2008).

Falta de redundancia: se refiere al diseño en base a pocos elementos estructurales. En el caso de que un sismo supere la aceleración esperada y dañe ciertos elementos estructurales, una edificación diseñada con pocos elementos es más vulnerable a colapsar que una edificación diseñada con un mayor número de elementos

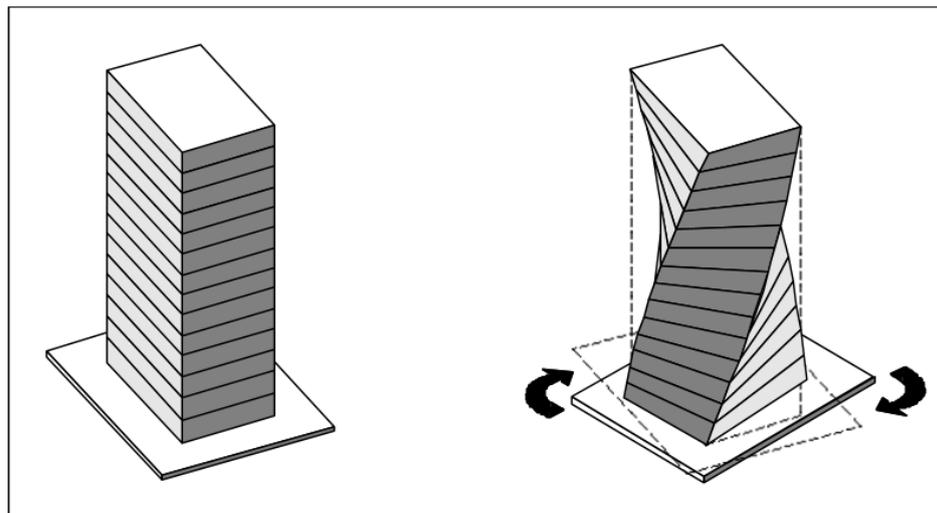
estructurales, es decir, una edificación más redundante estructuralmente (Organización Panamericana de la Salud, 2000).



Redundancia estructural

Fuente: Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica

Torsión: se produce por la excentricidad existente entre el centro de masa y el centro de rigidez.



Torsión

Fuente: (Guevara, 2006)

Riesgo en una institución de salud

Es la destrucción o pérdida esperada en una institución de salud, obtenida de la interacción simultánea de las amenazas o peligros con la vulnerabilidad de los elementos que están expuestos a dichas amenazas y que conforman una edificación hospitalaria. El riesgo es expresado como la probabilidad de exceder el nivel de consecuencias económicas, sociales y ambientales que puedan presentarse en el caso

que ocurra un desastre, frente a la capacidad de la edificación de resistir y recuperarse (Organización Panamericana de la Salud, 2013).

Índice de Seguridad Hospitalaria

El índice de Seguridad Hospitalaria es un valor numérico que expresa la probabilidad de que un hospital continúe funcionando en casos de desastre. Se obtiene a partir de una lista de verificación que contiene una serie de aspectos de evaluación, sobre los cuales se aplican estándares de seguridad y se asignan pesos relativos a cada aspecto evaluado. Además, el índice de seguridad hospitalaria permite priorizar a los establecimientos de salud cuya intervención es crítica en casos de desastre, porque podrían poner en riesgo la vida de sus ocupantes. A pesar de que el índice de seguridad hospitalaria no reemplaza una evaluación exhaustiva de vulnerabilidad, permite determinar en forma rápida los lugares críticos donde es más importante realizar una intervención dentro de un establecimiento de salud.

Base de la estructura. (NEC-14)

Nivel al cual se considera la acción sísmica sobre la estructura.

Coefficiente de importancia. (NEC-14)

Coefficiente relativo a las consecuencias de un daño estructural y al tipo de ocupación.

Sismo de diseño. (NEC-14)

Es el evento sísmico que tiene una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años.

Cortante basal de diseño. (NEC-14)

Fuerza total de diseño por cargas laterales, aplicada en la base de la estructura, resultado de la acción de sismo de diseño.

Deriva de piso. (NEC-14)

Desplazamiento lateral relativo de un piso con respecto al piso consecutivo, medido en dos puntos ubicados en la misma línea vertical.

Ductilidad global. (NEC-14)

Se refiere a la capacidad de la estructura para deformarse más allá del rango elástico, sin perder sustancialmente su rigidez y resistencia, ante cargas laterales estáticas o productos de sismos.

Ductilidad local. (NEC-14)

Capacidad de un elemento estructural, para deformarse más allá del rango elástico, sin perder sustancialmente su rigidez y resistencia, ante cargas laterales estáticas o productos de sismos.

Periodo de vibración. (NEC-14)

Tiempo que transcurre dentro de un movimiento armónico ondulatorio, o vibratorio para que el sistema vuelva a su posición original después de un ciclo de oscilación.

Espectro de respuesta. (NEC-14)

Espectro considerado como espectro de diseño basado en las condiciones geológicas, tectónicas, sismológicas y del tipo de suelo asociadas con el sitio donde está emplazada la estructura.

Estructura esencial. (NEC-14)

Estructuras que deben permanecer operativas luego de un terremoto para atender emergencias.

CAPÍTULO 1

IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS Y APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE SEGURIDAD HOSPITALARIA

El cantón Paute forma parte de la provincia del Azuay, cuenta con 8 parroquias representando el 3.2% del territorio de la provincia del Azuay, su población es de 25500 habitantes, la cual representa el 3.6% con respecto a toda la provincia (INEC censo de población y vivienda 2010).

El Hospital Paute es un hospital tipo básico que forma parte de la coordinación zonal de salud 6; cuenta con 15 camas y se encuentra ubicado en la avenida Interoceánica en sentido Sur-Norte en las coordenadas Latitud: $-2^{\circ}46'43.6''$ Longitud: $-78^{\circ}46'5.07''$. Entre los servicios que ofrece están: consulta externa, hospitalización, emergencia, centro quirúrgico y obstétrico, laboratorio clínico e imagenología (Cartera de Servicios Hospitalarios Ministerio de Salud Pública del Ecuador).



Figura 1.1: Vista satelital del Hospital Paute

Fuente: (Google Earth, 2016)

1.1. Identificación de amenazas entorno a la entidad hospitalaria Paute

La implementación de una estrategia de Gestión de Riesgos de Desastres, es fundamental para una correcta administración tanto en el ámbito público como privado; por ello es necesario identificar claramente las amenazas a las cuales están expuestas las personas y la infraestructura, así como su nivel de vulnerabilidad frente

a las mismas. La identificación de amenazas es importante dentro de la evaluación de una entidad hospitalaria porque permite entender de mejor manera el entorno geográfico y antropológico, así como, los posibles factores no considerados dentro de la planificación de un hospital. No se puede concebir riesgo sin antes identificar una amenaza.

Las amenazas entorno a la edificación del Hospital Básico Paute se han identificado mediante recorridos y entrevistas tanto a funcionarios cuanto a personas que concurren al lugar. En primer lugar, se identificó la ubicación del cementerio municipal a escasos seis metros de la entrada principal del hospital, los cementerios tienen un comportamiento similar al de un relleno sanitario por tratarse de materia orgánica enterrada, sin embargo, la diferencia de cantidades reduce significativamente el impacto de un cementerio con relación al de un relleno sanitario.

Dentro de los cementerios la descomposición de materia orgánica no llega a generar los mismos niveles de gas metano (CH_4) como sí sucede en rellenos sanitarios, incluso es posible aprovechar el gas producido por la materia en descomposición para generar energía eléctrica a partir de motores. En fin, un aspecto que resulta trascendental analizar sin duda es la contaminación que genera un cementerio de esas características, para ello se realizaron encuestas encaminadas a determinar si existe proliferación de mosquitos, roedores o algún tipo de plaga en áreas adyacentes y dentro del hospital.

Ahora bien, el caso más crítico en un relleno sanitario, es la contaminación de aguas subterráneas, por esta razón antes de colocar la primera capa de residuos sólidos, se coloca una geomembrana o algo similar con el objetivo de impermeabilizar el suelo y evitar que los lixiviados contaminen las aguas subterráneas, además se cuenta con sistemas de drenaje, de manera que la probabilidad de filtración de agua contaminada sea mínima, sin embargo, este no es el caso en el cementerio municipal, por esta razón dentro del estudio de suelos se puso énfasis en la ubicación del nivel freático, sin embargo, hasta una profundidad de seis metros, este no fue ubicado, además la cisterna del hospital ha sido impermeabilizada con cerámica y no han existido problemas por agua contaminada, por lo tanto, la mayor amenaza producida por el cementerio municipal son las concentraciones sociales durante sepelios o en el día de

los difuntos, cuando los comerciantes colocan sus negocios, las calles se cierran y la gente se aglomera, si bien es cierto, existe una distancia entre negocios precisamente para que la ambulancia pueda circular, pero si se presentase un evento que pueda generar pánico durante concentraciones sociales, con seguridad habrían víctimas que lamentar.

En segundo lugar, se identificó una amenaza de tipo deslizamiento geológico, el Hospital se encuentra asentado en una zona susceptible a deslizamientos de masa y colinda con un terreno usado principalmente para la agricultura, el hospital ha aprovechado el muro de contención de hormigón ciclópeo como lindero, sin embargo, el pie del talud se encuentra aproximadamente tres metros por debajo del muro, el talud está cubierto de lo que en Ecuador se conoce como llano o césped, es decir, la vegetación ayuda a estabilizar el talud y evitar deslizamientos, en el estudio de suelos se identificó que el ángulo de fricción interna del suelo cercano al talud es de 29° , y hasta el día de hoy no se han presentado deslizamientos, sin embargo, al pie del talud se encuentra el poste que contiene el transformador de energía eléctrica, por lo tanto, ante un evento que ocasione un deslizamiento el hospital podría terminar sin suministro eléctrico, y aunque cuenta con un generador, éste entró en funcionamiento en 1977 y no ha sido reemplazado, además solo cubre las áreas críticas de quirófanos.

La tercera amenaza claramente identificada es el terreno usado para la agricultura que colinda con el hospital, en ocasiones los agricultores han olvidado cerrar el suministro de agua de riego, el suelo debido a su alta permeabilidad ha sido totalmente saturado entrando en estado plástico (lodo) y ha logrado ingresar hasta las instalaciones de laboratorios del hospital, dificultando el cumplimiento de las tareas de los funcionarios que allí laboran.

1.2. Percepción de riesgo como medida para complementar amenazas.

Una investigación basada en antecedentes es importante pero no siempre es lo mejor, debido a que, si no existe información histórica de fenómenos naturales o sociales que hayan comprometido la integridad de la estructura hospitalaria, no significa que las amenazas no estén presentes, solamente indica que la amenaza y la vulnerabilidad no han actuado en conjunto o no están siendo visibilizadas, entonces resulta evidente que encuestas encaminadas a determinar antecedentes tienen que ser complementadas con

encuestas de percepción de riesgo porque las personas perciben los riesgos basándose en la presencia de una amenaza, instrumento que brinda una amplia cantidad de información sobre amenazas presentes tanto dentro como fuera de la entidad hospitalaria.

Los principales tipos de amenazas considerados en el Hospital Paute fueron: sismos, inundaciones, incendio o explosión y contaminación. El hospital fue discretizado en 84 áreas. Para evaluar la percepción de riesgo sísmico se consideraron cuatro niveles de riesgo.

Se obtuvieron los siguientes resultados que sistematizados indican el nivel de riesgo percibido en cada una de las áreas del hospital, así como el nivel general de percepción en la totalidad de la estructura. El nivel de riesgo dará cuenta de posibles amenazas, e incluso vulnerabilidad desde la perspectiva del personal, indicando áreas de evaluación exhaustiva.

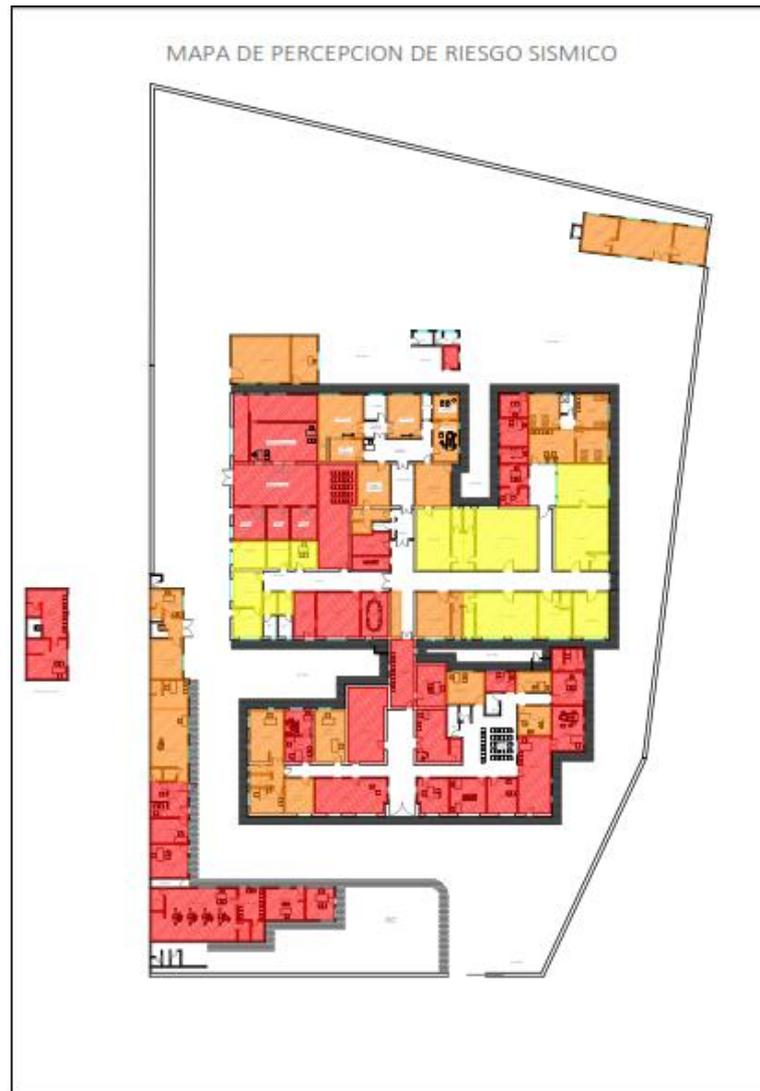


Figura 1.2: Percepción de riesgo sísmico

Para evaluar la percepción de riesgo de inundación se consideraron también cuatro niveles de riesgo. El personal al responder esta encuesta aseguró que han tenido problemas de inundaciones en tres ocasiones, debido a que el hospital se encuentra entre dos quebradas que acumulan vegetación, y al estar en una zona de alta susceptibilidad a movimientos de masa, disminuía su sección desbordando el agua e inundando las instalaciones del hospital, sin embargo, no solo se recopiló información acerca de amenazas sino también de vulnerabilidad, en las zonas marcadas con rojo en el mapa de percepción de riesgo no existe el drenaje apropiado, además la pendiente y el estado de la cubierta permiten la filtración del agua lluvia hacia las instalaciones dificultando las funciones de los trabajadores del hospital.

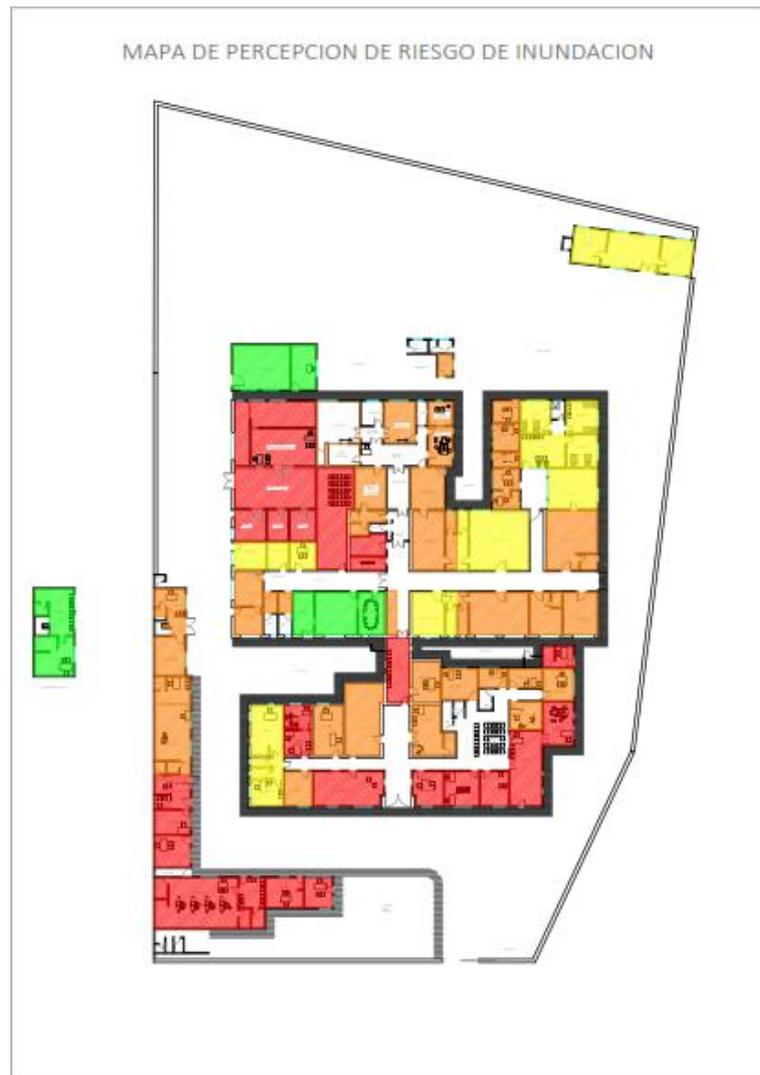


Figura 1.3: Percepción de riesgo de inundación

De la misma manera para evaluar la percepción de riesgo de incendio o explosión se presentaron cuatro niveles. El personal de mantenimiento, informó que en su lugar de trabajo aparentemente no existe riesgo alguno de incendio y hasta el momento no se han registrado explosiones, sin embargo, almacenan materiales inflamables como pintura o gasolina, por lo tanto, la amenaza está presente; nuevamente esta situación refleja la necesidad de investigar lo que las personas sienten para identificar y evidenciar la presencia de amenazas que pasan desapercibidas ante un evaluador poco experimentado. En el área de cocina el personal manifestó que su puerta se encuentra trabada, la fuerza de una explosión de ocho cilindros de gas, que se encuentran fuera de ésta podría inhabilitar la salida poniendo en peligro su vida.



Figura 1.4: Percepción de riesgo de incendio o explosión

Finalmente debido a la presencia del cementerio en su cercanía y de pacientes con posibles virus, se consideró analizar la percepción de riesgo de contaminación. De igual forma se propuso cuatro niveles de riesgo. Con esto se comprobó que no existe una amenaza latente de plagas o vectores sanitarios como roedores o mosquitos, sin embargo, la percepción de riesgo de contagio por pacientes con virus peligrosos es claramente alta sobre todo en áreas de cirugía y laboratorios.



Figura 1.5: Percepción de riesgo de contaminación

Ahora bien, la presencia del cementerio obliga a investigar más a fondo los posibles problemas que pueda causar, un cementerio actúa de manera similar a un relleno sanitario, el aspecto más preocupante es la contaminación de aguas subterráneas, se ha podido verificar que los virus pueden transportarse por aguas subterráneas a lo largo de por lo menos dos kilómetros hasta una profundidad de 40 metros (Sidoli, 2006), aunque el Hospital Paute no se abastece de aguas subterráneas, es importante aclarar que se encuentra en una zona de posible contaminación a causa del cementerio municipal. Es importante sistematizar la amenaza por contaminación de aguas subterráneas mediante un mapa, con el fin de expresar de manera gráfica el nivel de amenaza al cual se encuentra sometido el Hospital Paute, el resultado obtenido fue el siguiente.

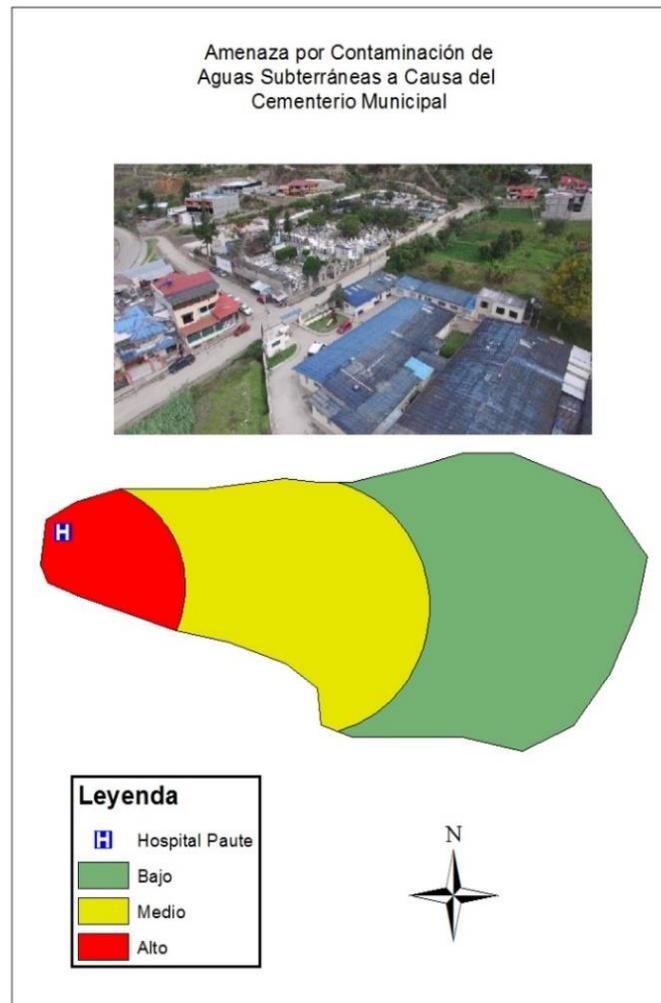


Figura 1.6: Contaminación causada por el cementerio municipal

Es importante mencionar que debido a que dentro de las instalaciones del hospital se encuentra la cisterna y frente al nivel de amenaza de contaminación provocado por el cementerio municipal, resulta imprescindible realizar una prueba de calidad de agua mediante exámenes de demanda biológica de oxígeno y análisis bacteriológico, para descartar el agua contaminada como potencial vector de enfermedades, sin embargo, en años futuros el hospital no debe abastecerse de aguas subterráneas que se encuentren en la zona de influencia de contaminación del cementerio.

Lamentablemente los problemas ocasionados por el cementerio no terminan aquí, debido a que es un lugar de grandes concentraciones sociales durante una fiesta tradicional en el Ecuador, conocida como “el día de los difuntos” que se celebra en el mes de noviembre de cada año, o en cualquier sepelio que se lleve adelante. El Hospital cuenta con apenas dos vías de acceso que se cierran y se usan para establecer negocios

de flores y comida durante esta festividad, por ello urge tomar medidas para prevenir, si se presentase un desastre específicamente en esa fecha, como puede ser el pánico incontrolable generado, que afectarían irremediablemente la prestación de los servicios del hospital, es necesario planificar bien el lugar donde se emplazará una nueva entidad hospitalaria.

Fue claro que el personal del Hospital Paute brindó información valiosa cuando se consultó sobre su percepción de riesgo, y cumplió el objetivo de ampliar la visión del evaluador en cuanto a la identificación de amenazas, además de mostrar de manera gráfica, clara y concisa los posibles lugares que requieran mayor atención en la prevención de desastres. Sin embargo, estos temas tenían que ser considerados durante la etapa de planificación del Hospital, además nunca debió pensarse en ubicar un Hospital frente a un cementerio, y mucho menos en una zona susceptible a deslizamientos de masa, además con una sola vía de acceso y en medio de dos quebradas. En el siguiente mapa se muestran las zonas de mayor nivel de amenazas frente a las zonas de menor nivel de amenazas, además del lugar donde se emplazó el Hospital Básico Paute.

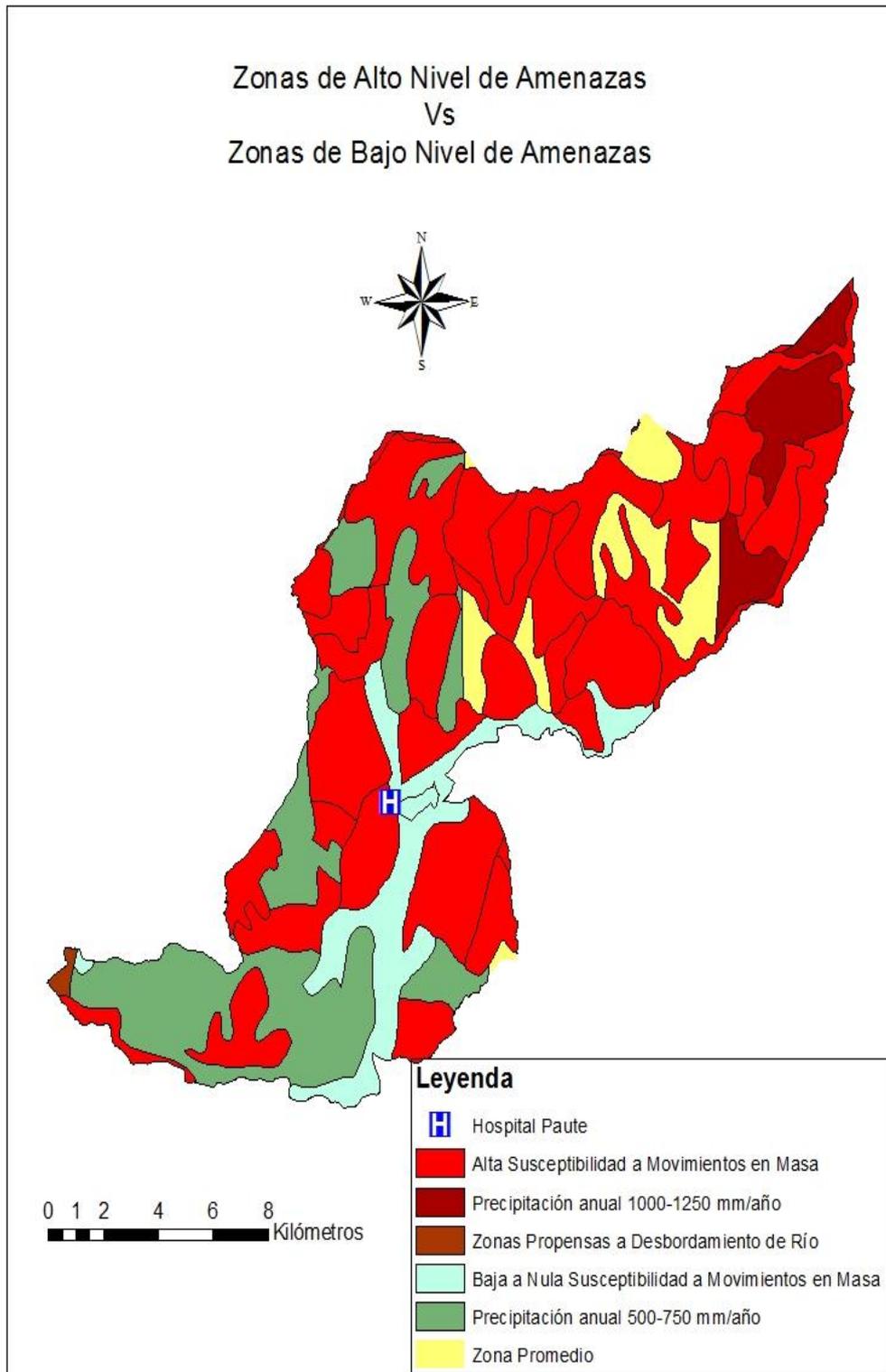


Figura 1.7: Zonas de alto nivel de amenazas vs zonas de bajo nivel de amenazas

La manera de determinar el lugar donde emplazar una entidad hospitalaria debería empezar con un mapa similar al anterior, es decir, en lugares donde exista el menor nivel de amenazas de todo tipo, sin embargo, luego deberían identificarse amenazas específicas, como árboles que puedan bloquear los accesos, número de vías de acceso,

cercanía a la población etc., resulta imprescindible cambiar el modelo de planificación de los hospitales, de manera que las nuevas construcciones sean seguras, facilitando la futura administración y prevención de riesgos, precautelando así el correcto uso de los recursos y sobre todo la vida de las personas. Evidentemente no se actuó de esta manera el momento de emplazar el Hospital Paute, por ello la información recolectada en encuestas de percepción de riesgo y sistematizada en mapas de información geográfica servirá para proponer líneas de mitigación de amenazas, las cuales servirán para generar un plan de acción frente a desastres dentro del hospital, mediante capacitaciones y simulacros encaminados a prevenir el pánico y actuar con cautela durante situaciones complicadas.

1.3. Aplicación del Índice de Seguridad Hospitalaria (ISH)

Se ha aplicado el Índice de Seguridad Hospitalaria en base a los formularios propuestos en la guía del evaluador de hospitales seguros de la Organización Panamericana de la Salud y de la Organización Mundial de la salud (se especifican en el Anexo 1), sin embargo, los formularios mencionados superan el campo de aplicación de Ingeniería Civil y Arquitectura, por esta razón en aspectos que tienen que ver con la capacidad funcional del hospital se ha pedido la colaboración de la doctora Andrea Llivicura, encargada de la gestión de riesgos dentro de la entidad hospitalaria, se ha puesto especial énfasis en listas de verificación de elementos estructurales, calidad de materiales, elementos no estructurales y líneas vitales (agua, oxígeno y redes eléctricas), al final de la aplicación de la guía del evaluador se pretende obtener una calificación del hospital A, B o C para establecer una idea rápida del nivel de intervención que debe aplicarse dentro de la entidad hospitalaria.

En el Anexo 1 se muestra la tabla resumen de la guía del evaluador de hospitales seguros frente a desastres. El primer aspecto a analizar dentro de la guía del evaluador es la ubicación geográfica de la entidad hospitalaria, porque permite la caracterización de las amenazas o peligros referentes al tipo de suelo y ubicación geográfica. Se evalúan fenómenos geológicos, hidrometeorológicos, sanitario-ecológicos, químico-tecnológicos y las propiedades geotécnicas del suelo. Esta evaluación se sustenta en mapas de amenazas que han sido elaborados con datos geográficos recopilados del sistema nacional de información de la república del Ecuador, que reúne de manera integral información del Instituto Geográfico Militar (IGM), Instituto Nacional de

Estadísticas y Censos (INEC), diferentes ministerios (MAGAP, MSP), etc. Estos mapas han sido elaborados para el área específica en la cual se encuentra ubicado el Hospital Paute.

Dentro de los fenómenos geológicos se analizan los siguientes aspectos.

Sismos

El peligro sísmico presente en el cantón Paute es considerado alto según la norma ecuatoriana de construcción NEC-14, la aceleración esperada es de 0.25g.

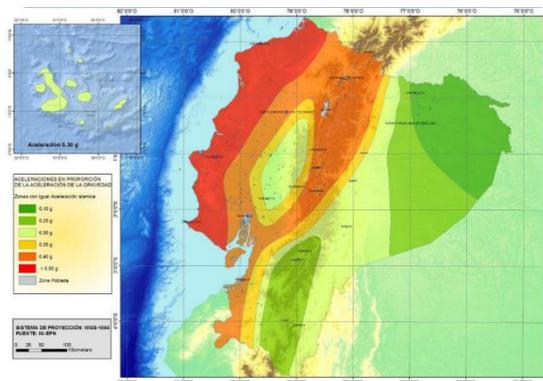


Figura 1.8: Zonificación sísmica

Fuente: Escuela Politécnica Nacional.

Erupciones volcánicas

El Hospital Paute no se encuentra en la zona de influencia de ningún volcán, según datos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, sin embargo, cuando las columnas de ceniza emanadas por el volcán Tungurahua son considerablemente altas, debido a la acción del viento, es posible que parte de este material alcance poblaciones como Cuenca, Guayaquil, Paute, etc. sin embargo, las afectaciones que puede causar referentes a salud no son relevantes, por lo tanto, el nivel de amenaza volcánica es nula.

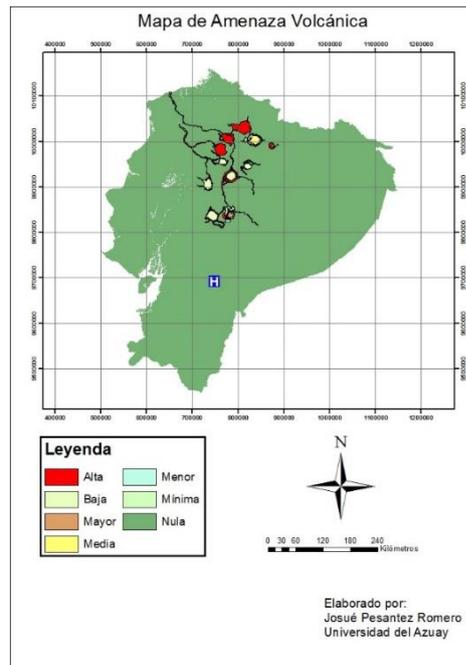


Figura 1.9: Peligro volcánico

Deslizamientos geológicos

El Hospital Paute se encuentra en una zona de alta susceptibilidad a los deslizamientos de masa, según el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, existe un talud que en el caso de deslizarse bloquearía totalmente la circulación del personal que labora en el área de bodega, además, bloquearía el suministro eléctrico debido a que los transformadores se encuentran al pie del talud.



Figura 1.10: Talud sobre los transformadores de energía

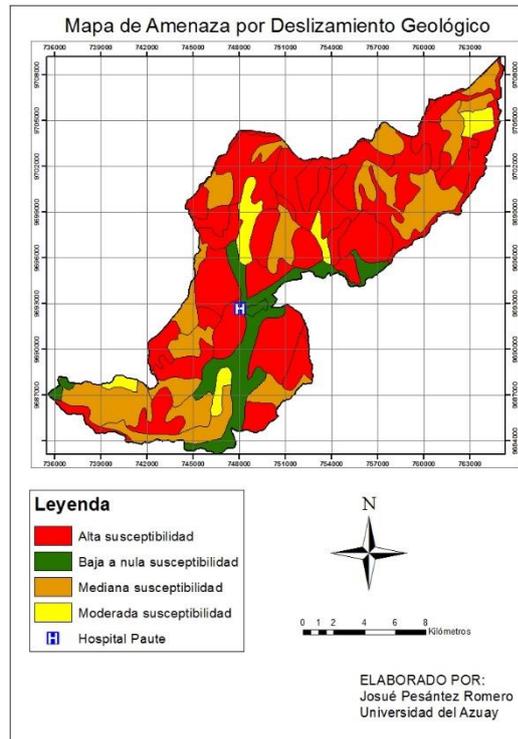


Figura 1.11: Susceptibilidad a movimientos de masa

Tsunamis

El hospital se encuentra en la región sierra a 2220 msnm, por lo tanto, el peligro de que sea alcanzado por un tsunami es nulo.

Dentro de las amenazas por fenómenos hidrometeorológicos se ha evaluado los siguientes aspectos.

Huracanes

De acuerdo al mapa de vientos de Ecuador se esperan solamente brisas frescas en el cantón Paute.

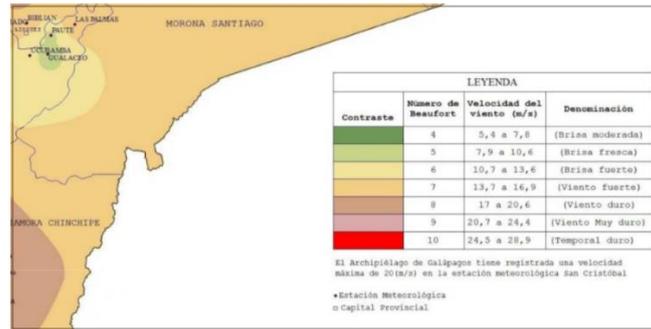


Figura 1.12 Velocidad del viento

Fuente: Escuela Politécnica Nacional

Lluvias torrenciales

La precipitación anual de la zona en la que se encuentra el hospital Paute oscila entre 500 y 750 mm/año, son precipitaciones relativamente bajas y el hospital no cuenta con buenos sistemas de drenaje, sobre todo en cubiertas, siendo el área más susceptible el área de bodega, la falta de planificación ha ocasionado que la pendiente de las canales que drenan el agua de precipitación que cae sobre la cubierta, tengan pendiente hacia el interior de la edificación, esto ocasiona la acumulación excesiva de agua y la penetración a las instalaciones afectando directamente el suministro de bodega, así como la capacidad funcional del personal que allí labora.



Figura 1.13: Cielo raso, filtración de agua



Figura 1.14: Piso, filtración de agua, área de bodega

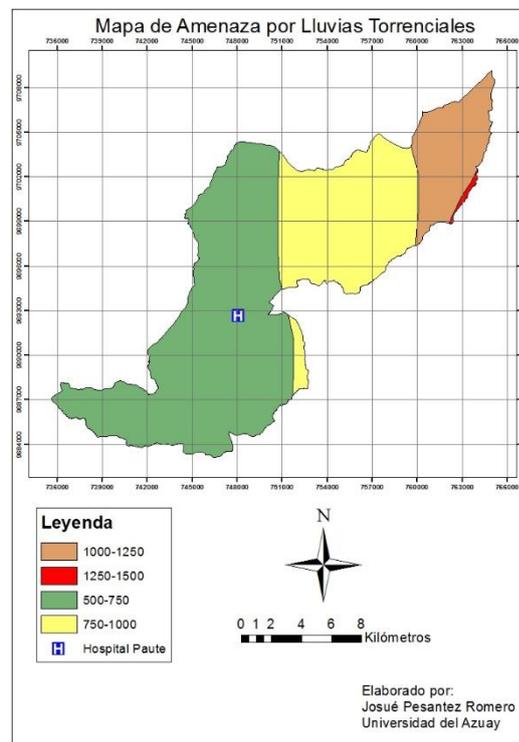


Figura 1.15: Precipitaciones medias anuales

Penetraciones de mar o río

El Hospital Paute se encuentra en una zona alta con respecto a la ubicación del río Paute, no existe amenaza por penetración de ríos, durante el desastre de la Josefina en el año 1993 se evacuó el hospital por temor, sin embargo, el nivel de agua jamás estuvo cerca de la cota del hospital, es evidente que la falta de información y preparación ante este tipo de desastres fue una clara desventaja tanto para los trabajadores cuanto para los pacientes del hospital.

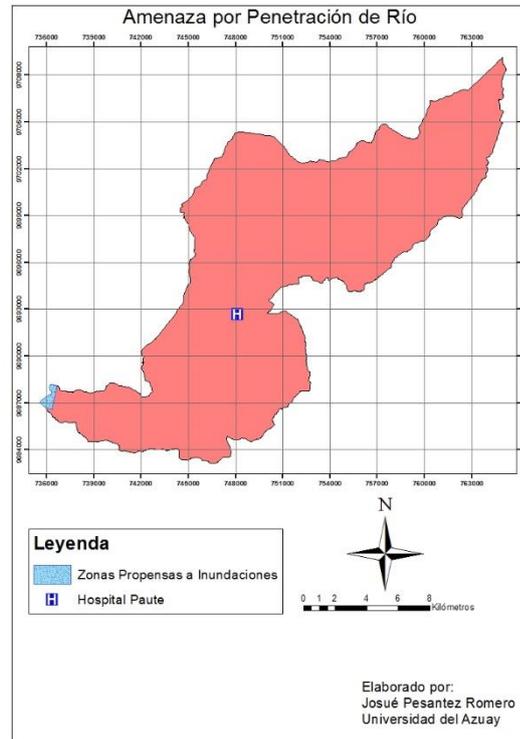


Figura 1.16: Zonas propensas a inundación

Deslizamientos hidrometeorológicos

El Hospital se encuentra ubicado en un suelo de alta permeabilidad, zonas en las cuales no se ha construido pavimentos o instalaciones hospitalarias tienden a saturarse durante períodos de lluvia, aunque, la siembra del llamado kikuyo tiene un efecto positivo sobre la estabilidad de los taludes del hospital, resulta evidente que son una amenaza latente.

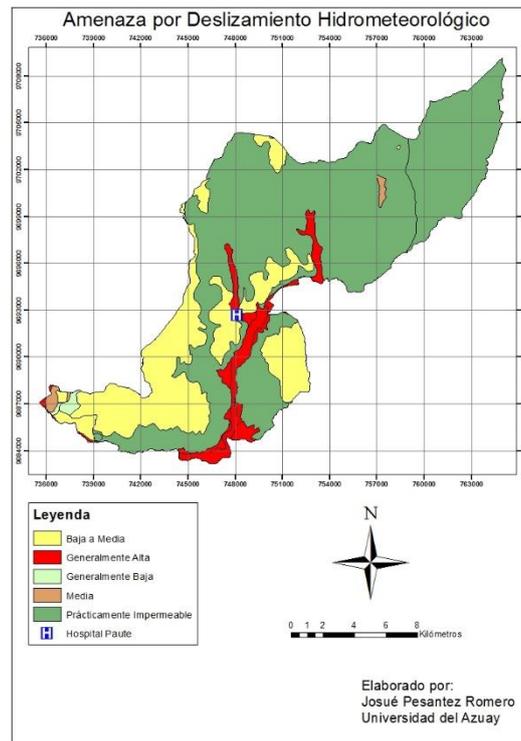


Figura 1.17: Litología

Dentro de las amenazas por fenómenos sociales se ha evaluado los siguientes problemas.

Concentraciones de población

Probablemente la mayor amenaza junto con el peligro sísmico es la concentración de población en el cementerio durante sepelios o en el día de los difuntos. En este día festivo las calles Cornelio Mosquera y Pedro Larriva se cierran al tránsito y se colocan negocios de flores y recuerdos propios de la fecha, aunque se deje un espacio para que la ambulancia pueda ingresar, la masiva concentración de personas durante un desastre de gran magnitud probablemente causaría pánico y dificultaría en forma considerable el acceso al hospital.



Figura 1.18: Vías de alta concentración de personas

Personas desplazadas

Al ser un hospital de tipo básico que atiende a una población relativamente pequeña, no es común pensar que en un desastre en las poblaciones cercanas como Gualaceo, se pueda derivar personas a Paute, lo normal en este tipo de casos es enviar pacientes a la ciudad de Cuenca, sin embargo, el trayecto es sinuoso y rodeado de taludes, de los cuales se desprenden rocas en cantidades que dependen de la intensidad de la precipitación, es decir, ante una fuerte precipitación las vías que conectan Gualaceo con Cuenca quedarían bloqueadas obligando a derivar personas al hospital Paute.

Dentro de las amenazas por fenómenos sanitario-ecológicos se ha evaluado los siguientes aspectos.

Epidemias

El hospital registra solamente intoxicaciones en alrededor de 21 personas a causa de comida en mal estado, el peligro debido a epidemias es realmente bajo en base a los antecedentes desde la fundación del Hospital.

Contaminación

Existe un peligro de contaminación latente junto al hospital, se trata del cementerio municipal, donde virus bacterias se encuentran presentes dentro de las tumbas y se alimentan de los cadáveres en descomposición, éstos pueden ser arrastrados por el agua de infiltración y contaminar aguas subterráneas. Entre el Hospital Paute y el cementerio municipal existe una quebrada que podría contener agua contaminada a

causa de los cadáveres que al final por ser materia orgánica terminan siendo focos de contaminación especialmente para los niños.

Plagas

Mosquitos o roedores no representan un peligro para las personas que laboran en el hospital, esta información se ha constatado en todas las visitas, además de encuestas sobre antecedentes que tienen referencia a las plagas.

Dentro de las amenazas por fenómenos químico-tecnológicos se evaluaron los siguientes aspectos.

Explosiones

Existe un sistema de gas centralizado, los cilindros están ubicados fuera de la edificación frente a la cocina, todos los cilindros juntos están al aire libre cercados por mallas, que permiten la ventilación de gas; el nivel de amenaza es bajo.



Figura 1.19: Almacenamiento de gas

Incendios

Hasta el momento no se han presentado incendios, excepto por una autoclave que se usó más tiempo del recomendado y quemó los implementos insertados en ella, sin embargo, no se presentó pánico y es un problema que se puede arreglar con una simple capacitación a los empleados con respecto al uso de autoclaves.

Fuga de materiales peligrosos

El hospital no maneja materiales peligrosos de tipo radioactivo, inflamable, corrosivo, etc., el nivel de amenaza es nulo.

A continuación, se encuentran los aspectos evaluados dentro de las amenazas producidas por las propiedades geotécnicas del suelo.

Licuefacción

El estudio de suelos indicó que el Hospital Paute se asienta sobre limos de mediana plasticidad, la licuefacción generalmente se da en grava, arena limo o arcilla de baja plasticidad saturadas, porque pierden resistencia al esfuerzo cortante debido a la presión de poros producida por el agua, sin embargo, el suelo es de alta permeabilidad, por esta razón la amenaza por licuación es alta. Por este motivo es importante tener un buen sistema de drenaje de aguas lluvias en la entidad hospitalaria.

Suelo arcilloso

El hospital se asienta sobre un suelo limoso que generalmente tiene vacíos o espacio entre partículas y al saturarse pierde cohesión y por ende estabilidad.

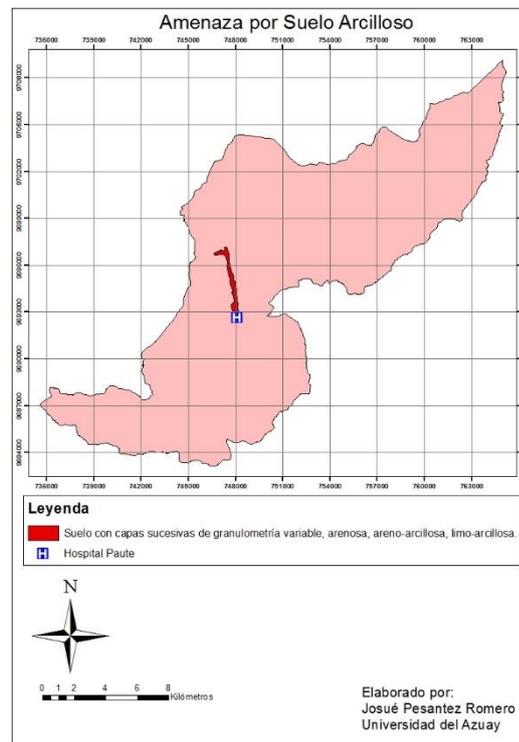


Figura 1.20: Taxonomía

Talud inestable

En el entorno del hospital existen solamente dos taludes, uno de ellos recorre todo el perímetro en dirección Este en el área de laboratorios, vacunación, bodega, máquinas, etc. Este talud no tiene ningún tipo de protección además de la siembra de kikuyo o césped y su desnivel sobre el suelo supera los tres metros con una pendiente de 34%. Es el talud de mayor riesgo en la entidad hospitalaria debido a su altura y a los lugares que podría afectar, entre ellos, transformadores, generadores y cisterna. El segundo talud apenas tiene una altura de 2.76 m y sobre él se construyó el área de audiología, no representa un peligro latente dentro de la entidad hospitalaria.

Luego de haber evaluado los aspectos relacionados a la ubicación geográfica de la entidad hospitalaria se procede a evaluar los aspectos relacionados con la seguridad estructural, cuyo objetivo es definir si la estructura física cumple con las normas que le permitan seguir prestando servicios a la población, aun en casos de desastres de gran magnitud, o bien, puede ser parcialmente afectada alterando su seguridad estructural y comprometiendo, por lo tanto, su capacidad funcional. Los aspectos relacionados con la seguridad estructura son: seguridad debido a antecedentes del establecimiento y seguridad relacionada con el sistema estructural y el tipo de material usado en la edificación.

Dentro de los aspectos relacionados con la seguridad debido a antecedentes del establecimiento se evaluó los siguientes aspectos.

Normas de construcción

Las columnas y vigas, a pesar de sostener solamente una planta tienen dimensiones relativamente mínimas, las columnas son de 30x30 cm y de 20x20 cm, sin embargo, su armado no está construido para resistir el cortante, el espaciamiento entre estribos a lo largo de todas las columnas de 30x30 cm es de 25 cm y a lo largo de las columnas de 20x20 cm es de 10 cm, estos datos se conocen gracias a ensayos no destructivos realizados mediante un escáner BOSH D-TEC-150 que puede encontrar la ubicación de los hierros dentro del hormigón.



Figura 1.21: Escaneo de armadura

Adaptaciones que afectan el comportamiento de la estructura

Debido a la falta de presupuesto y a las necesidades de ampliación del hospital, existen lugares como la farmacia donde se realizó una pequeña ampliación, pero sin columnas ni vigas, como resultado las mamposterías al no estar confinadas se trizan y ante un evento sísmico podría resultar un lugar peligroso.



Figura 1.22: Mampostería sin confinamiento en farmacia

Otro caso se presenta en el área de Emergencia, se amplió el lugar derribando paredes, se confinó con columnas y vigas de borde, sin embargo, se eliminó una columna que servía de apoyo en el punto donde convergen los ejes de vigas. Como resultado las vigas han tenido una deflexión adquiriendo una pendiente, además de errores de construcción que producen una excesiva excentricidad. Es evidente que la falta de presupuesto y demasiada predisposición para mejorar los servicios del hospital, aumentan la vulnerabilidad del establecimiento y, por lo tanto, el riesgo ante un desastre.



Figura 1.23: Falta de columna y excentricidad de vigas en emergencia

De la misma manera el área de limpieza y aseo consiste en una simple ampliación de mampostería, se observa claramente que la cubierta alcanza el nivel de la puerta.

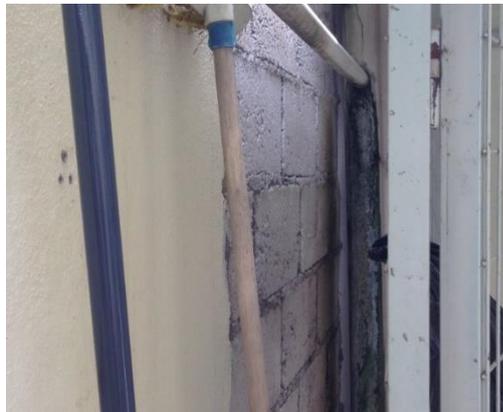


Figura 1.24: Mampostería sin confinamiento en mantenimiento

Dentro de los aspectos de seguridad relacionada con el sistema estructural y el tipo de material usado en la edificación se consideraron los siguientes ámbitos.

Estado de la edificación

La edificación se encuentra en excelente estado, exceptuando las planchas de la cubierta, las cuales muestran señales de desgaste casi en su totalidad por la exposición propia al ambiente.



Figura 1.25: Cubiertas en mal estado

Materiales de construcción

Mediante el uso de un esclerómetro se pudo determinar la capacidad resistente de los elementos estructurales, vigas y columnas que se encontraban expuestos en la cubierta. Se obtuvieron los siguientes resultados. Aunque los disparos se realizan siempre de modo ortogonal a la cara del elemento, los cálculos varían si el disparo se realiza en dirección perpendicular a la aceleración de la gravedad (Curva A), en la dirección de la aceleración de la gravedad (Curva B), en dirección contraria a la aceleración de la gravedad (Curva C).



Figura 1.26: Prueba de esclerometría, emergencia



Figura 1.27: Prueba de esclerometría, clínica

Tabla 1.1: Pruebas de esclerometría

Viga clínica		Columna clínica		Viga emergencia	
21	160	21	160	21	112
22	174	21	160	21	112
23	184	22	174	21	112
30	284	22	174	21	112
31	306	22	174	21	112
31	306	22	174	22	122
32	316	28	256	22	122
32	316	28	256	22	122
32	316	30	284	22	122
32	316	31	306	28	204
Curva B		Curva B		Curva A	
29,44	279,78	25,11	217,56	22,22	126,67
Resistencia promedio	280	Resistencia promedio	220	Resistencia promedio	130

Interacción de los elementos no estructurales con la estructura

Existen columnas cortas en el pasillo de salida del área de vivienda de médicos, en el caso de un desastre si este pasillo se corta, los médicos no tienen otro lugar para evacuar, con seguridad quedarían atrapados porque incluso las ventanas tienen mallas metálicas por fuera.



Figura 1.28: Columnas cortas

Proximidad de los edificios

No existen edificios próximos al hospital, los terrenos colindantes son usados solamente para la agricultura.

Redundancia estructural

Los ejes estructurales o líneas de resistencia están bien distribuidos, las distancias entre ejes no varían considerablemente y existen alrededor de 11 líneas de resistencia en el sentido norte-sur y 11 líneas de resistencia en el sentido este-oeste, por lo tanto, la redundancia estructural está garantizada.

Detalles estructurales

La edificación fue construida en el año de 1979 sin que exista un código o norma vigente, sin embargo, fueron muy conservadores en cuanto a las secciones que se usaron en vigas y columnas.

Seguridad de fundaciones o cimientos

No existe información sobre las cimentaciones construidas.

Irregularidades en planta

Existen irregularidades en las zonas de: farmacia, limpieza y aseo, consultorios e audiología.

Adecuación estructural a fenómenos meteorológicos

La cubierta muestra señales y a corto plazo pueden presentarse goteras, por lo tanto, el nivel de seguridad ante fenómenos meteorológicos es medio. Continuando con la guía del evaluador de hospitales seguros se evalúan los aspectos relacionados con la

seguridad no estructural, es decir, se evalúan los elementos que no forman parte del sistema de soporte de la edificación. La guía propone evaluar redes, eléctricas, hidráulicas, sanitarias, sistemas de calefacción, ventilación, entre otros; estos aspectos guardan relación con ingeniería civil y arquitectura, sin embargo, los demás aspectos que siguen siendo importantes, pero ya no guardan relación con Ingeniería Civil y Arquitectura como, mobiliario y equipos de oficina, laboratorios, redes telefónicas, etc. no se han considerado en esta evaluación, por lo tanto, se evaluaron tres submódulos, entre ellos: líneas vitales, sistemas de ventilación en áreas críticas, y elementos arquitectónicos.

Dentro de la evaluación de líneas vitales se evaluó el sistema eléctrico con aspectos como los siguientes.

Generador adecuado para el 100% de la demanda

Durante la entrevista al Economista Oswaldo Sacoto, administrador del hospital se mencionó que el generador solamente puede provisionar energía al 20% del Hospital Paute, sin embargo, se dirige exclusivamente a áreas críticas como los quirófanos.



Figura 1.29: Generador

Regularidad de pruebas de funcionamiento en áreas críticas

No es común la pérdida de energía en el hospital, por esta razón no se realizan pruebas de funcionamiento del generador.

¿Está el generador adecuadamente protegido contra fenómenos naturales? El generador se encuentra dentro de la entidad hospitalaria en un recinto exclusivo, por lo tanto, está debidamente protegido contra fenómenos naturales.

Seguridad de instalaciones ductos y cables eléctricos

En áreas externas y ampliaciones el descuido es evidente, los cables no viajan por encima del cielo falso, se amarran a las ventanas e incluso cuelgan por debajo del cielo falso. En áreas principales como farmacias y hospitalización algunos de los cables están dentro de ductos de PVC y viajan por elementos estructurales y otros están sueltos sin protección alguna. En farmacia se derribó una pared y quedaron cables expuestos que no representan una amenaza que no sea estética, sin embargo, el hecho de derribar paredes sin conocer el cableado interno del hospital, es un claro indicador que no existe información suficiente en cuanto a la red eléctrica del hospital.



Figura 1.30: Cableado

Sistema redundante al servicio local de energía eléctrica

La entidad hospitalaria no cuenta con un sistema redundante al servicio local, en el caso del corte de suministro eléctrico, se enciende el generador que abastece solamente áreas críticas como quirófanos.

Sistema con tablero de control e interruptor de sobrecarga y cableado debidamente protegido

Existe un tablero de control del generador, sin embargo, empezó a funcionar en el año de 1979, es decir, cuando el hospital Paute abrió sus funciones al público, desde entonces no se ha cambiado, en gran parte debido a que no es muy frecuente la pérdida de suministro eléctrico en la entidad hospitalaria.



Figura 1.31: Tablero de control

Sistema de iluminación en sitios claves del hospital

Los sitios clave como quirófanos y emergencia tienen un buen sistema de iluminación, el generador trabaja exclusivamente para esos sitios en el caso de pérdida de abastecimiento eléctrico.

Sistemas eléctricos externos, instalados dentro del perímetro del hospital

No existen subestaciones eléctricas o transformadores que proveen de energía eléctrica al hospital dentro de su perímetro.

Continuando con la evaluación de líneas vitales dentro del área de dotación de agua se evaluaron los aspectos que se nombran a continuación.

Tanque de agua con reserva permanente suficiente para proveer al menos 300 litros por cama y por día durante 72 horas

El hospital cuenta con un tanque de reserva de 16 m³, que tienen que dotar de agua a 15 camas según la cartera de hospitales del Ministerio de Salud Pública del Ecuador, es decir, 13.5 m³, por lo tanto, el Hospital Paute cumple satisfactoriamente con la reserva de agua necesaria en caso de desastre.

Los depósitos se encuentran en lugar seguro y protegido

Los depósitos se encuentran bajo tierra, sin embargo, se presenta acumulación de agua sobre el depósito, no tiene candados o algún otro tipo de seguridad, es decir, cualquier niño podría retirar la tapa e incluso ahogarse en el reservorio de agua. El nivel de seguridad es bajo.



Figura 1.32: Cisterna

Sistema alternativo de abastecimiento de agua adicional a la red de distribución principal

No existe un sistema altero de aprovisionamiento de agua en el caso que a red principal local falle.

Seguridad del sistema de distribución

Todas las tuberías de distribución funcionan bien, no existen fugas y la presión en buena en todos los puntos de distribución.

Sistema de bombeo alterno

Existe solamente una bomba para el tanque de reserva, si ésta llegase a fallar, no existe otro método para bombear el agua hasta los lugares necesarios en caso de desastre.



Figura 1.33: Sistema de bombeo

Tanques para combustible con capacidad suficiente para un mínimo de 5 días

Solamente existe un recipiente plástico en el cual se almacena diésel para llenar el tanque de combustible del generador de energía eléctrica, este tanque tiene la capacidad de un galón y abastece al recinto por apenas diez horas. El nivel de seguridad es bajo.



Figura 1.34: Tanque de combustible

Anclaje y buena protección de tanques y cilindros

Los cilindros de gas están protegidos mediante una rejilla metálica, además cubiertos de la intemperie por un techo de fibrocemento, esto permite mantener la temperatura en días de altas temperaturas y la ventilación necesaria en caso de fugas. Sin embargo, los cilindros no poseen anclajes que los sostengan durante un movimiento telúrico, por estos motivos su nivel de seguridad es medio.



Figura 1.35: Recinto de gas

Ubicación y seguridad apropiada de depósitos de combustibles

Los cilindros están ubicados en la cocina, es un lugar donde concurren pocas personas, y no es necesario largas tuberías para transportar el combustible por el hecho de estar ubicados por fuera. Además, se encuentra un extintor cerca de los cilindros para actuar ante cualquier emergencia, explosión o incendio.

Seguridad del sistema de distribución (válvulas; tuberías y uniones)

Las válvulas, tuberías y uniones están en buen estado. Otro aspecto importante dentro de líneas vitales son las instalaciones de oxígeno, es importante ubicar las instalaciones y seguir su recorrido, ya que en caso de presentarse un evento sísmico que comprometa un solo lugar de la línea de oxígeno, como la falla de una viga o una mampostería podría desabastecer al hospital, por ello se ha evaluado el sistema de gases medicinales con aspectos como los siguientes.

Almacenaje suficiente para 15 días como mínimo



Figura 1.36: Tanques de oxígeno

Anclaje de tanques, cilindros y equipos

No existen anclajes que garanticen que durante un sismo los cilindros de oxígeno se mantengan de pie. El nivel de seguridad es bajo.



Figura 1.37: Falta de anclaje en los tanques de oxígeno

Fuentes alternas disponibles de gases medicinales

No existen fuentes alternas de gases medicinales.

Ubicación apropiada de los recintos.

Los recintos de gases medicinales colindan con los consultorios que, de la misma forma que la cocina en el caso de cilindros de gas, son lugares de poca concurrencia; por esta razón su nivel de seguridad es alto.

Seguridad del sistema de distribución (válvulas; tuberías y uniones)

Las tuberías son de cobre, identificadas con color verde y viajan encima del techo falso suspendidas, a diferencia de los cables de electricidad, las uniones y las tuberías se encuentran en buen estado, por lo tanto, su nivel de seguridad es alto.



Figura 1.38: Válvula de oxígeno

Protección de tanques y/o cilindros y equipos adicionales

Los tanques están protegidos mediante una rejilla metálica, además cubiertos de la intemperie por un techo de fibrocemento, esto permite mantener la temperatura en días de altas temperaturas y la ventilación necesaria en caso de fugas. Por estos motivos su nivel de seguridad es alto.

Seguridad apropiada de los recintos

Se cuenta con un área exclusiva para almacena gases medicinales, junto al recinto se encuentra un extintor para actuar en caso de incendios. Además de la debida señalización.



Figura 1.39: Extintor, recinto de oxígeno

Para finalizar con la evaluación de la parte no estructural de la entidad hospitalaria se procedió a evaluar los elementos arquitectónicos, dentro de los mencionados elementos se evaluaron los siguientes aspectos.

Condición y seguridad de puertas o entradas

En el área de cocina la puerta se encuentra trabada, es de vital importancia reparar la puerta porque es la única manera de salir del lugar en caso de desastre, el techo falso presenta grietas muy considerables y esto a su vez ocasiona que el personal, ejerza sus funciones con temor.

Condición y seguridad de ventanales

Los ventanales del área de residencia de médicos están protegidos por estructuras metálicas entrecruzadas, estas estructuras se utilizan comúnmente como protección contra la delincuencia, sin embargo, si se presentase un sismo, incendio, explosión o

cualquier otra amenaza en el trayecto entre la residencia de médicos y la salida de emergencia más cercana, lamentablemente el personal médico quedaría atrapado en el lugar de residencia.

Condición y seguridad de otros elementos de cierre (muros externos, fachada, etc.)

Absolutamente todas las fachadas y muros perimetrales se encuentran en excelente estado, existen pequeñas grietas en mamposterías, mas no en elementos estructurales.



Figura 1.40: Prueba de ultrasonido

Condición y seguridad de techos y cubiertas

El techo falso en el área de cocina se encuentra en muy malas condiciones, las cubiertas en todo el hospital muestran claras señales de desgaste.

Condición y seguridad de cercos y cierres perimétricos

Los cercos son de malla de alambre y se encuentran en buen estado, no existen personas que transiten cerca de ellos porque se encuentran en la parte superior de los taludes que rodean el hospital por el norte y el este, por lo tanto, no representan un peligro latente para las personas.

Condición y seguridad de áreas de circulación externa

Existen vías para el tránsito de ambulancias y parqueaderos para el personal autorizado, sin embargo, en muchas ocasiones se da prioridad al aparcamiento de vehículos y se reduce considerablemente la sección para la libre circulación de personas en las vías internas de la entidad hospitalaria.



Figura 1.41: Circulación clínica

Condición y seguridad de áreas de circulación interna (pasadizos, elevadores, escaleras, salidas, etc.)

El pasillo de circulación que conecta la residencia del personal médico con la salida de emergencia más cercana, ubicada en el área de hospitalización consta de dos pasillos largos y dos puertas, una gran parte del primer pasillo está ocupada con archivos que dificultan de sobremanera el tránsito libre de personas y en una situación de desastre podría generar pánico.

Condición y seguridad de particiones o divisiones internas

Todas las paredes divisorias del Hospital Paute se encuentran en buen estado, no se registran fisuras ni deterioro.

Condición y seguridad de cielos falsos o rasos

El área crítica en referencia a cielos rasos es indudablemente el área de cocina, las grietas allí presentes generan desconfianza y en una situación de desastre probablemente podrían generar pánico.



Figura 1.42: Grietas en el cielo raso de cocina

Condición y seguridad del sistema de iluminación interna y externa

El sistema de iluminación interna es realmente eficiente, no se han registrado problemas de iluminación sobre todo en las áreas más importantes como quirófanos y emergencias.

Condición y seguridad del sistema de protección contra incendios

No existe un sistema de protección contra incendios que conste de aspersores o sensores de humo, sin embargo, en los lugares más propensos a incendios se encuentran gabinetes contra incendios.

Condición y seguridad de escaleras

El hospital cuenta con una sola planta en casi toda su extensión, el área de vacunación es la única en todo el hospital que se compone de dos plantas, las escaleras tienen el ancho suficiente para el número de personas que se encuentra en el segundo piso que en los casos más desfavorables suele ser de solamente cuatro personas, por tal motivo el nivel de seguridad es alto.

Condición y seguridad de las cubiertas de los pisos

Los pisos son cubiertos mediante baldosas que pueden tornarse resavaladizas cuando se han limpiado con agua y detergente, sin embargo, cuando esto sucede se colocan señales de aviso de piso mojado, no existen agrietamientos y en general el nivel de seguridad es alto.

Condición de las vías de acceso al hospital

Las vías de acceso al hospital presentan un sinnúmero de baches, muchos vehículos se estacionan a ambos lados de la vía dificultando la libre circulación a la ambulancia, solamente existe una vereda y colinda con el hospital una quebrada profunda. Por estas razones el nivel de seguridad es bajo.



Figura 1.43: Condición de vías de acceso

Dentro de la determinación de la capacidad funcional del Hospital Paute, y con la colaboración de la Doctora Andrea Llivicura, encargada de la gestión de riesgos, se establece que:

- Se ha asignado oficialmente a todos los integrantes del comité y cada uno conoce sus responsabilidades, sin embargo, se evaluará el cabal cumplimiento de los funcionarios cuando se realicen los respectivos simulacros.
- No existe un espacio físico para el centro de operaciones de emergencia, evidentemente el presupuesto y los problemas actuales no lo permiten, por lo tanto, se usa la dirección del Hospital que no cuenta con mapas de los centros poblados, fax o línea telefónica directa.
- La centralilla del Hospital no funciona dentro del sistema de comunicación interna y externa del Hospital.
- El COE no cuenta con sistemas de comunicación alterna, además de los teléfonos celulares y el directorio telefónico se encuentra en proceso de actualización, hasta el momento se han actualizado la mitad de los registros telefónicos.
- Las tarjetas de acción han sido impresas para cada trabajador, sin embargo, se planea entregarlas en las capacitaciones del mes de agosto.

Analizando el plan operativo para desastres internos o externos se ha informado que se requieren recursos para poner en marcha un plan eficaz, sin embargo, no es

la principal preocupación de las autoridades que asignan los recursos, evidentemente la principal causa de la falta de recursos es la crisis generada dentro del territorio ecuatoriano por la caída del precio del petróleo, además del terremoto producido el 16 de abril que afectó masivamente las provincias de Manabí y Esmeraldas, sin embargo, debería pensarse en invertir en procesos de prevención ante desastres.

Dentro del plan existente se establece el procedimiento de expansión de áreas críticas, sin suministro de electricidad o agua potable, tampoco contempla el historial clínico, en el área de estadística existen grandes estantes que contienen documentos físicos, es necesario actualizar la manera de guardar información. Debería pensarse en procesos de digitalización.

Finalmente se indicó que el Hospital no cuenta con una morgue propia y se aprovechan las instalaciones del cementerio municipal.

Al final los resultados discretizados son los siguientes:



Figura 1.44: Seguridad Estructural ISH



Figura 1.45: Seguridad No Estructural ISH



Figura 1.46: Seguridad Funcional ISH

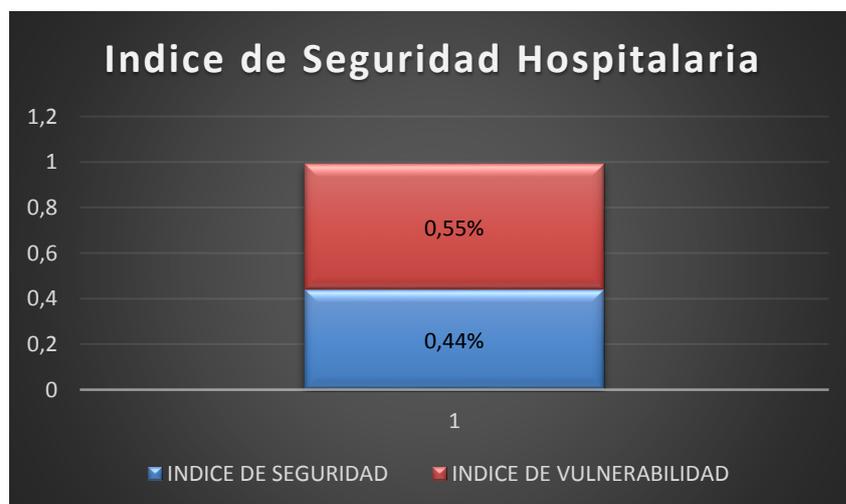


Figura 1.47: Índice de Seguridad Hospitalaria

La clasificación del establecimiento de salud es tipo B, sin embargo, es necesario tener presente que se encuentra en el límite con el tipo C.

Como se ha visto desde el principio, el Hospital requiere medidas a corto plazo, los niveles de seguridad pueden potencialmente poner en riesgo tanto a los pacientes como al personal durante y luego de presentarse un desastre.

CAPÍTULO 2

ESTUDIO DE SUELO DE CIMENTACIÓN

El ensayo de penetración estándar realizado por el Ingeniero Franklin Ordóñez en el Hospital Paute, trata de establecer la composición del subsuelo y las características físico-mecánicas generales de los materiales que sirven de soporte a las estructuras existentes.

Se efectuaron varios recorridos al área del proyecto con la finalidad de identificar posibles zonas inestables, dando atención preferencial a las áreas donde se podrían presentar hundimientos y/o afloramiento de aguas por infiltración, se realizó toma de datos y análisis de posibles causas que podrían estar generando inestabilidades.

A más de los recorridos realizados, se procedió a realizar un sondeo de 5.50 metros de profundidad mediante la utilización de equipo de perforación por percusión, el mismo que sirvió para realizar ensayos SPT a diferentes profundidades.

Luego se procedió con la recopilación y análisis de la documentación disponible para el estudio, procesamiento de datos obtenidos en el campo y elaboración de informes.

2.1. Investigación de campo

EL hospital se encuentra asentado sobre depósitos piroclásticos, principalmente cenizas volcánicas poco diferenciados pertenecientes posiblemente a la formación Tarqui de edad cuaternaria. El área se encuentra próxima a una zona de contacto con depósitos pertenecientes a la serie metamórfica de Paute principalmente con los de la Unidad Maguazo del cretácico superior constituido básicamente por filitas, micaesquistos, pizarras y cuarcitas.

Geotécnicamente los suelos encontrados en el sondeo lo constituyen limos inorgánicos de comportamiento friccionante, de mediana compresibilidad y plasticidad, de compacidad que varía de media para los tres primeros metros de profundidad y luego

se incrementa a densa por debajo del mismo considerando el nivel actual del terreno. No se pudo determinar nivel freático hasta la profundidad alcanzada en el sondeo.

2.2. Selección de parámetros para cálculos geotécnicos

Tabla 2.1: Ángulo de fricción interno, densidad y módulo de elasticidad de los depósitos

DEPÓSITO	Ángulo de fricción interno ϕ (°)	Densidad húmeda γ (Kn/m ³)	Módulo de elasticidad E (Kg/cm ²)
Hasta 2.50m de prof.	30.00	15.00	80.00
Hasta 3.50m de prof.	33.00	16.50	102.50
Hasta 4.50m de prof.	38.00	17.00	165.00
Hasta 5.50m de prof.	43.00	18.00	222.50

2.3. Determinación de la capacidad soportante

Para el cálculo de la capacidad de carga admisible $q_{adm.}$, en los suelos con comportamiento cohesivo se utilizó el criterio dado por Terzaghi y Peck para falla local considerando los factores utilizados por VESIC para plintos aislados o cimentación directa, con un factor de seguridad de 3.:

$$Q_u = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + 0.5\gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad (1)$$

Donde:

C: Cohesión a la profundidad de cimentación (valores reducidos).

q: esfuerzo efectivo al fondo de la cimentación.

g: peso específico del suelo.

B: ancho de la cimentación.

$F_{cs}; F_{qs}; F_{\gamma s}$ Factores de forma de la cimentación.

$$F_{cs} = \frac{B N_q}{L N_c} \quad (2)$$

$$F_{qs} = 1 + \frac{B}{L} \tan(\phi) \quad (3)$$

$$F_{\gamma s} = 1 - 0.40 \frac{B}{L} \quad (4)$$

$F_{cd}; F_{qd}; F_{\gamma d}$ Factores de profundidad

$$F_{cd} = 1 + 0.4 \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B} \right) \quad (5)$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan(\phi) (1 - \sin \phi)^2 \tan^{-1} \frac{D_f}{B} \quad (6)$$

$F_{ci}; F_{qi}; F_{\gamma i}$ Factores de inclinación =1

$N_c; N_q; N_\gamma$ Factores de capacidad de carga que vienen dados por las siguientes expresiones (Vesic):

$$N_q = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) e^{p \tan \phi} \quad (7)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (8)$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi \quad (9)$$

Los módulos de elasticidad, fueron calculados mediante las siguientes expresiones:

Limos y Arcillas $E_s = 60 + 1.5 N_{SPT} \quad (10)$

Para arenas $E_s = 5(5 + N_{SPT}) \quad (11)$

De los datos obtenidos de laboratorio para los suelos y del respectivo cálculo, a continuación, se presentan los valores de capacidad soportante admisible para cimentación corrida de 0.40 m de ancho por 10 m de longitud, que corresponde al tipo de cimentación mayoritariamente empleada en la construcción.

Tabla 2.2: Capacidad admisible del suelo

PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN (m)	Qadm (Kn/m²)	Qadm (Ton/m²)
1.00	74.28	7.57
1.50	107.20	10.93
2.00	143.37	14.61
2.50	239.00	24.36

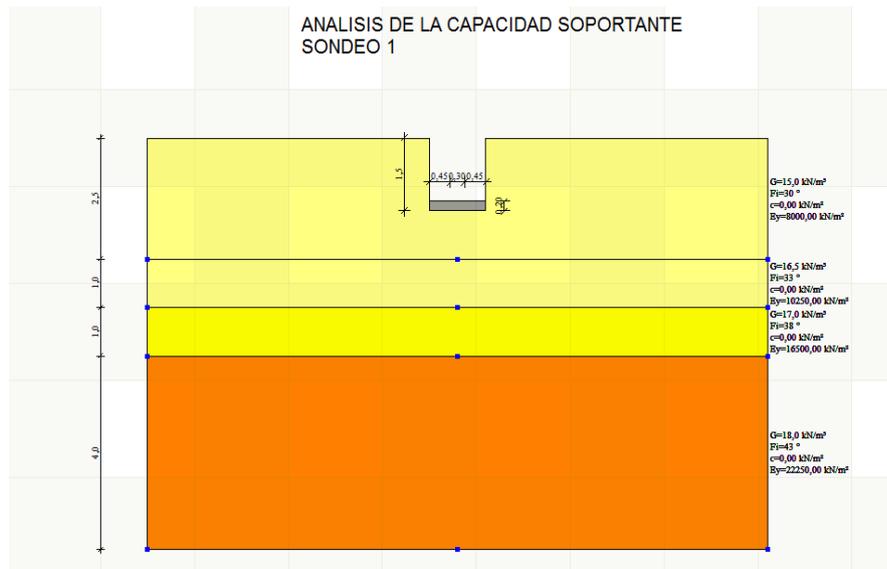


Figura 2.1: Capacidad soportante por estratos

2.4. Determinación de asentamientos

Dada la característica de los estratos, los asentamientos son de carácter secundario a más de los producidos por deformación elástica o inmediata.

Para el cálculo de asentamientos inmediatos a volumen constante en suelos saturados ($\nu = 0,35$), se aplica la expresión.

$$S_i = q \cdot B \cdot l_u (1 - \nu^2) / E_u \quad (12)$$

Donde:

- q Presión transmitida por la fundación.
- B Ancho máximo de la cimentación.
- L Largo máximo de la cimentación.
- D_f Profundidad de desplante.
- l_u Coeficiente de influencia ($l_u = u_1 \times u_2$).
- ν Módulo de Poisson $\approx 0,35$
- E_u Módulo de elasticidad.

Para cimentación continua (muro de mampostería+vigas de hormigón armado).

Tabla 2.3: Asentamientos

PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN (m)	Asentamiento al borde del cimiento (mm)	Asentamiento al centro del cimiento (mm)
1.00	0.78	2.92
1.50	1.03	3.86
2.00	1.27	4.75
2.50	1.63	6.12

2.5. Conclusiones

Los materiales encontrados corresponden a depósitos de ceniza volcánica de edad cuaternaria. Geotécnicamente corresponde a limos inorgánicos de mediana compresibilidad y plasticidad, de compacidad media hasta los tres metros de profundidad, catalogados por la SUCS como ML. No se pudo determinar el nivel freático hasta la profundidad alcanzada en el sondeo. En virtud del comportamiento friccionante del suelo serán netamente de características elásticas, y serán inferiores a 7 mm. Se deberá dar una adecuada evacuación de las aguas lluvias para evitar infiltración al suelo, ya que la misma afecta negativamente a la capacidad admisible del suelo de fundación. Se deberá recolectar mediante canaletas las aguas lluvias de los techados y vertidos al colector público.

CAPÍTULO 3

AGRUPACIÓN Y MODELACIÓN DE CARGAS

Para determinar los criterios de diseño considerados en la construcción del Hospital Paute es necesario acudir al código Ecuatoriano de Construcción del Año 1977, cuya función primordial fue velar por la seguridad del público y evitar las fallas principales en la construcción que ocasionaban pérdidas de vidas y propiedades.

Luego del terremoto ocurrido en Ambato el 5 de agosto de 1949 cuyo epicentro exacto se ubicó en una falla al sur del Nido Sísmico de Pisayambo, aproximadamente a 20 km al noreste de la localidad de Pelileo y cuya magnitud fue de 6.8 en la escala de Richter a una profundidad menor a 15 km y de la cual, investigaciones realizadas por José Egred, aseguran que dejó más de 6 000 muertos; alrededor de 100 000 personas sin hogar y un área afectada de 1 920 km² con un porcentaje de destrucción por ciudades de: Pelileo 100%, Píllaro 90%, Guano 80% y Ambato 75%. (Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional) el gobierno nacional emitió un Código Nacional de la Construcción en 1951, fue calificado como obligatorio para todo el país en 1952.

Sin embargo, debido a la introducción del hormigón armado como material de construcción llamado a reemplazar a la madera y caña guadua por ofrecer mejores características de resistencia ante fuerzas estáticas y dinámicas, pero que es poco elástico y casi siempre llega a una destrucción total cuando se sobrepasan las últimas resistencias, aspecto detectado durante la investigación de los efectos producidos por el terremoto de Esmeraldas ocurrido en abril de 1976, en el cual algunos edificios de hormigón armado se vieron bastante afectados, no así las construcciones antiguas de madera y caña guadua, se preparó un nuevo Código Oficial CEC- 1977, basado en el documento ACI 318-71 (*American Concrete Institute-Detroit-Michigan*) con circunstancias concretas del Ecuador muchas veces criticadas.

3.1. Cargas gravitacionales

3.1.1. Cargas vivas de uso

La carga viva en cubiertas planteada en el Código Ecuatoriano de la Construcción de 1977 sobreestima 5 kg/m² en cubiertas inclinadas, ya que la Norma Ecuatoriana de Construcción plantea una carga viva de 70 kg/m² para cubiertas planas inclinadas y curvas, en la tabla 9 de la sección 4.2 del capítulo de cargas no sísmicas. Por lo tanto, es posible afirmar que para diseñar los elementos estructurales del hospital básico Paute se consideró una carga viva de cubierta de 75 kg/m², sin embargo, no se realizaron estudios de suelos para la cimentación, la profundidad de desplante fue de 1.5 m.

Tabla 3.1: Sobrecarga mínima de acuerdo al uso

Ocupación o Uso	Carga Uniforme (kN/m ²)
Cubiertas planas, inclinadas y curvas	0,7

Fuente: NEC-14

Además de la carga viva, en cubierta en regiones mayores a 1500 msnm, la norma ecuatoriana de la construcción exige considerar la carga de granizo mediante la siguiente ecuación:

$$S = \rho_s * H_s \quad (1)$$

Donde:

ρ_s : Peso específico del granizo (en defecto: 1000 Kg/m³)

H_s : Altura de acumulación (m)

Tabla 3.2: Sobrecarga mínima de acuerdo al uso

CATEGORÍA		Carga uniformemente distribuida en kg/m ²		Carga concentrada sobre una superficie de 0,5x0,5 m ² ; esta carga es única sobre cualquier lugar. Pisos, escaleras, terrazas, corredores, rampas.
		Pisos	Escaleras, balcones, terrazas, galerías, corredores.	
I	Viviendas	200	300	300
II	Escuelas, oficinas hospitales, hoteles.	250	400	1000
III	Almacenes, tiendas, talleres residenciales, garajes particulares.	300	300	1000
IV	Talleres, fábricas, bodegas.	400	300	1000 y según especificaciones especiales
V	Garajes públicos.	400	300	1000
VI	Supermercados, restaurantes, iglesias, museos, salas de educación física.	400	400	3000
VII	Salas de baile, conciertos, reuniones, cinemas, tribunas con sillas fijas, bibliotecas.	400	400	1000
VIII	Tribunas sin sillas fijas.	500	400	1000
IX	Techos de invernaderos y edificios agrícolas	50		1000
X	Techos planos.	100		a considerar las cargas de viento
XI	Techos con pendientes mayores 1:3	75	(cargas verticales)	acceso únicamente para servicio

Fuente: CEC-77

El motivo principal para analizar la carga considerada en cubierta es que el Hospital Paute tiene una sola planta en su extensión.

Para calcular los efectos de las fuerzas sísmicas en combinación con las cargas verticales, se consideraban los esfuerzos de la carga muerta más la carga viva de diseño a excepción de la carga viva de techo. Se calculaba para la carga más grande o la más desventajosa de estos dos tipos, según el uso determinado.

3.1.2. Cargas muertas y permanentes

De igual forma es necesario comparar las cargas muertas y de peso propio consideradas en la etapa de planificación de la edificación hospitalaria frente a las cargas planteadas en la norma de construcción actual.

Para el cálculo del peso propio de la estructura es necesario analizar la densidad o peso específico de los materiales utilizados, para lo cual el código ecuatoriano de la construcción de construcción de 1977 propuso la siguiente tabla

Tabla 3.3: Densidades de materiales de construcción

Material	Tensión de rotura kg/cm ²	Densidad kg/m ³	Resistencia-peso
Bambú	1400	800	1,75
Madera Laminada	400	500	0,8
Aluminio	1900	2700	0,7
Madera Seleccionada	300	500	0,6
Acero	4400	7800	0,56
Madera Común	200	500	0,4
Hormigón Armado	370	2300	0,16
Ladrillo reforzado	200	1800	0,11
Ladrillo o bloques huecos	15	800	0,02
Adobe	0,1	1800	0,00005

Fuente: CEC-77

Mientras la norma actual es su tabla 8 de pesos unitarios de materiales de construcción propone lo siguiente.

Tabla 3.4: Densidades de materiales de construcción

MATERIAL	kN/m³
Baldosa cerámica	18.0
Hormigón simple	22.0
Hormigón armado	24.0
Ladrillo cerámico prensado (0 a 10% de huecos)	19.0
Ladrillo artesanal	16.0
Bloque hueco de hormigón alivianado	8.5
Cemento compuesto y arena 1:3 a 1: 5	20.0
Acero	78.5
Aluminio	27.0
Zinc	72.0
Vidrio plano	26.0
G. Contrapisos y recubrimientos	kN/m²
Baldosa de cerámica, con mortero de cemento: por cada cm, de espesor	0.20
Contrapiso de hormigón ligero simple, por cada cm, de espesor	0.16
Contrapiso de hormigón simple, por cada cm, de espesor	0.22
H. Cielorrasos y Cubiertas	kN/m²
De yeso sobre listones de madera (incluidos los listones)	0.20
De mortero de cemento compuesto de cal y arena	0.55
Plancha ondulada de fibrocemento: de 8 mm de espesor	0.20
de 6 mm de espesor	0.15

Fuente: NEC-14

Para obtener el peso muerto de la estructura es necesario analizar los principales materiales de los que está compuesta, así como sus cantidades de obra, los principales cambios de pesos específicos desde el código de construcción de 1977 y la norma de construcción del 2011 son el hormigón armado y el ladrillo reforzado

(ladrillo panelón), sufriendo un aumento de 100 gramos por cada metro cúbico de material.

3.2. Cargas accidentales

3.2.1. Cargas sísmicas

Es necesario analizar la fuerza sísmica considerada en el primer diseño del Hospital Paute y compararla con la aceleración esperada en la Norma Ecuatoriana de Construcción 2014. El código planteaba en su capítulo 4 (Fuerzas Sísmicas) el coeficiente CS para analizar la interacción entre el suelo, este coeficiente dependía básicamente del período de vibración de la estructura (T) y del período de vibración del suelo (Ts), para ello se describía tres tipos de suelo: lugares firmes compuestos por roca (Ts=0.5), lugares medios compuestos por arena y suelos granulares con drenaje razonable (Ts=1.5) y lugares flojos compuestos por arenas, arcillas y limos con profundidades mayores a 20 metros o mal drenaje, es decir, terrenos pantanosos (Ts=2.5). Mediante una excavación es posible entender que el suelo sobre el cual se emplazó el Hospital Paute se acopla a las características de lugares medios en el Código Ecuatoriano de Construcción de 1977. Según la tabla de ejemplos de coeficientes, una construcción de un solo piso asentada sobre un sitio firme puede asumir un coeficiente CS=0.14.

El siguiente paso para determinar la fuerza sísmica que actúa sobre la edificación es considerar el sistema estructural empleado mediante el coeficiente K, a los sistemas que han tenido comportamiento histórico sobresaliente durante sismos se les ha asignado un valor bajo de K, todo lo contrario, para los sistemas estructurales históricamente débiles. Los valores de K dependiendo del sistema estructural empleado son los siguientes:

- K= 1.00 estructuras de edificios excepto las que se describen a continuación, para cumplir con los requisitos dúctiles el valor asciende a 1.25.
- K= 1.33 sistema de caja, sin un pórtico espacial completo, resistente a cargas verticales. Generalmente aplicación de mampostería soportante donde las fuerzas laterales son resistidas por diafragmas o pórticos arriostrados. Para cumplir con los requisitos dúctiles el valor asciende a 1.65

- $K= 0.80$ edificios con doble sistema de un pórtico espacial resistente a flexión dúctil y diafragmas o pórticos arriostrados. El pórtico resiste por lo menos el 25% de la fuerza lateral.
- $K= 0.67$ pórtico espacial resistente a la flexión dúctil que resiste la totalidad de la fuerza lateral.
- $K= 2.00$ estructuras que no sean edificios, por ejemplo: muros, puentes, vías, etc.

El sistema estructural del hospital paute está compuesto por pórticos espaciales con líneas de resistencia claramente identificadas, por lo tanto, el valor de K que debió asumirse en el momento de su diseño es de 0.8 o 0.67, por seguridad se toma 0.8 para esperar un sismo mayor.

Luego de haber considerado el sistema estructural de la edificación es necesario revisar su importancia mediante el factor I que determina que los servicios esenciales que son construcciones seguras y utilizables después de un terremoto, entre ellas hospitales, en este caso el valor es de $I=1.5$

Finalmente, el último factor a considerar es el peso muerto de la estructura representado por W (*weight*) que indica una vez más que este código incluso utiliza nomenclatura en un idioma diferente al idioma oficial del Ecuador, el factor W representa básicamente el peso muerto de la estructura. El hormigón armado según el código tiene una densidad de 2300 kg/m^3 , el acero de 7800 kg/m^3 y el ladrillo reforzado (ladrillo panelón) de 1800 kg/m^3 .

La fuerza sísmica que actúa sobre la estructura es el resultado de la multiplicación de todos los factores antes mencionados y se representa con la letra V , entonces:

$$V = I \times K \times C_s \times W \quad (2)$$

Evidentemente no existía ningún tipo de zonificación ni mapas de aceleraciones esperadas para cada lugar del país como existe ahora en la Norma Ecuatoriana de Construcción. Por lo tanto, el método para estimar la fuerza sísmica es diferente entre los dos códigos antes mencionados.

La Norma Ecuatoriana de Construcción 2014 en su capítulo II referente a Peligro Sísmico propone un método para determinar el espectro de respuesta en función del período de vibración. Dicho espectro obedece a la fracción de amortiguamiento respecto al crítico de 5%, se obtiene mediante las siguientes ecuaciones que pertenecen a dos rangos del período de vibración estructural.

El primer rango indica el espectro cuando el valor del período de vibración estructural varía entre 0 y el valor del período límite de vibración en el espectro sísmico elástico y el segundo rango indica que el valor del periodo de vibración ha superado el valor del período límite.

Ahora bien, el primer paso para elaborar el espectro de respuesta o diseño es determinar el lugar donde se va a emplazar o se ha emplazado la estructura, para obtener un valor del coeficiente Z de aceleración sísmica esperada que para el caso particular de Paute es de 0.25g.

El segundo paso es determinar el tipo de suelo sobre el cual descansa la estructura, que para el caso particular del hospital básico paute según es ensayo de suelos a una profundidad de 1.5 m soporta 100.93 kPa, por lo tanto, según la norma el tipo de perfil de suelo es D.

Resulta crucial la obtención de estos dos factores de aceleración esperada y tipo de suelo, ya que los demás coeficientes de amplificación debido a: suelo en la zona de periodo corto (F_a), espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseños en roca (F_d) y al comportamiento no lineal de los suelos (F_s) están determinados en función del tipo de perfil y la zona sísmica. Los valores obtenidos para el tipo de suelo y la zona sísmica sobre la cual se ha emplazado el Hospital Paute son los siguientes:

- F_a : 1.4
- F_d : 1.45
- F_s : 1.06

Tabla 3.4: Tipo de suelo y factores de sitio Fa

Tipo de perfil de suelo	Zona Sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45
A	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
B	1	1	1	1	1	1
C	1,4	1,3	1,25	1,23	1,2	1,18
D	1,6	1,4	1,3	1,3	1,2	1,12
E	1,8	1,4	1,25	1,1	1	0,85

Fuente: NEC-14

Tabla 3.5: Tipo de suelo y factores de sitio Fd

Tipo de perfil de suelo	Zona Sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45
A	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
B	1	1	1	1	1	1
C	1,36	1,28	1,19	1,15	1,11	1,06
D	1,62	1,45	1,36	1,28	1,19	1,11
E	2,1	1,75	1,7	1,65	1,6	1,5

Fuente: NEC-14

Tabla 3.6: Tipo de suelo y factores del comportamiento inelástico del subsuelo Fs

Tipo de perfil de suelo	Zona Sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45
A	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
B	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
C	0,85	0,9	1,02	1,06	1,11	1,23
D	1,02	1,06	1,11	1,19	1,28	1,4
E	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2

Fuente: NEC-14

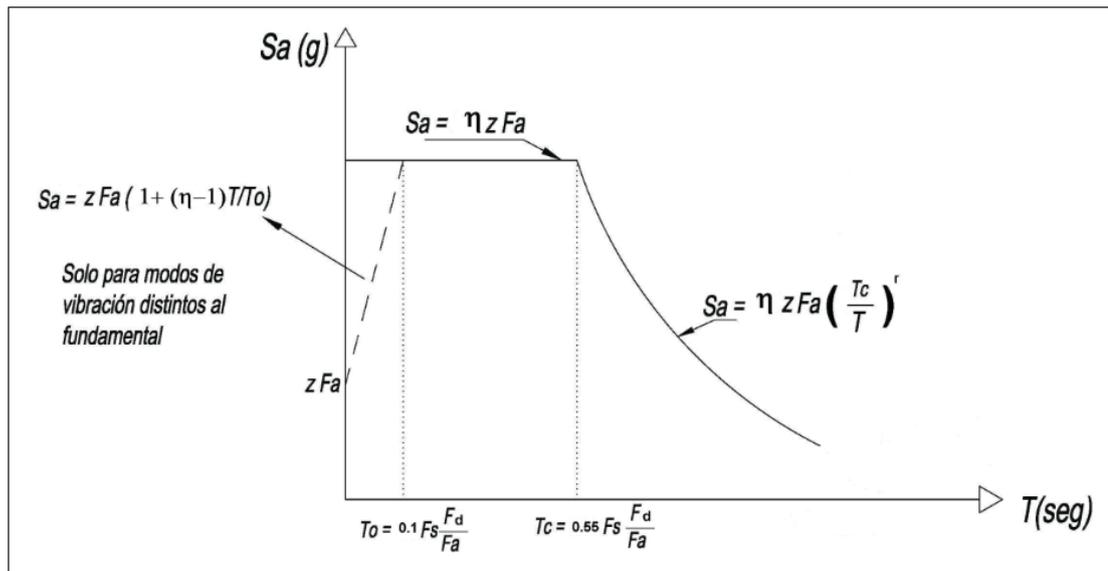


Figura 3.1: Espectro elástico horizontal de diseño de aceleraciones

Fuente: NEC-14

Dónde:

η : razón entre la aceleración espectral S_a ($T = 0.1$ s) y el PGA para el período de retorno seleccionado. Para las provincias de la sierra el valor asignado es de 2.48, también para Esmeraldas y Galápagos.

F_a : coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período cortó. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.

F_d : coeficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.

F_s : coeficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos.

Sa: espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del período o modo de vibración de la estructura.

T: período fundamental de vibración de la estructura.

T0: período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

TC: período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

Z: aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño.

El factor de importancia para hospitales en la Norma actual es de 1.5, exactamente igual al valor del código de construcción del año 1977.

Tabla 3.7: Tipo de suelo, destino e importancia de la estructura

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coefficiente
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias.	1,5

Fuente: NEC-14

Debido a que la configuración en planta del Hospital Paute no es regular, la Norma Ecuatoriana de Construcción 2014 recomienda utilizar el procedimiento de cálculo dinámico, que permite incorporar efectos torsionales y de modos de vibración distintos al fundamental.

Luego de elaborar el espectro de diseño es necesario definir ciertos parámetros, entre ellos el período fundamental, este parámetro definirá el valor de S_a (espectro de respuesta elástico), el método simplificado se basa en la siguiente ecuación:

$$T = C_t * h_n^\alpha \quad (3)$$

Donde:

C_t : Coeficiente que depende el tipo de edificio.

h_n : Altura máxima de la edificación, medida desde la base de la estructura, en metros.

α : Coeficiente que depende el tipo de edificio.

Finalmente, el parámetro restante para definir cómo actúa la fuerza sísmica en la estructura es el factor de reducción de resistencia sísmica R , que depende únicamente de la tipología estructural.

Tabla 3.8: Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles

Sistemas Estructurales Dúctiles	R
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	8

Fuente: NEC-14

CAPÍTULO 4

MODELO MATEMÁTICO IDEALIZADO DE LA ESTRUCTURA E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Idealización del modelo de estructura hospitalaria

Para idealizar los modelos estructurales de la Entidad Hospitalaria Paute (Bloque Principal, Laboratorios y Vacunación), se gestionaron planos que brindasen información arquitectónica, con ello se comprobó la concordancia de los planos con las dimensiones reales; estructuralmente se levantaron los ejes de resistencia claramente identificables debido a la presencia de vigas descolgadas, se planteó que existían columnas en todas las intersecciones de los ejes de resistencia, sin embargo, se comprobó mediante la utilización de un escáner de hormigón, los lugares donde no se construyeron columnas. Con ello se puede asegurar que el levantamiento estructural es similar al real.



Figura 4.1: Modelo Virtual BIM

El hospital se construyó en cuatro etapas, las columnas de la primera etapa tienen dimensiones de 30x30 cm, mientras las columnas de la nueva etapa tienen una sección de 20x20. Durante la tercera etapa se construyó el área de odontología y laboratorios, en estructura metálica, la cuarta etapa comprende la única construcción de dos plantas dentro del Hospital, el área de vacunación. Finalmente se obtuvo el siguiente plano donde se especifica un código para cada una de las columnas y vigas de la estructura Hospitalaria. El modelo virtual fue generado en un entorno BIM (*Building Information*

Modeling) en Archicad para su posterior exportación en extensión IFC hacia Cypecad.

4.2. Generación y modelación dinámica estructural del hospital en software especializado

Para la modelación dinámica se consideraron las cargas gravitacionales permanentes, muertas y de uso planteadas en el capítulo III, además de las fuerzas sísmicas esperadas en la zona donde está emplazada la entidad Hospitalaria. Se importó el archivo IFC desde Archicad, se configuraron las normas que rigen la construcción en el territorio ecuatoriano, así como los parámetros de resistencia del suelo y los diámetros de varilla disponibles en el mercado. El principal objetivo fue la comprobación de los elementos estructurales con sus dimensiones y armaduras reales.

4.3. Comprobación del diseño de los diferentes miembros estructurales

Cypecad genera listados detallados de comprobaciones de estados límite últimos (E.L.U.). Los listados E.L.U. contienen todas las comprobaciones que el programa realiza para dimensionar determinados elementos de hormigón, acero, aluminio o madera. Cada comprobación hace referencia a la norma y al artículo que la requiere, o al criterio que se ha tenido en cuenta para realizarla. El detalle de los listados E.L.U. los convierte en documentos esenciales con los que el usuario puede verificar, justificar y optimizar el dimensionamiento de los elementos estructurales analizados. En este caso el objetivo no radica en optimizar el diseño propuesto por Cypecad, solamente se pretende comprobar si el armado real cumple los criterios propuestos por las diferentes normas de construcción (NEC-14, ACI 318-11, AISI).

4.3.1. Criterios de comprobación en elementos de hormigón armado

Disposiciones relativas a las armaduras (ACI 318M-11, Artículos 7.6 y 7.10)

Armadura longitudinal

En elementos a compresión reforzados con espirales o estribos, la distancia libre entre barras longitudinales no debe ser menor de $s_{1,\min}$ (Artículo 7.6.3):

$$s_1 \geq s_{1,\min}$$

Donde:

$$s_1 = 1.5d_b \quad (1)$$

$$s_2 = 40 \text{ mm} \quad (2)$$

$$s_3 = 1.33d_{ag} \quad (3)$$

Siendo:

d_b : Diámetro de la barra más gruesa.

d_{ag} : Tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Estribos

En elementos a compresión reforzados con espirales o estribos, la distancia libre entre refuerzos transversales no debe ser menor de $s_{t,min}$ (Artículo 7.6.3):

$$s_t \geq s_{t,min}$$

Donde:

$s_{t,min}$: Valor máximo de s_1 , s_2 , s_3 .

$$s_1 = 1.5d_{b,t} \quad (4)$$

$$s_2 = 40 \text{ mm} \quad (5)$$

$$s_3 = 1.33d_{ag} \quad (6)$$

Siendo:

$d_{b,t}$: Diámetro de la barra más gruesa de la armadura transversal.

d_{ag} : Tamaño máximo nominal del agregado grueso.

El espaciamiento vertical de los estribos no debe exceder $s_{t,max}$ (Artículo 7.10.5.2):

$$s_t \leq s_{t,max}$$

Donde:

$s_{t,max}$: Valor mínimo de s_1 , s_2 , s_3 .

$$s_1 = 16d_b \quad (7)$$

$$s_2 = 48d_{b,t} \quad (8)$$

$$s_3 = b_{min} \quad (9)$$

Siendo:

d_b : Diámetro de la barra comprimida más delgada.

$d_{b,t}$: Diámetro de la barra más delgada de la armadura transversal.

b_{min} : Menor dimensión del elemento sometido a compresión.

Todas las barras no preesforzados deben estar confinadas por medio de estribos transversales de por lo menos diámetro No. 10, para barras longitudinales No. 32 o menores; y diámetro No. 13 como mínimo, para barras longitudinales No. 36, No. 43 y No. 57 y paquetes de barras (Artículo 7.10.5.1):

$$d_b \leq \text{No. 32} \rightarrow d_{b,t} \geq \text{No. 10}$$

Donde:

d_b : Diámetro de la barra comprimida más gruesa.

$d_{b,t}$: Diámetro de la barra más delgada de la armadura transversal.

Armadura mínima y máxima (ACI 318M-11, Artículo 10.9.1)

El área de refuerzo longitudinal, A_{st} , para elementos no compuestos a compresión no debe ser menor que $0.01 \cdot A_g$ ni mayor que $0.08 \cdot A_g$ (Artículo 10.9.1):

$$A_{st} \geq 0.01A_g \quad (10)$$

$$A_{st} \leq 0.08A_g \quad (11)$$

Donde:

A_g : Área total de la sección de hormigón.

Estado límite de agotamiento frente a cortante (combinaciones no sísmicas) (ACI 318M-11, Artículo 11)

Se debe satisfacer:

$$n = \sqrt{\left(\frac{V_{u,x}}{\phi V_{n,x}}\right)^2 + \left(\frac{V_{u,y}}{\phi V_{n,y}}\right)^2} \leq 1 \quad (12)$$

Donde:

V_u : Esfuerzo cortante efectivo de cálculo.

$\phi \cdot V_n$: Esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma.

Esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma.

Cortante en la dirección X y Y:

Resistencia nominal a cortante en piezas que no requieren refuerzos de cortante, obtenida de acuerdo con el Artículo 11.1.1:

$$V_n = V_c$$

Resistencia al cortante proporcionada por el concreto en elementos no preesforzados sometidos a compresión axial (Artículo 11.2.2.2):

Cuando M_m es negativo, V_c debe calcularse por medio de la ecuación:

$$V_c = 0.29\sqrt{f'_c}b_wd\sqrt{1 + \frac{0.29N_u}{A_g}} \quad (13)$$

Donde:

f'_c : Resistencia específica a compresión del hormigón.

$$\sqrt{f'_c} > 8.3 \text{ Mpa} \quad (14)$$

Siendo:

b_w : Ancho del alma, o diámetro de la sección circular.

d : Distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción.

A_g : Área total de la sección de hormigón.

$$M_m = M_u - N_u \frac{4h-d}{8} \quad (15)$$

Donde:

M_u : Momento mayorado en la sección.

N_u : Carga axial mayorada normal a la sección transversal.

h : Altura de un elemento.

Estado límite de agotamiento frente a cortante (combinaciones sísmicas) (ACI 318M-11, Artículo 11)

Se debe satisfacer:

$$(16)$$

Donde:

V_u : Esfuerzo cortante efectivo de cálculo.

$\phi \cdot V_n$: Esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma.

Esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma.

Cortante en la dirección:

Resistencia nominal a cortante en piezas que requieren refuerzos de cortante, obtenida de acuerdo con el Artículo 11.1.1:

$$V_n = V_c + V_s \quad (17)$$

El refuerzo transversal en la longitud l_o debe diseñarse para resistir el cortante suponiendo $V_c = 0$ cuando la fuerza axial de compresión mayorada, P_u , incluyendo el efecto sísmico es menor que $A_g f'_c / 20$.

$$V_c = 0 \quad (18)$$

Resistencia al cortante proporcionada por el refuerzo de cortante (Artículo 11.4.7):

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} \quad (19)$$

V_s no debe considerarse mayor que (Artículo 11.4.7.9):

$$V_s = 0.66 \sqrt{f'_c} b_w d \quad (20)$$

Donde:

A_v : Área de refuerzo de cortante con un espaciamiento s .

f_{yt} : Resistencia específica a la fluencia f_{yt} del refuerzo transversal.

$$f_{yt} > 420 \text{ MPa} \quad (21)$$

d : Distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción.

s : Separación medida centro a centro del refuerzo transversal, en la dirección paralela al refuerzo longitudinal.

f'_c : Resistencia específica a compresión del hormigón.

$$\sqrt{f'_c} > 8.3 \text{ Mpa} \quad (22)$$

b_w : Ancho del alma, o diámetro de la sección circular.

Separación de las armaduras transversales

Cortante:

El espaciamiento del refuerzo de cortante colocado perpendicularmente al eje del elemento no debe exceder s_{\max} (Artículo 11.4.5):

$$s \leq s_{\max}$$

Donde:

s_{\max} : Valor mínimo de s_1 , s_2 .

$$s_1 = \frac{d}{2} \quad (23)$$

$$s_2 = 600 \text{ mm} \quad (24)$$

Siendo:

d : Distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción.

Cuantía mecánica mínima de la armadura transversal.

Cortante:

Debe colocarse un área mínima de refuerzo para cortante, $A_{v,\min}$, en todo elemento de concreto reforzado sometido a flexión (preesforzados y no preesforzados) (Artículo 11.4.6):

$$A_v \geq A_{v,\min}$$

Donde:

$$A_{v,\min} = 0.062 \sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}} \quad (25)$$

Pero no debe ser menor a:

$$A_{v,\min} = \frac{0.35 b_w s}{f_{yt}} \quad (26)$$

Siendo:

f'_c : Resistencia específica a compresión del hormigón.

$$\sqrt{f'_c} > 8.3 \text{ Mpa} \quad (27)$$

b_w : Ancho del alma, o diámetro de la sección circular.

s: Separación medida centro a centro del refuerzo transversal, en la dirección paralela al refuerzo longitudinal.

f_{yt} : Resistencia específica a la fluencia f_{yt} del refuerzo transversal.

$$f_{yt} > 420 \text{ MPa} \quad (28)$$

Estado límite de agotamiento frente a solicitaciones normales (combinaciones no sísmicas) (ACI 318M-11, Artículo 10)

Se debe satisfacer:

$$n_1 = \sqrt{\frac{P_u^2 + M_{u,x}^2 + M_{u,y}^2}{(\phi P_n)^2 + (\phi M_{n,x})^2 + (\phi M_{n,y})^2}} \leq 1 \quad (29)$$

$$n_2 = \sqrt{\frac{P_u^2 + M_{c,x}^2 + M_{c,y}^2}{(\phi P_n)^2 + (\phi M_{n,x})^2 + (\phi M_{n,y})^2}} \leq 1 \quad (30)$$

$$P_u \leq \phi P_{n,\max}$$

Comprobación de resistencia de la sección (η_1)

P_u, M_u son los esfuerzos de cálculo de primer orden.

P_u : Esfuerzo normal de cálculo.

M_u : Momento de cálculo de primer orden.

$\phi \cdot P_n, \phi \cdot M_n$ son los esfuerzos que producen el agotamiento de la sección con las mismas excentricidades que los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos.

$\phi \cdot P_n$: Axil de agotamiento.

$\phi \cdot M_n$: Momentos de agotamiento.

Comprobación del estado límite de inestabilidad (η_2)

P_u, M_c esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos obtenidos a partir de los de primer orden incrementados para tener en cuenta los efectos de segundo orden a causa de la esbeltez.

P_u : Axil solicitante de cálculo pésimo.

M_c : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$\phi \cdot P_n, \phi \cdot M_n$ son los esfuerzos que producen el agotamiento de la sección con las mismas excentricidades que los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos.

$\phi \cdot P_n$: Axil de agotamiento.

$\phi \cdot M_n$: Momentos de agotamiento.

En el eje “x” y “y”:

No se permite ignorar los efectos de esbeltez en elementos a compresión que satisfacen (Artículo 10.10.1):

$$\frac{kl_u}{r} > 22 \quad (31)$$

Donde:

kl_u : Longitud efectiva.

r : Radio de giro de la sección transversal de un elemento en compresión.

Los elementos a compresión deben diseñarse para la fuerza axial mayorada P_u y para el momento magnificado por los efectos de curvatura del elemento, M_c (Artículo 10.10.6):

$$P_u = P_u \quad (32)$$

$$M_c = \delta M_2 \quad (33)$$

Donde:

$$M_2 = M_u \geq M_{2,\min} \quad (34)$$

Siendo:

$$M_{2,\min} = P_u(0.015 + 0.03h) \quad (35)$$

h : Altura de un elemento.

$$\delta_{ns} = \frac{1}{1 - \frac{P_u}{0.75P_c}} \geq 1 \quad (36)$$

Siendo:

$$P_c = \frac{\pi^2 0.25 E_c I_g}{(kl_u)^2} \quad (37)$$

Donde:

E_c : Módulo de elasticidad del concreto.

I_g : Momento de inercia de la sección bruta del elemento con respecto al eje que pasa por el centroide, sin tener en cuenta el refuerzo.

kl_u : Longitud efectiva.

Comprobación de resistencia axial de diseño

La fuerza axial mayorada P_u de elementos en compresión no debe tomarse mayor que $\phi \cdot P_{n,max}$ (Artículo 10.3.6).

(38)

Siendo:

f'_c : Resistencia específica a compresión del hormigón.

f_y : Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo.

A_g : Área total de la sección de hormigón.

A_{st} : Área total de refuerzo longitudinal no preesforzado.

Cálculo de la capacidad resistente

El cálculo de la capacidad resistente última de las secciones se efectúa a partir de las hipótesis generales siguientes (Artículo 10.2):

- a) El diseño por resistencia de elementos sometidos a flexión y cargas axiales debe satisfacer las condiciones de equilibrio y de compatibilidad de deformaciones.
- b) Las deformaciones unitarias en el refuerzo y en el concreto deben suponerse directamente proporcionales a la distancia desde el eje neutro.
- c) La máxima deformación unitaria utilizable en la fibra extrema sometida a compresión del concreto se supone igual a 0.003.
- d) El esfuerzo en el refuerzo cuando sea menor que f_y debe tomarse como E_s veces la deformación unitaria del acero. Para deformaciones unitarias mayores que las correspondientes a f_y , el esfuerzo se considera independiente de la deformación unitaria e igual a f_y .
- e) La resistencia a la tracción del concreto no debe considerarse en los cálculos de elementos de concreto reforzado sometidos a flexión y a carga axial.
- f) La relación entre la distribución de los esfuerzos de compresión en el concreto y la deformación unitaria del concreto se debe suponer rectangular, trapezoidal, parabólica o de cualquier otra forma que dé origen a una predicción de la resistencia que coincida con los resultados de ensayos representativos.

El diagrama de cálculo tensión-deformación del hormigón es del tipo parábola rectángulo. No se considera la resistencia del hormigón a tracción.

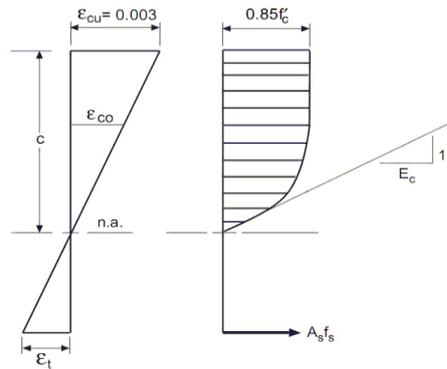


Figura 4.2: Tensión-deformación en hormigón
Fuente: ACIM 318M-11

f'_c : Resistencia específica a compresión del hormigón.

ϵ_{cu} : Máxima deformación unitaria utilizable en la fibra extrema de concreto a compresión.

ϵ_{co} : Deformación unitaria bajo carga máxima.

Se adopta el siguiente diagrama de cálculo tensión-deformación del acero de las armaduras pasivas.

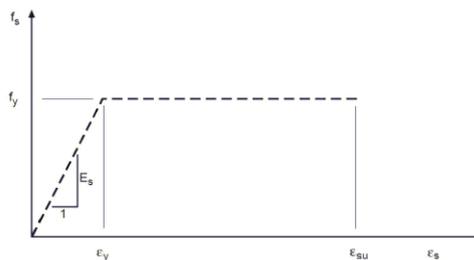


Figura 4.3: Tensión-deformación en acero
Fuente: ACI 318M-11

Criterios de diseño por sismo (ACI 318M-11, Artículo 21)

Geometría

La dimensión menor de la sección transversal, medida en una línea recta que pasa a través del centroide geométrico, no debe ser menor de 300.00 mm (Artículo 21.6.1.1):

$$b \geq 300 \text{ mm}$$

(39)

Donde:

b: Dimensión menor de la sección del soporte.

La relación entre la dimensión menor de la sección transversal y la dimensión perpendicular no debe ser menor que 0.4 (Artículo 21.6.1.2):

$$\frac{b}{h} \geq 0.4 \quad (40)$$

Donde:

b: Dimensión menor de la sección del soporte.

h: Dimensión mayor de la sección del soporte.

Armadura longitudinal

El área de refuerzo longitudinal, A_{st} , no debe ser menor que $0.01 \cdot A_g$ ni mayor que $0.06 \cdot A_g$ (Artículo 21.6.3.1):

$$A_{st} \geq 0.01A_g \quad (41)$$

$$A_{st} \leq 0.06A_g \quad (42)$$

Donde:

A_g : Área total de la sección de hormigón.

Armadura transversal

El área total de la sección transversal del refuerzo de estribos cerrados de confinamiento rectangulares, A_{sh} , no debe ser menor que $A_{sh,min}$ (Artículo 21.6.4.4):

En los ejes X y Y:

$$A_{sh} \geq A_{sh,min}$$

Donde:

$A_{sh,min}$: Valor máximo de A_{sh1} , A_{sh2} .

$$A_{sh1} = 0.3 \frac{s b_c f_c}{f_{yt}} \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \quad (43)$$

$$A_{sh2} = 0.09 \frac{s b_c f_c}{f_{yt}} \quad (44)$$

Siendo:

s : Separación medida centro a centro del refuerzo transversal, en la dirección paralela al refuerzo longitudinal.

b_c : Dimensión transversal del núcleo del elemento medida entre los bordes externos del refuerzo transversal.

f'_c : Resistencia específica a compresión del hormigón.

f_{yt} : Resistencia específica a la fluencia f_{yt} del refuerzo transversal.

A_g : Área total de la sección de hormigón.

A_{ch} : Área de la sección transversal de un elemento estructural, medida entre los bordes exteriores del refuerzo transversal.

La separación del refuerzo transversal a lo largo de l_o del elemento no debe exceder

$S_{o,max}$ (Artículo 21.6.4.3):

$$S_o \leq S_{o,max}$$

Donde:

$S_{o,max}$: Valor mínimo de S_{o1} , S_{o2} , S_{o3} .

$$S_{o1} = \frac{b_{min}}{4} \quad (45)$$

$$S_{o2} = 6d_b \quad (46)$$

$$S_{o3} = 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \quad (47)$$

Siendo:

b_{min} : Menor dimensión del elemento sometido a compresión.

d_b : Diámetro de la barra comprimida más delgada.

h_x : Espaciamiento máximo horizontal, medido centro a centro, entre ganchos suplementarios o ramas de estribos cerrados de confinamiento en todas las caras de la columna.

El espaciamiento de los ganchos suplementarios o ramas con estribos de confinamiento rectilíneos, h_x , dentro de una sección del elemento no debe exceder de 350 mm centro a centro (Artículo 21.6.4.2):

En los ejes X y Y:

$$h_x \leq 350 \text{ mm} \quad (48)$$

Donde:

h_x : Espaciamiento máximo horizontal, medido centro a centro, entre ganchos suplementarios o ramas de estribos cerrados de confinamiento en todas las caras de la columna.

Criterios de diseño por sismo (NEC-14) Requisitos para elementos en flexocompresión (4.3.1)

Los requisitos de este artículo se aplican a columnas, elementos de pórticos rígidos y otros elementos estructurales que presenten las siguientes características:

- a) Sean parte de sistemas estructurales resistentes a cargas sísmicas.
- b) Soporten fuerzas axiales que excedan $0.10 \cdot f'_c \cdot A_g$ en alguna de las combinaciones de carga en que participen las cargas sísmicas.
- c) La razón entre la dimensión menor de la sección transversal y la dimensión en la dirección ortogonal sea mayor que 0.40 ó en su defecto, que su altura libre sea mayor que cuatro veces la dimensión mayor de la sección transversal del elemento.
- d) La dimensión más pequeña de la sección transversal, medida sobre una línea recta que pasa por su centroide geométrico, no sea menor que 300 mm.

Cuantía máxima de refuerzo longitudinal (4.3.3)

La razón A_g del área de refuerzo longitudinal al área bruta de la sección, A_g , no puede ser menor que 0.01 ni mayor que 0.03.

Confinamiento (4.3.4)

El confinamiento especial en la región definida en el inciso 4.3.4.1 debe tener las siguientes características:

El área de refuerzo en forma de estribos rectangulares no puede ser menor que ninguna de las siguientes:

$$A_{sh} = 0.3 \frac{s_b c f'_c}{f_{yt}} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \right] \quad (49)$$

$$A_{sh} = 0.09 \frac{s_b c f'_c}{f_{yt}} \quad (50)$$

A_g, A_{ch} = área bruta y área de la conexión interior confinada, respectivamente, mm^2 .

A_{sh} = área total de las varillas que forman los estribos y amarres suplementarios con separación s y perpendicular a la dimensión b_c , mm^2 .

f_{yt} = esfuerzo de fluencia del acero transversal, MPa.

s = separación, centro a centro, entre estribos, mm.

b_c = distancia máxima, medida centro a centro, entre esquinas del estribo, en mm.

Confinamiento (4.3.4)

La separación s máxima del refuerzo en espiral o entre estribos, no debe exceder de seis veces el diámetro menor del refuerzo longitudinal, ni tampoco 100 mm.

Resistencia mínima a flexión de columnas. (ACI 318M-11)

Las resistencias a flexión de las columnas deben satisfacer la ecuación (Artículo 21.6.2.2):

$$\sum M_{nc} \geq 1.2 \sum M_{nb} \quad (51)$$

Donde:

$\sum M_{nc}$: Suma de los momentos nominales a flexión de las columnas.

$\sum M_{nb}$: Suma de los momentos resistentes nominales a flexión de las vigas.

Cortante de diseño para columnas. (ACI 318M-11)

La fuerza cortante de diseño, V_e , se debe determinar considerando las máximas fuerzas que se puedan generar en las caras de los nudos en cada extremo del elemento (Artículo 21.6.5.1).

No es necesario que las fuerzas cortantes en el elemento sean mayores que aquellas determinadas a partir de la resistencia de los nudos, basada en M_{pr} de los elementos transversales que llegan al nudo.

Se debe satisfacer:

$$\phi V_n \geq V_e \quad (52)$$

Donde:

ϕ : Factor de reducción de resistencia.

V_n : Resistencia nominal a cortante.

V_e : Fuerza cortante de diseño, obtenida como el máximo entre V_{e1} , V_{e2} .

$$V_{e1} = \frac{M_{pr3}^- + M_{pr}^+}{I_u} \quad (53)$$

$$V_{e2} = \frac{M_{pr3}^+ + M_{pr4}^-}{I_u} \quad (54)$$

Siendo:

l_u : Longitud sin soporte lateral de un elemento en compresión.

M_{pr} : Resistencia probable a la flexión del elemento, determinada usando las propiedades de los elementos en las caras de los nudos suponiendo un esfuerzo en tracción para las barras longitudinales de al menos $1.25 \cdot f_y$.

Diseño del refuerzo principal en columnas, 4.3.2 (NEC-14)

Las secciones en los extremos de las columnas serán diseñadas para la combinación más desfavorable de momentos (en ambas direcciones horizontales) y carga axial. Los momentos últimos para el diseño no deberán ser menores a los calculados con la siguiente ecuación:

$$S_{CP} = \phi^0 \omega S_E \quad (55)$$

Donde S_E es la demanda obtenida en el análisis ϕ^0 es el factor de sobre-resistencia de las rótulas plásticas en las vigas que llegan al nudo junto a la sección que se diseña y ω_f es un factor de amplificación dinámica.

El valor del factor de sobre-resistencia ϕ^0 , calculado con la ecuación (56), es el cociente entre la capacidad en sobre-resistencia de las rótulas plásticas en las vigas que llegan al nudo junto a la sección que se diseña y la capacidad requerida por el análisis.

$$\phi^0 = \frac{M_0^- + M_0^+}{M_{req}^- + M_{req}^+} \quad (56)$$

El factor de amplificación dinámica ω_f para flexión depende de la demanda de ductilidad m en la estructura y debe aplicarse desde el nivel 1 hasta un nivel a 3/4 de la altura de la estructura, como se muestra en la figura 4.6. El valor máximo se calcula con la ecuación

$$\omega_f = 1.15 + 0.13\left(\frac{\mu}{1.8} - 1\right) > 1.15 \quad (57)$$

Resistencia a cortante de elementos en flexocompresión 5.2.2 (NEC-14)

La resistencia a cortante última de elementos en flexión-compresión debe ser mayor o igual a la requerida por el análisis de la estructura V_E , multiplicada por el factor de sobre-resistencia de las vigas que llegan al nudo. Sin embargo, no necesita ser mayor que la correspondiente a un elemento con rótulas plásticas en sus extremos que produce una condición de doble curvatura, como se muestra en la ecuación (58)

$$\phi_S V_N \geq \phi^0 V_E + 0.1\mu V_{E,base} \leq \frac{M_t^0 + M_b^0}{H_c} \quad (58)$$

H = altura libre de la columna.

M_b , M_t = capacidades en momento multiplicada por el factor de sobre-resistencia, en los extremos de elemento, calculadas de manera que produzcan doble curvatura, considerando las dos direcciones de carga

4.3.2. Criterios de comprobación en elementos metálicos

Resistencia a tracción (Capítulo D)

Se debe satisfacer:

$$n_T = \frac{P_r}{P_c} \leq 1 \quad (59)$$

Donde:

P_r : Resistencia a tracción requerida para las combinaciones de carga LRFD

P_c : Resistencia de diseño a tracción

$$(60)$$

La resistencia de diseño a tracción es el menor valor de los obtenidos según el estado límite de fluencia a tracción de la sección bruta y el de rotura a tracción de la sección neta

Donde:

ϕ_t : Factor de resistencia a tracción, tomado como 0.9

a) Para fluencia bajo tracción en la sección bruta

$$P_n = F_y A \quad (61)$$

Donde:

A: Área bruta de la sección de la barra.

F_y : Límite elástico mínimo especificado

Limitación de esbeltez para compresión (Capítulo E)

La esbeltez máxima admisible en una barra sometida a compresión es:

$$\lambda \leq 200 \quad (62)$$

Donde:

λ : Coeficiente de esbeltez

$$\lambda = \frac{KL}{r} \quad (63)$$

Donde:

L: Longitud de la barra

K: Factor de longitud efectiva.

r_y : Radio de giro respecto al eje Y

Donde:

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad (64)$$

I_y : Momento de inercia respecto al eje Y

A: Área total de la sección transversal de la barra.

Resistencia a compresión (Capítulo E)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo E de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$n_T = \frac{P_r}{P_c} \leq 1 \quad (65)$$

Donde:

P_r : Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD

P_c : Resistencia de diseño a compresión

$$P_c = \phi_p P_n \quad (66)$$

La resistencia de diseño a compresión en secciones comprimidas es el menor valor de los obtenidos según los estados límite descritos en el Capítulo E.

Donde:

ϕ_p : Factor de resistencia a compresión, tomado como 0.9

P_n : Resistencia nominal a compresión, calculada según el Artículo E3-A:

$$P_n = F_{cr} A \quad (67)$$

Para el pandeo por flexión de secciones con elementos compactos y no compactos (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo E - E3-A).

Donde:

A : Área bruta de la sección de la barra.

F_{cr} : Tensión de pandeo por flexión, tomada como:

i) Cuando:

$$F_e \geq 0.44 F_y \quad (68)$$

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y \quad (69)$$

Donde:

F_y : Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras

F_e : Tensión crítica elástica de pandeo, tomada como la menor de:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r} \right)^2} \quad (70)$$

Donde:

E : Módulo de elasticidad del acero

K : Factor de longitud efectiva

L : Longitud de la barra

r : Radio de giro dominante

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (71)$$

Donde:

I: Momento de inercia

A: Área total de la sección transversal de la barra.

Resistencia a flexión eje X (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$n_M = \frac{M_r}{M_c} \leq 1 \quad (72)$$

Donde:

M_r : Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD

M_c : Resistencia de diseño a flexión

$$M_c = \phi_b M_n \quad (73)$$

La resistencia de diseño a flexión para secciones sometidas a momento flector es el menor valor de los obtenidos según los estados límite descritos en el Capítulo F:

Donde:

ϕ_b : Factor de resistencia a flexión

M_n : La resistencia nominal a flexión calculada según Artículo 2, Sección 1

Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_x \quad (74)$$

Donde:

F_y : Límite elástico mínimo especificado.

Z_x : Módulo resistente plástico respecto al eje X.

Pandeo lateral

- a) Si $L_b \leq L_p$, el estado límite de pandeo lateral no es de aplicación

Donde:

L_b : Distancia entre puntos de arriostramiento al desplazamiento lateral del ala comprimida o de la torsión de la sección transversal

$$L_p = 1.76r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (75)$$

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero

F_y : Límite elástico mínimo especificado

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad (76)$$

Donde:

I_y : Momento de inercia respecto al eje Y

A: Área total de la sección transversal de la barra.

Resistencia a flexión eje Y (Capítulo F)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo F de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$n_M = \frac{M_r}{M_c} \leq 1 \quad (77)$$

Donde:

M_r : Resistencia a flexión requerida para las combinaciones de carga LRFD

M_c : Resistencia de diseño a flexión

$$M_c = \phi_b M_n \quad (78)$$

La resistencia de diseño a flexión para secciones sometidas a momento flector es el menor valor de los obtenidos según los estados límite descritos en el Capítulo F:

Donde:

ϕ_b : Factor de resistencia a flexión.

M_n : La resistencia nominal a flexión calculada según Artículo 2, Sección 1.

Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_y \leq 1.6 F_y S_y \quad (79)$$

Donde:

F_y : Límite elástico mínimo especificado.

Z_y : Módulo resistente plástico respecto al eje Y.

S_y : Módulo resistente elástico respecto al eje Y.

$$S_y = \frac{I_y}{x} \quad (80)$$

Donde:

I_y : Momento de inercia respecto al eje Y.

x : Distancia a la fibra extrema en flexión desde el baricentro.

Pandeo local del ala**Resistencia a corte X (Capítulo G)**

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$n_v = \frac{V_r}{V_c} \leq 1 \quad (81)$$

Donde:

V_r : Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD.

V_c : Resistencia de diseño a cortante.

(82)

Donde:

ϕ_v : Factor de resistencia a cortante 0.9

V_n : se define según lo detallado en el Capítulo G, de la siguiente forma:

para secciones con simetría simple y doble cargadas en el eje débil, la resistencia nominal a cortante se calcula de la siguiente forma (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo G - G-7).

$$V_n = 0.6F_y A_w C_v \quad (83)$$

Donde:

F_y : Límite elástico mínimo especificado

$$A_w = 2b_f t_f \quad (84)$$

Donde:

b_f : Anchura total del ala

t_f : Espesor del ala

Para todas las demás secciones con simetría doble o simple y secciones en U, excepto tubos redondos, el coeficiente de cortante del alma, C_v , se calcula de la siguiente forma:

$$\frac{b_f}{t_f} \leq 1.10 \sqrt{k_v \frac{E}{F_y}} \quad (85)$$

$$C_v = 1 \quad (86)$$

Donde:

b_f : Anchura total del ala

t_f : Espesor del ala

E : Módulo de elasticidad del acero

K_v : Coeficiente de abolladura del alma 1.2

Resistencia a corte Y (Capítulo G)

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo G de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$n_v = \frac{V_r}{V_c} \leq 1 \quad (87)$$

Donde:

V_r : Resistencia a cortante requerida para las combinaciones de carga LRFD

V_c : Resistencia de diseño a cortante.

$$V_c = \phi_v V_n$$

(88)

Donde:

ϕ_v : Factor de resistencia a cortante 0.9

V_n : se define según lo detallado en el Capítulo G, de la siguiente forma:

para almas de secciones con simetría simple o doble y en U sometidas a cortante en el plano del alma (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo G - G2).

$$V_n = 0.6F_y A_w C_v \quad (89)$$

Donde:

F_y : Límite elástico mínimo especificado.

$$A_w = d t_w \quad (90)$$

Donde:

d: Canto total

t_w : Espesor del alma

Resistencia nominal a cortante.

para almas de todas las demás secciones con simetría doble o simple y secciones en U, excepto tubos redondos, el coeficiente de cortante del alma, C_v , se calcula de la siguiente forma:

$$\frac{h}{t_w} \leq 1.10 \sqrt{k_v \frac{E}{F_y}} \quad (91)$$

$$C_v = 1 \quad (92)$$

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero.

en almas no rigidizadas cuando se cumple.

$$\frac{h}{t_w} < 260 \quad (93)$$

Para todos los tipos de sección excepto en T simple:

K_v : Coeficiente de abolladura del alma.

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo

t_w : Espesor del alma

Comprobación de rigidizadores transversales

Si

$$\frac{h}{t_w} \leq 2.46 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (94)$$

No son necesarios rigidizadores transversales.

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo

tw: Espesor del alma

E: Módulo de elasticidad del acero

Fy: Límite elástico mínimo especificado

Esfuerzos combinados y torsión (Capítulo H)

Se debe cumplir el siguiente criterio:

$$n \leq 1 \quad (95)$$

Donde:

Según el capítulo H3.3, las secciones abiertas sometidas a torsión junto con tensiones combinadas, han de satisfacer la siguiente condición:

$$n = \frac{T_r}{T_c} \leq 1 \quad (96)$$

Ya que la norma no proporciona una comprobación general para secciones abiertas sometidas a torsión combinada con otros esfuerzos, se considera que este elemento debe cumplir, además, los siguientes criterios para la tensión de Von Mises:

$$n = \left[\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right]^2 \leq 1 \quad (97)$$

$$n = \left[\frac{f_{vx}}{F_{vx}} + \frac{f_{vy}}{F_{vy}} + \frac{f_T}{F_T} \right]^2 \leq 1 \quad (98)$$

$$n = \left[\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right]^2 + \left[\frac{f_{vx}}{F_{vx}} + \frac{f_{vy}}{F_{vy}} + \frac{f_T}{F_T} \right]^2 \leq 1 \quad (99)$$

4.3.3. Resistencia de secciones no tubulares sometidas a torsión y tensiones combinadas

Tr: Resistencia a torsión requerida.

$$T_c = \phi_T T_n \quad (100)$$

Donde:

T: Factor de resistencia para torsión 0.9.

T_n: Resistencia nominal a torsión, definida como:

$$T_n = F_n C \quad (101)$$

Donde:

C: Módulo resistente a torsión.

El estado límite de fluencia bajo tensiones tangenciales por cortante.

$$F_n = 0.6F_y \quad (102)$$

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras.

Comprobación de Von Mises (comprobación adicional).

f_a: Tensión normal debida al esfuerzo axial (tracción o compresión) calculada para la sección bruta.

$$f_a = \frac{P_r}{A} \quad (103)$$

Donde:

P_r: Resistencia requerida a compresión (para las combinaciones de carga LRFD).

A: Área total de la sección transversal de la barra.

f_{bx}: Tensión normal debida a flexión alrededor del eje x.

$$f_{bx} = \frac{-y}{I_x} M_{rx} \quad (104)$$

Donde:

M_{rx}: Resistencia requerida a flexión alrededor del eje x (para las combinaciones de carga LRFD).

x: Momento de inercia respecto al eje X.

y: Coordenada y del punto pésimo respecto al centro de gravedad.

f_{by}: Tensión normal debida a flexión alrededor del eje y.

$$f_{by} = \frac{-x}{I_y} M_{ry} \quad (106)$$

Donde:

M_{ry} : Resistencia requerida a flexión alrededor del eje y (para las combinaciones de carga LRFD). I

y: Momento de inercia respecto al eje Y

x: Coordenada x del punto pésimo respecto al centro de gravedad.

f_{Vx} : Tensión tangencial debida a cortante en la dirección x.

$$f_{Vx} = \frac{V_x Q_y}{I_y b} \quad (107)$$

Donde:

V_x : Resistencia requerida a cortante en la dirección x (para las combinaciones de carga LRFD).

Q_y : Momento estático respecto del eje y de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo.

I_y : Momento de inercia respecto al eje Y

b: Espesor del elemento en el punto pésimo.

f_{Vy} : Tensión tangencial debida a cortante en la dirección y.

$$f_{Vy} = \frac{V_y Q_x}{I_x b} \quad (108)$$

Donde:

V_y : Resistencia requerida a cortante en la dirección y (para las combinaciones de carga LRFD).

Q_x : Momento estático respecto del eje x de la sección parcial de área correspondiente al punto pésimo.

I_x : Momento de inercia respecto al eje X

b: Espesor del elemento en el punto pésimo.

f_T : Tensión tangencial debida a torsión.

$$f_T = \mp \frac{b}{J} T_r \quad (109)$$

Donde:

T_r : Resistencia requerida a torsión (para las combinaciones de carga LRFD).

J: Momento de inercia a torsión uniforme.

b: Espesor del elemento en el punto pésimo.

F_a : Resistencia a compresión de la sección.

$$F_a = \phi_c F_{cr} \quad (110)$$

Donde:

ϕ_c : Factor de seguridad para compresión. 0.90

F_{cr} : Resistencia crítica de pandeo (calculada según el Capítulo E).

F_{bx} , F_{by} : Resistencia de la sección a flexión alrededor de los ejes x y y, respectivamente.

$$F_{bx} = F_{by} = \phi_b F_y \quad (111)$$

Donde:

ϕ_b : Factor de resistencia para flexión. 0.90

F_y : Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras.

F_{Vx} , F_{Vy} : Resistencia de la sección a cortante en las direcciones x y y, respectivamente.

$$F_{Vx} = F_{Vy} = \frac{\phi_v F_y}{\sqrt{3}} \quad (112)$$

Donde:

ϕ_v : Factor de resistencia para cortante. 0.90

F_y : Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras.

F_T : Resistencia a torsión de la sección.

$$F_T = \frac{\phi_T F_y}{\sqrt{3}} \quad (113)$$

Donde:

ϕ_T : Factor de resistencia para torsión 0.90

F_y : Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras.

4.4. Depuración e interpretación de los resultados obtenidos de la modelación

En vista de que los elementos estructurales están sometidos a cargas relativamente similares, su comportamiento ante distintas sollicitaciones también resultó similar dentro de la modelación. A continuación, se presenta el mapa de columnas que no cumplen por lo menos una de las comprobaciones de estados límites últimos.

4.5. Generación de gráficos explicativos

4.5.1. Errores de comprobación en columnas

Tabla 4.1: Derivas de piso

DERIVA LOCAL MAXIMA EN LAS COLUMNAS				
PLANTA	Situaciones Transitorias		Situaciones Sísmicas	
	Dirección X	Dirección Y	Dirección X	Dirección Y
	Planta Baja	1/7125	1/7125	1/27

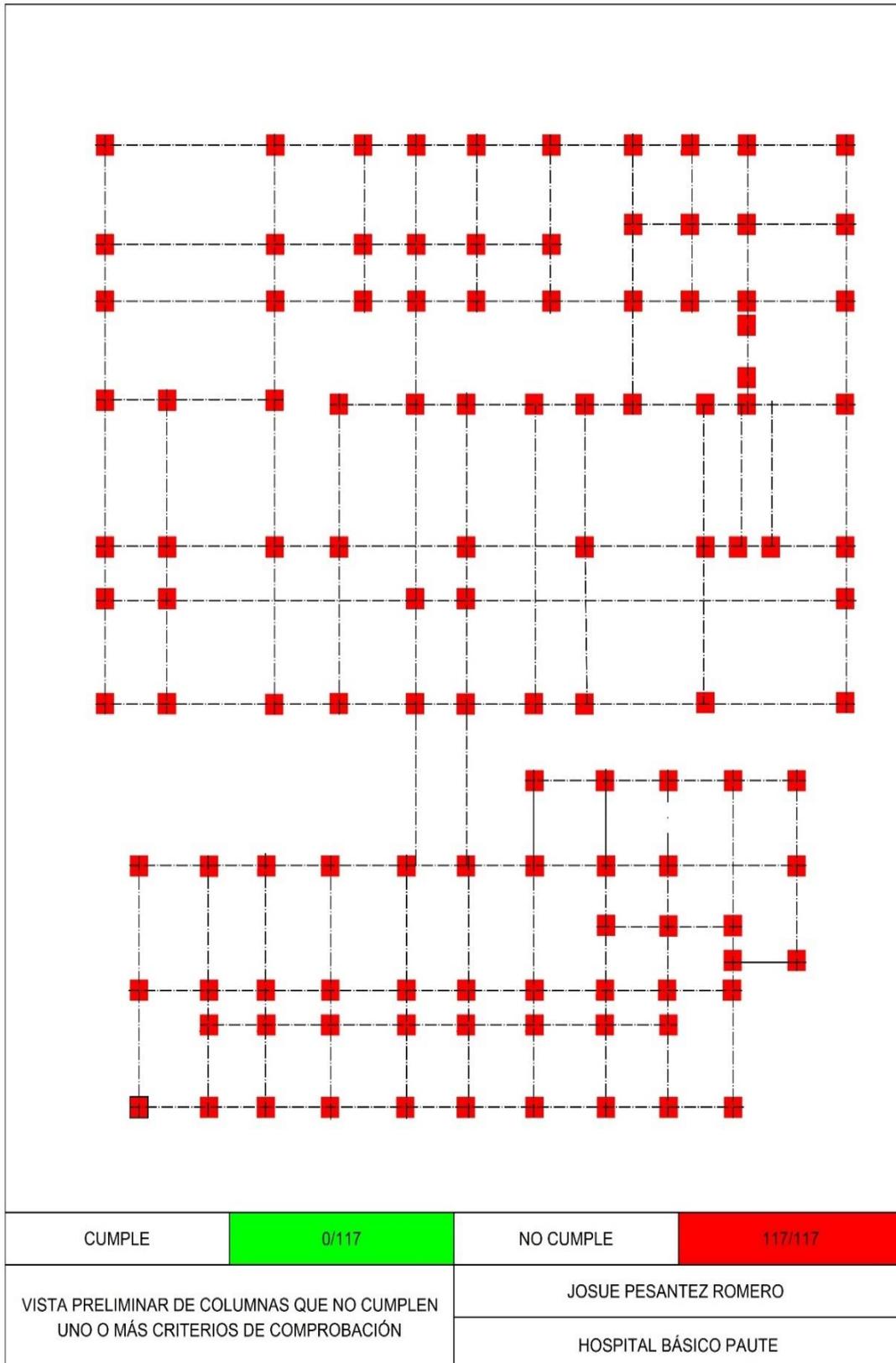


Figura 4.4: Vista preliminar de columnas que no cumplen uno o más criterios de comprobación



Figura 4.5: Columnas. Armadura máxima y mínima



Figura 4.6: Columnas. Diseño por capacidad

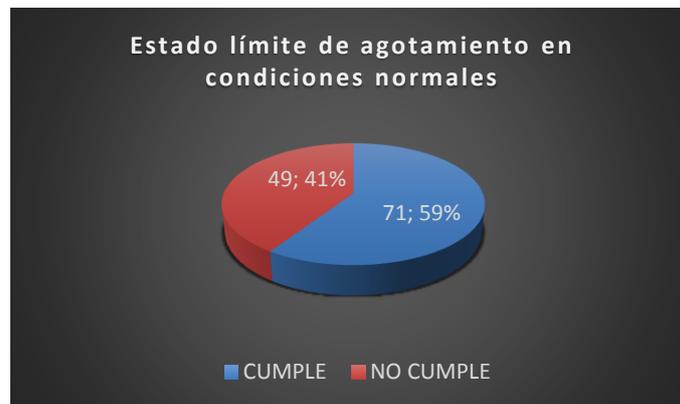


Figura 4.7: Columnas. Estado límite de agotamiento en condiciones normales

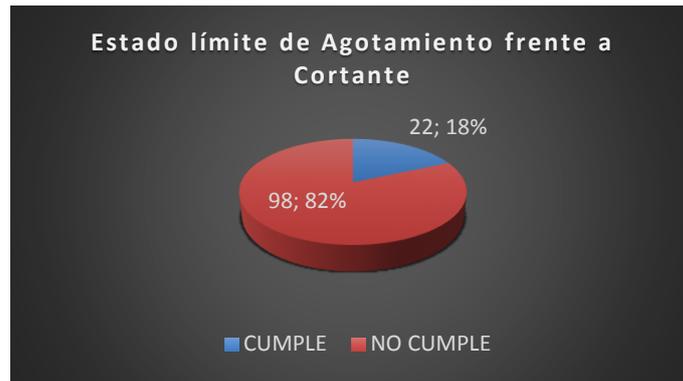


Figura 4.8: Columnas. Estado límite de agotamiento en frente a cortante



Figura 4.9: Columnas. Criterios de diseño por sismo (NEC-14)



Figura 4.10: Columnas. Criterios de diseño por sismo (ACI 318M-11)

4.5.2. Errores de comprobación en vigas

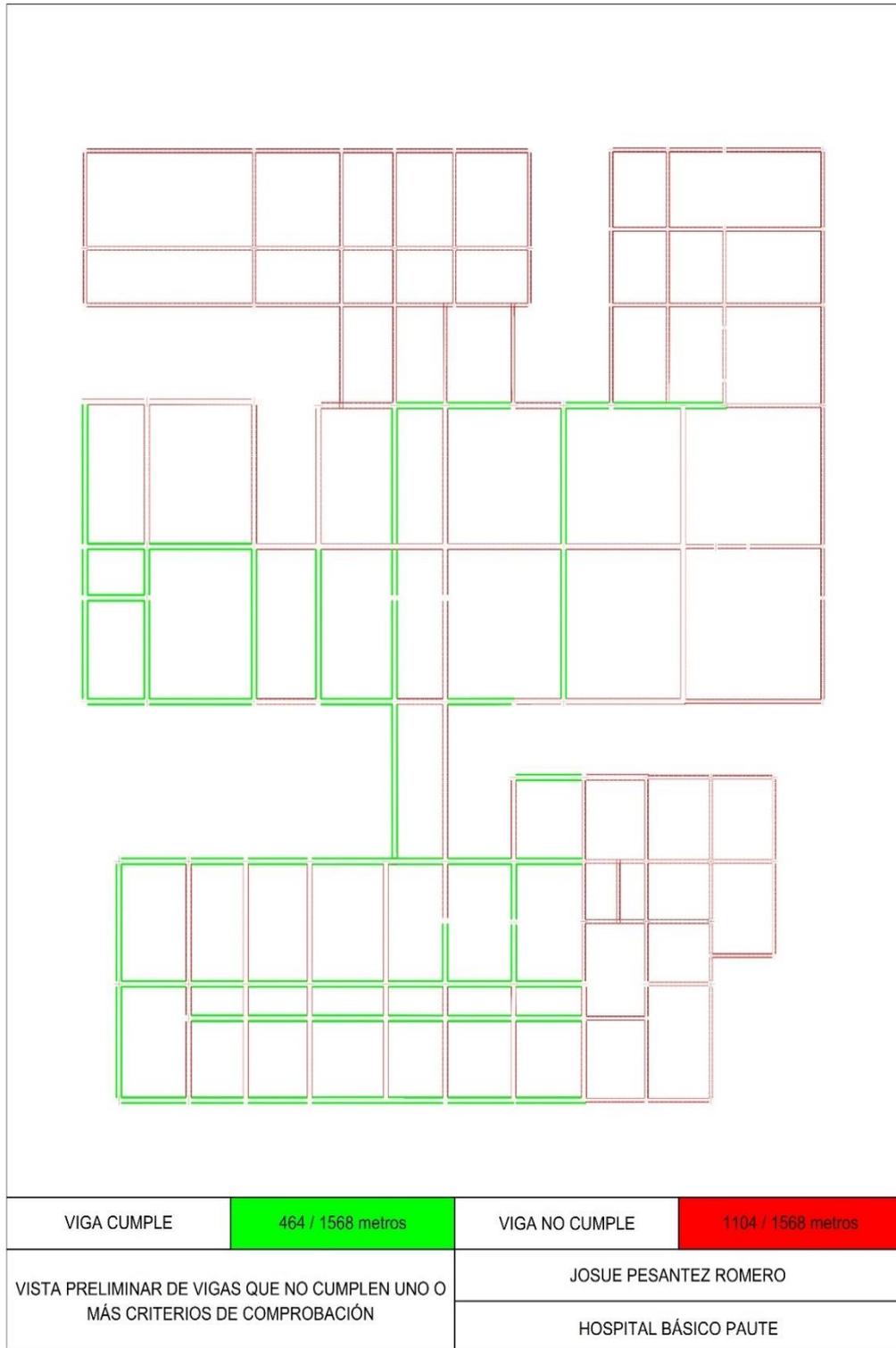


Figura 4.11: Vigas. Vista preliminar de vigas que no cumplen uno o más criterios de comprobación

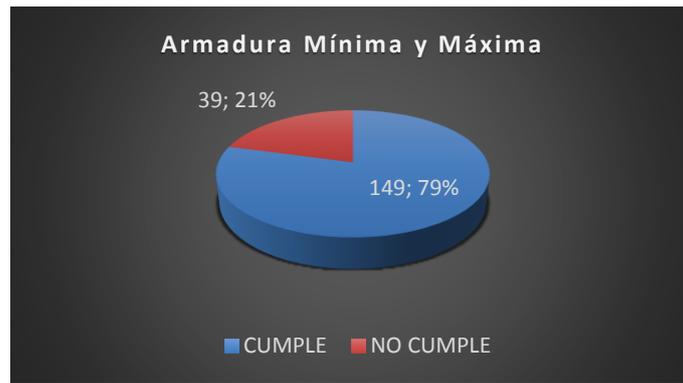


Figura 4.12: Vigas. Armadura máxima y mínima

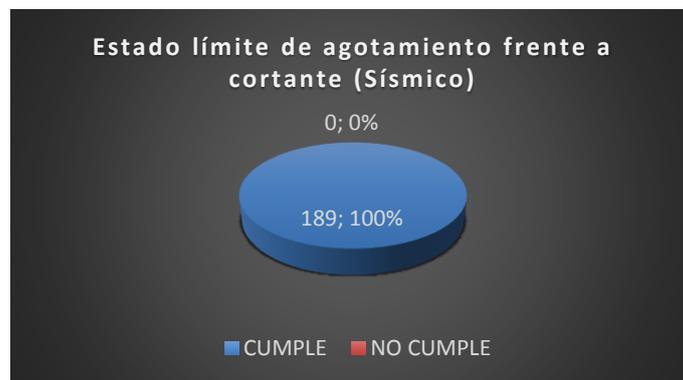


Figura 4.13: Vigas. Estado límite de agotamiento frente a cortante (Sísmico)

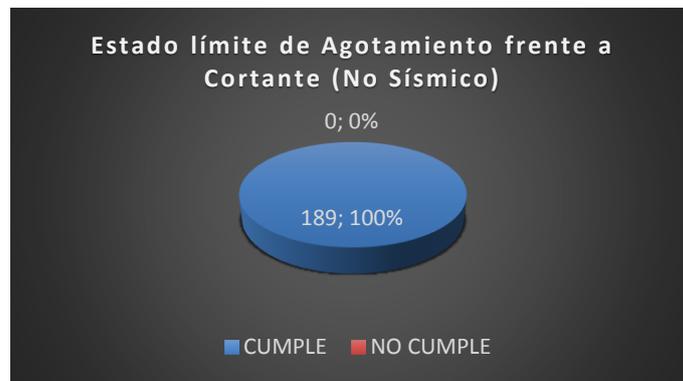


Figura 4.14: Vigas. Estado límite de agotamiento frente a cortante (No Sísmico)

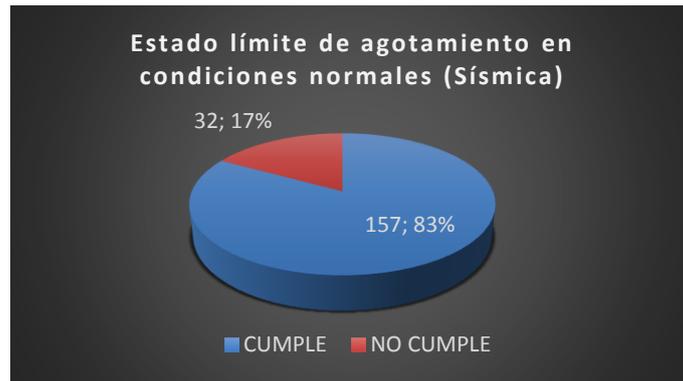


Figura 4.15: Vigas. Estado límite de agotamiento en condiciones normales (Sísmica)

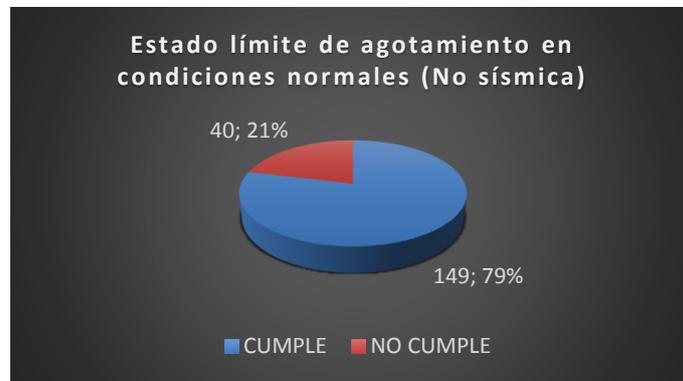


Figura 4.16: Vigas. Estado límite de agotamiento en condiciones normales (No Sísmica)



Figura 4.17: Diseño de cortante para vigas



Figura 4.18: Resistencia a cortante de elementos sometidos a flexión



Figura 4.19: Vigas. Criterios de diseño por sismo (NEC-14)



Figura 4.20: Vigas. Criterios de diseño por sismo (ACI 318M-11)

4.5.3. Errores de comprobación en elementos de cubierta

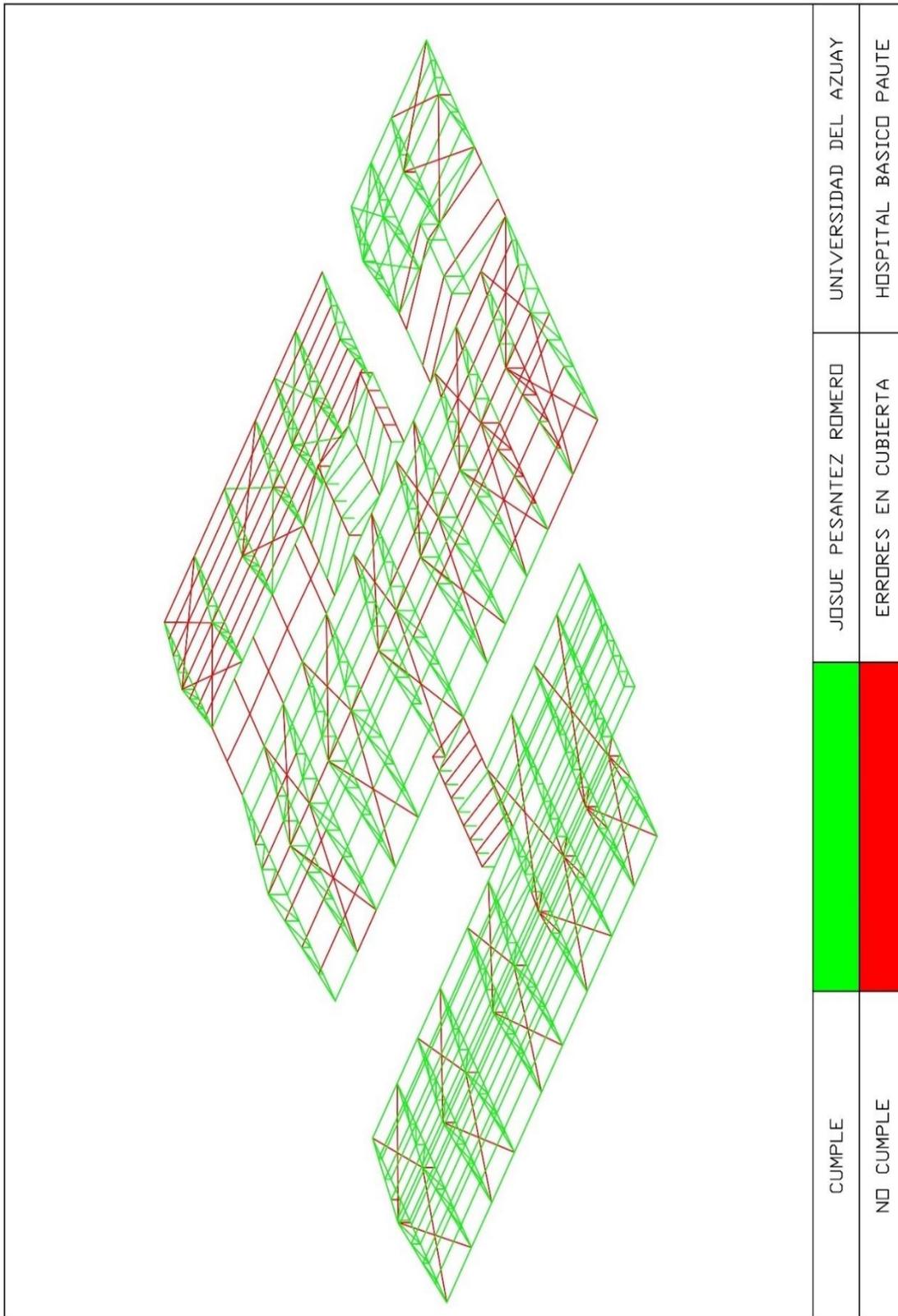


Figura 4.21: Vista preliminar de elementos de cubierta que no cumplen uno o más criterios de comprobación

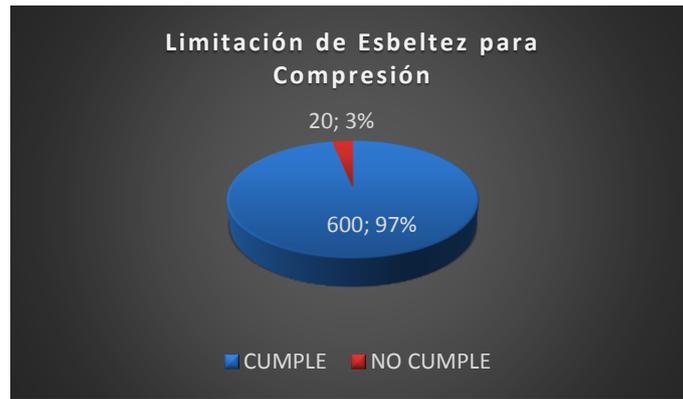


Figura 4.22: Elementos de Cubierta. Limitación de esbeltez para compresión



Figura 4.23: Elementos de cubierta. Resistencia a flexión eje Y



Figura 4.24: Elementos de cubierta. Resistencia a flexión eje X



Figura 4.25: Elementos de cubierta. Resistencia a corte eje Y



Figura 4.26: Elementos de cubierta. Resistencia a corte eje X



Figura 4.27: Elementos de cubierta. Resistencia a compresión



Figura 4.28: Elementos de cubierta. Esfuerzos combinados y torsión

4.5.4. Errores de comprobación en elementos metálicos en el área de odontología, ginecología y laboratorios

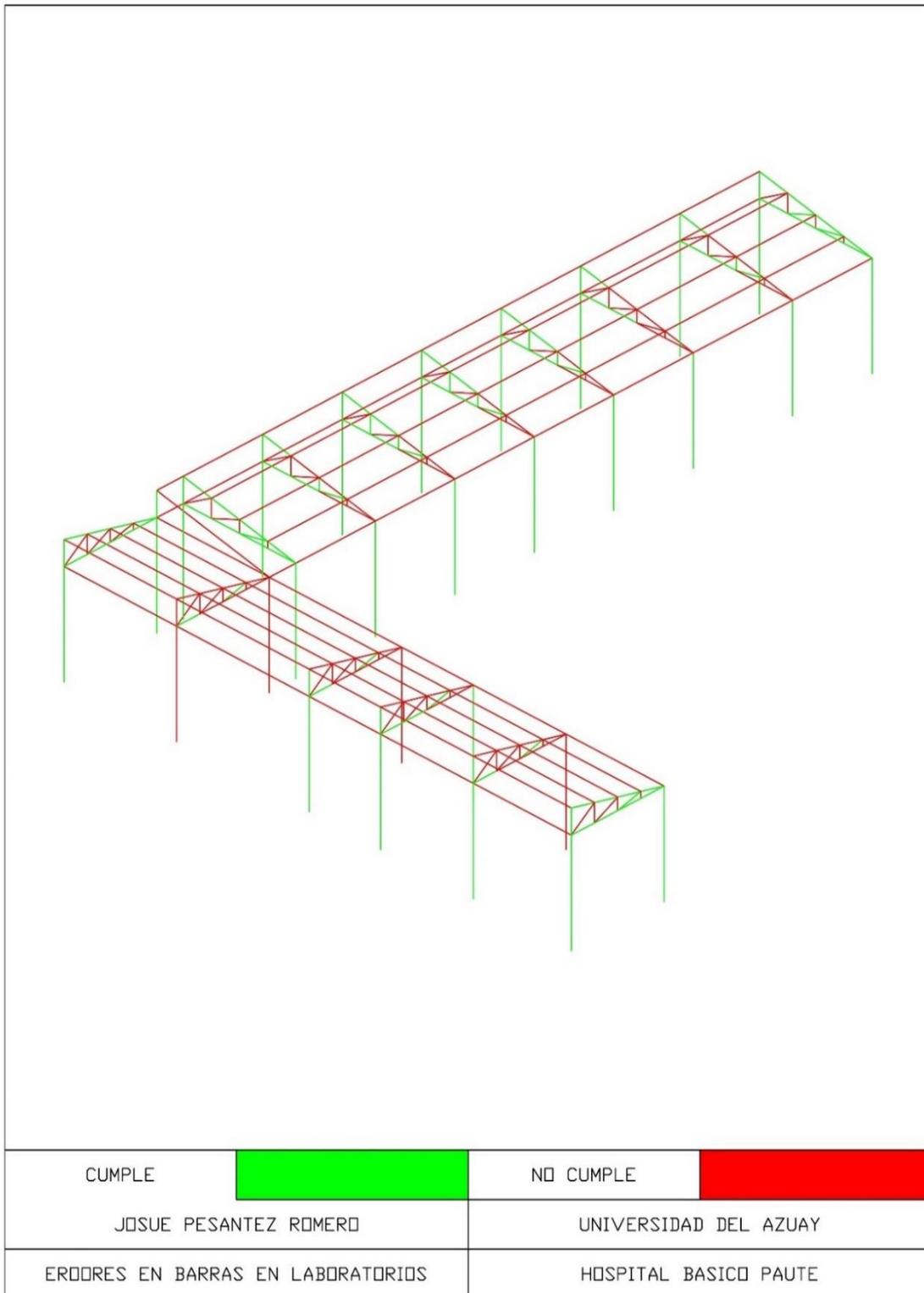


Figura 4.29: Vista preliminar de elementos de odontología, ginecología y laboratorio que no cumplen uno más criterios de comprobación

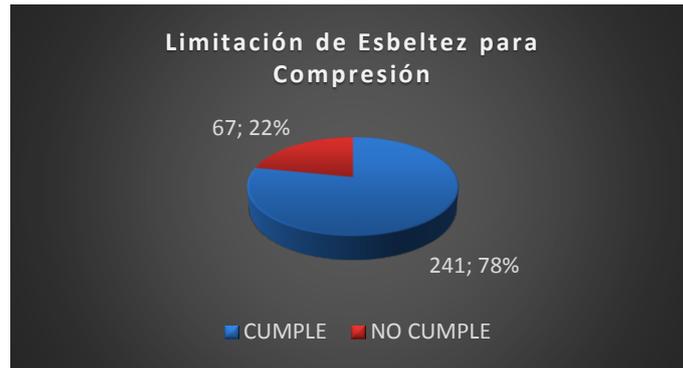


Figura 4.30: Elementos de laboratorio. Limitación de esbeltez para compresión



Figura 4.31: Elementos de laboratorio. Resistencia a flexión eje Y

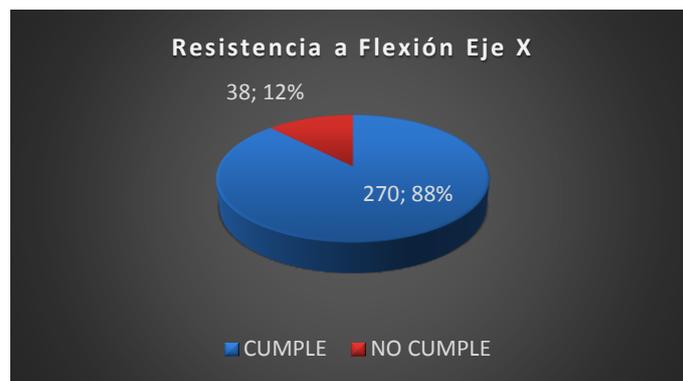


Figura 4.32: Elementos de laboratorio. Resistencia a flexión eje X



Figura 4.33: Elementos de laboratorio. Resistencia a corte eje Y



Figura 4.34: Elementos de laboratorio. Resistencia a corte eje X



Figura 4.35: Elementos de laboratorio. Resistencia a compresión



Figura 4.36: Elementos de laboratorio. Esfuerzos combinados y torsión

4.6. Análisis de resultados y propuestas de mitigación

El diseño de elementos estructurales no cumple con el criterio de columna fuerte viga débil, ninguna columna cumple los criterios de diseño por sismo, en gran medida, debido al espaciamiento entre estribos. Aunque un cierto grupo de vigas, cumple todos los criterios de resistencia, la edificación se mantiene insegura porque las columnas hacia las cuales son transmitidos los esfuerzos, simplemente no los resisten. Por ello es necesario aplicar medidas de mitigación que refuercen, sobre todo las columnas.

Una forma económica de reforzamiento de elementos de hormigón armado, por la rapidez en la ejecución y los bajos costos de mantenimiento, es la utilización de la técnica de fibras reforzadas con polímeros (FRP), que aportan con resistencia, más no con rigidez, sin embargo, aunque el problema de resistencia de elementos estructurales sea solucionado, las derivas de piso sobrepasan el límite permitido por la Norma Ecuatoriana de Construcción, por lo tanto, además del posible reforzamiento con FRP, es necesario la colocación de diagonales de acero que aporten con rigidez a la estructura.

Los lugares dentro de la entidad hospitalaria para la colocación de diagonales de acero que van desde el pie de columna hasta el centro de la luz de la viga del pórtico en cuestión, son los vanos que no poseen ventanas, es decir, los pasillos, para una posterior modelación y análisis de derivas.

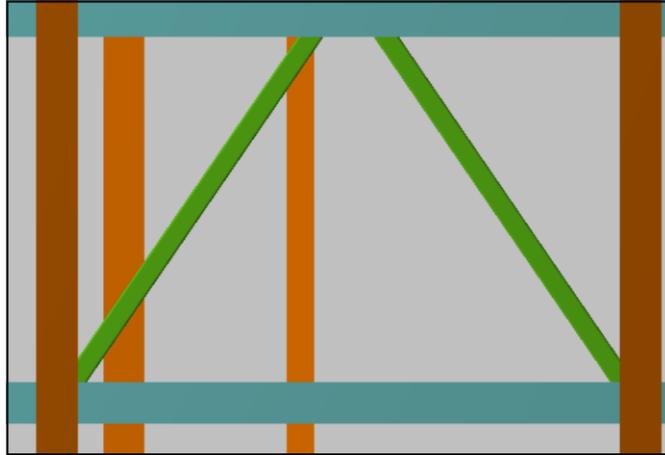


Figura 4.37: Diagonales metálicas en farmacia

En cuanto a temas relacionados con la configuración residencial de la edificación, el área de vivienda de médicos, donde no existe una salida de emergencia y las ventanas están bloqueadas por varillas de hierro soldadas, es necesaria una replanificación del área y colocar una puerta de salida por la cual los médicos residentes puedan evacuar las instalaciones del hospital.

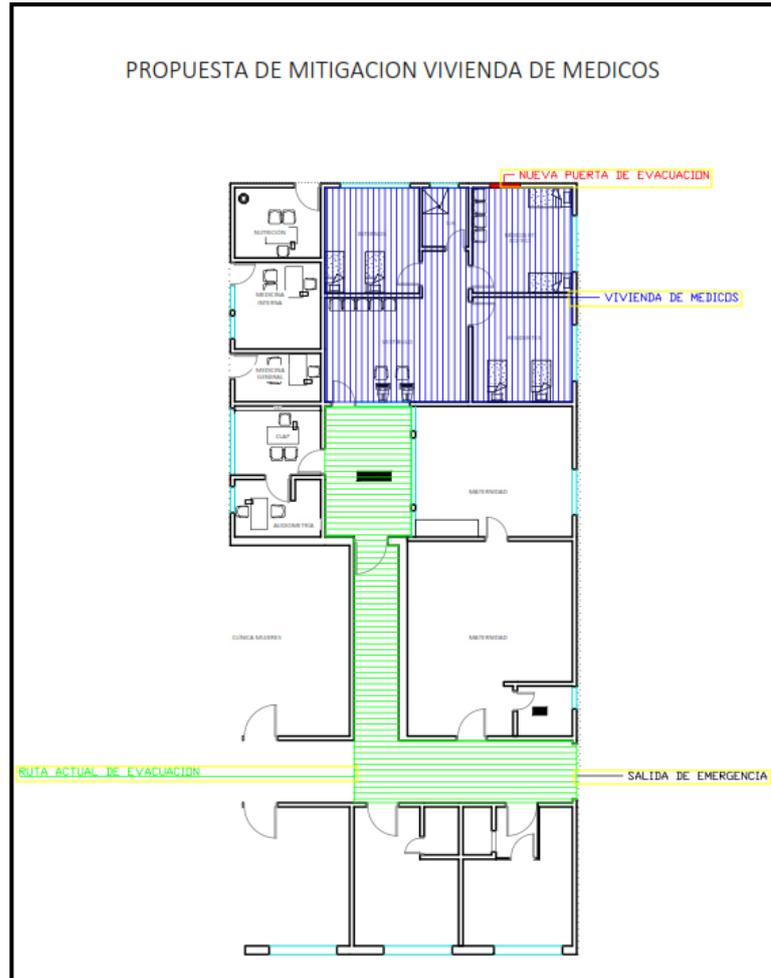


Figura 4.38: Propuesta de replanificación de la vivienda de médicos

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- Los métodos utilizados en esta investigación para determinar el comportamiento estructural de la edificación hospitalaria Paute ante posibles amenazas, son congruentes entre sí, el índice de seguridad hospitalaria la ubica como una edificación de tipo B, muy cercano al tipo C, es decir, una edificación vulnerable e insegura con nivel de seguridad de 44% y un nivel de inseguridad de 55%.
- La aplicación del índice de seguridad hospitalaria debe actuar como herramienta de gestión y planificación para la correcta administración de los recursos públicos, es decir, priorizando el reforzamiento de miembros estructurales o la actualización de líneas de gestión de riesgos.
- Las encuestas de percepción de riesgo ratifican el nivel de seguridad de la estructura con el sentir del personal, sobre todo ante el peligro sísmico, además fueron de gran trascendencia durante la identificación de amenazas ampliando la perspectiva del evaluador.
- El estudio del suelo de cimentación indica que existe una alta permeabilidad que provoca que el suelo pierda su estabilidad, así como su resistencia mecánica, es decir, peligro de licuefacción, razón por la cual, es necesario poner especial énfasis en el sistema de drenaje de la entidad hospitalaria.
- El nivel de seguridad estructural obtenido de la modelación dinámica indica que la estructura además de no cumplir las solicitaciones para las cuales debió ser diseñada, es demasiado flexible, por ello las medidas de mitigación están encaminadas a brindar resistencia a los elementos estructurales mediante la utilización de fibras reforzadas con polímeros y a aumentar la rigidez global de la estructura con la colocación de diagonales metálicas.

- La estructura metálica de cubierta, probablemente falle por esfuerzos combinados y torsión, sobre todo en el área de bodega donde se almacenan insumos del hospital y laboran personas.
- La estructura metálica de laboratorios y odontología no cumple en su mayoría el diseño de la cubierta por esfuerzos combinados y torsión, el mayor problema en laboratorios es la presencia de humedad, por la acumulación de agua entre el muro y la estructura debido al drenaje insuficiente.
- Si las medidas de mitigación no son aplicadas, la estructura tiene una alta probabilidad de colapsar en un evento sísmico.
- El modelo virtual brindará información manipulable a las autoridades de la entidad hospitalaria, independientemente de su antigüedad. Información arquitectónica, estructural, no estructural y líneas vitales, del estado actual.

Recomendaciones:

- Durante la investigación, el personal de la coordinación zonal, realizó un recorrido para construir una nueva edificación con fines administrativos, se ha indicado que la zona donde está emplazado el hospital Paute, es de alta probabilidad de diferentes tipos de amenaza y se recomienda no realizar ningún tipo de construcción, por el contrario, administrar de mejor manera los fondos públicos y pensar en un nuevo hospital para el cantón, ubicado en una zona que no sea propensa a amenazas y que cumpla con las normas de construcción establecidas actualmente, si el presupuesto no es suficiente, pensar primero en el reforzamiento de la entidad hospitalaria existente.
- Esta investigación debería completarse con un análisis dentro del rango inelástico, para determinar el umbral del colapso, el colapso progresivo y el colapso total, además de un presupuesto para aplicar medidas de mitigación y su respectivo análisis de factibilidad.

BIBLIOGRAFÍA

Llanes C. 2013. Hospitales Seguros Frente a Desastres: Evaluación de las Amenazas. República Dominicana.

Ilusambiente. [en línea]. Sidoli Osvaldo. Disponible en web: <<http://iusambiente.blogspot.com.ar/2006/09/la-contaminacion-producida-por-los.html>>. Consulta de 2 de junio 2016.

Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional. EPN. Disponible en: <<http://sni.gob.ec/coberturas>> . Consulta: de 12 de junio 2016.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. INAMHI. Disponible en: <<http://sni.gob.ec/coberturas>>. Consulta: 12 de junio 2016.

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca. MAGAP. Disponible en: <<http://sni.gob.ec/coberturas>>. Consulta: 12 de junio 2016.

Association, N. S. (2011). *American Concrete Institute*. Michigan, Estados Unidos.

Association, N. S. (s.f.). *American Institute of Steel Construcción*. New York, Estados Unidos.

Arnold, C. 1987. Configuración y diseño sísmico de edificios. Mexico D.F.: Limusa.
Norma Ecuatoriana de la Construcción. 2014. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.

Organización Panamericana de la Salud. 2000. Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud. Washington DC.

Organización Panamericana de la Salud. 2013. Hospitales Seguros Sistematización de experiencias en la República Dominicana.

ANEXOS

Anexo 1: Tabla de la guía del evaluador de hospitales seguros

Anexo 2: Errores de comprobación en elementos de hormigón armado

Anexo 3: Errores de comprobación en elementos metálicos