



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMATICAS Y FISICAS
CARRERA DE INGENIERIA EN SISTEMAS
COMPUTACIONALES

APLICACIÓN DE UN MODELO HEURISTICO DIFUSO PARA APOYO
A LA TOMA DE DECISIONES EN LA EVALUACION DE DAÑOS
ESTRUCTURALES POST SISMICO DE UN EDIFICIO
DE LA UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

AUTOR (ES):

ZULLY EVELYN MONCAYO CORDOVA
JESUS ALBERTO SARMIENTO CARRILLO

TUTOR:

ING. LORENZO CEVALLOR TORRES, M. SC.

GUAYAQUIL – ECUADOR

2018

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS

TÍTULO Y SUBTÍTULO: “Aplicación de un modelo heurístico difuso para apoyo a la toma de decisiones en la evaluación de daños estructurales post sísmico de un edificio de la Universidad de Guayaquil”		
AUTOR/ES: Jesús Alberto Sarmiento Carrillo Zully Evelyn Moncayo Córdova	REVISOR: Ing. Jefferson Núñez Gaibor, M. Sc.	
INSTITUCIÓN: Universidad de Guayaquil	FACULTAD: Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas	
CARRERA: Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	N. DE PAGS:	
ÁREAS TEMÁTICAS: Logístico, Estadístico, Matemático		
PALABRAS CLAVE: Lógica Difusa, Heurística, Daños Sísmicos, Habitabilidad de Edificios, Evaluación post sísmica, Toma de decisiones, Vulnerabilidad sísmica.		
RESUMEN: Ecuador se encuentra localizado en una zona de amenaza sísmica alta por lo que se vuelve necesario el estudio de los daños post-sísmicos en las estructuras de las edificaciones del país luego de ocurrido un movimiento telúrico. Las técnicas de evaluaciones de daños actuales en el área de ingeniería civil se basan en resultados cualitativos, lo que es vulnerable a criterios subjetivos o contradictorios, por esta razón se sugiere que las inspecciones sean realizadas por expertos con experiencia y completamente capacitados, sin embargo, cuando ocurre un desastre de este tipo no se cuenta con el personal certificado suficiente por lo que se acude a profesionales sin la experiencia para realizar las evaluaciones y esto involucra que las decisiones finales que se tomen no sean las más acertadas. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo final evaluar el comportamiento de daños estructurales post sismo de un edificio mediante la aplicación de un modelo heurístico-difuso para soporte en la toma de decisiones a los expertos. Para el modelo híbrido se utiliza la metodología AHP para determinar los pesos relativos de los grupos de variables de evaluación, consiste en un método heurístico basado en la experiencia de expertos sobre un tema específico y esto combinado con técnicas de lógica difusa permitirán trabajar directamente con los valores cuantitativos de los datos, proporcionando así resultados más precisos que servirán como ayuda en la toma de decisiones. Una vez ingresados los datos correspondientes al daño en los elementos estructurales, elementos no estructurales, y datos relacionados al tipo de suelo, se obtiene el índice de daño global estructural, no estructural y condiciones de suelo, la habitabilidad del edificio se determina mediante la aplicación de reglas difusas basado en inferencia de Mamdani. Como resultado final, el edificio evaluado es habitable considerando reparaciones en sus condiciones de suelo.		
N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		
ADJUNTO URL (tesis en la web):		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTORES/ES:	Teléfono: 0994560849 0996549361	E-mail: zully.moncayoc@ug.edu.ec jesus.sarmientoc@ug.edu.ec
CONTACTO EN LA INSTITUCION:	Nombre: Ab. Juan Chávez Atocha, Esp..	
	Teléfono: 2307729	
	E-mail: juan.chaveza@ug.edu.ec	

APROBACION DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación, “Aplicación de un modelo heurístico difuso para apoyo a la toma de decisiones en la evaluación de daños estructurales post sísmico de un edificio de la Universidad de Guayaquil “, elaborado por los Sres. JESUS ALBERTO SARMIENTO CARRILLO y MONCAYO CORDOVA ZULLY EVELYN, alumnos no titulados de la Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil, previo a la obtención del Título de Ingeniero en Sistemas Computacionales, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la Apruebo en todas sus partes.

Atentamente,

Ing. Lorenzo Cevallos Torres M. Sc.

TUTOR

DEDICATORIA

A mis padres Rubén Moncayo y
Jazmín Córdova por su apoyo
incondicional y sincero.

Zully Evelyn Moncayo Córdova

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Lorenzo Cevallos, Ing. Vicente León y al Ing. Maikel Leyva por compartir su experiencia y conocimientos.

Zully Evelyn Moncayo Córdova

DEDICATORIA

El presente proyecto de titulación lo dedico a mis padres Manuel Sarmiento y Magaly Carrillo, por brindarme consejos en momentos difíciles y la motivación necesaria para continuar mi camino en la Universidad.

Jesús Alberto Sarmiento Carrillo

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Ing. Lorenzo Cevallos, por su apoyo en el proceso de tutoría, Ing. Vicente León por su colaboración en la encuesta y al Ing. Maikel Leyva por compartir sus conocimientos y sugerencias respecto al proyecto.

Jesús Alberto Sarmiento Carrillo

TRIBUNAL PROYECTO DE TITULACIÓN

Ing. Eduardo Santos Baquerizo, M.Sc.
DECANO DE LA FACULTAD
CIENCIAS MATEMATICAS Y
FISICAS

Ing. Abel Alarcón Salvatierra, Mgs.
DIRECTOR DE LA CARRERA DE
INGENIERIA EN SISTEMAS
COMPUTACIONALES

Ing. Jefferson Núñez, M. Sc.
PROFESOR REVISOR DEL ÁREA
TRIBUNAL

Ing. José Alonso, M. Sc.
PROFESOR REVISOR DEL ÁREA
TRIBUNAL

Ing. Lorenzo Cevallos, M. Sc.
PROFESOR TUTOR DEL PROYECTO
DE TITULACION

Ab. Juan Chávez Atocha, Esp.
SECRETARIO

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Titulación, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL”

JESUS ALBERTO SARMIENTO CARRILLO

ZULLY EVELYN MONCAYO CORDOVA



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS

CARRERA DE INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

APLICACIÓN DE UN MODELO HEURISTICO DIFUSO PARA APOYO
A LA TOMA DE DECISIONES EN LA EVALUACION DE DAÑOS
ESTRUCTURALES POST SISMICO DE UN EDIFICIO
DE LA UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

Proyecto de Titulación que se presenta como requisito para optar por el título
de INGENIERO EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

Autores:

Jesús Alberto Sarmiento Carrillo
C.I.: 0928956218

Zully Evelyn Moncayo Córdova
C.I.: 0951377878

Tutor:

Ing. Lorenzo Cevallos Torres, M. Sc.

Guayaquil, agosto del 2018

CERTIFICADO DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del proyecto de titulación, nombrado por el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil.

CERTIFICO:

Que he analizado el Proyecto de Titulación presentado por los estudiantes **JESÚS ALBERTO SARMIENTO CARRILLO y ZULLY EVELYN MONCAYO CÓRDOVA**, como requisito previo para optar por el título de Ingeniero en Sistemas Computacionales cuyo título es:

“Aplicación de un modelo heurístico difuso para apoyo a la toma de decisiones en la evaluación de daños estructurales post sísmico de un edificio de la Universidad de Guayaquil”

Considero aprobado el trabajo en su totalidad.

Presentado por:

Jesús Alberto Sarmiento Carrillo

Cédula de ciudadanía N° 0928956218

Zully Evelyn Moncayo Córdova

Cédula de ciudadanía N° 0951377878

Tutor: Ing. Lorenzo Cevallos Torres, M S.c.

Guayaquil, agosto del 2018



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS
CARRERA DE INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

Autorización para Publicación de Proyecto de Titulación en Formato Digital

1. Identificación del Proyecto de Titulación

Nombre Alumno: Jesús Alberto Sarmiento Carrillo	
Dirección: Durán, Cdlá. Los Rosales, Mz. J Sl. 6	
Teléfono: 0996549361	E-mail: jesus.sarmientoc@ug.edu.ec

Nombre Alumno: Zully Evelyn Moncayo Córdova	
Dirección: Guasmo Sur Av. Abdón Calderón y Eugenio Espejo	
Teléfono: 0994560849	E-mail: zully.moncayoc@ug.edu.ec

Facultad: Ciencias Matemáticas y Físicas
Carrera: Ingeniería en Sistemas Computacionales
Proyecto de titulación al que opta: Ingeniero en Sistemas Computacionales
Profesor guía: Ing. Lorenzo Cevallos Torres, M. Sc.

Título del Proyecto de titulación: Aplicación de un modelo heurístico difuso para apoyo a la toma de decisiones en la evaluación de daños estructurales post sísmico de un edificio de la Universidad de Guayaquil.
--

Tema del Proyecto de Titulación: Lógica Difusa, Heurística, Daños Sísmicos, Habitabilidad de Edificios, Evaluación post sísmica, Toma de decisiones, Vulnerabilidad sísmica.

2. Autorización de Publicación de Versión Electrónica del Proyecto de Titulación

A través de este medio autorizo a la Biblioteca de la Universidad de Guayaquil y a la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas a publicar la versión electrónica de este Proyecto de titulación.

Publicación electrónica:

Inmediata	<input checked="" type="checkbox"/>	Después de 1 año	<input type="checkbox"/>
-----------	-------------------------------------	------------------	--------------------------

Jesús Sarmiento C.

Zully Moncayo C.

3. Forma de envío:

El texto del proyecto de titulación debe ser enviado en formato Word, como archivo .Doc. O .RTF y Puf para PC. Las imágenes que la acompañen pueden ser: .gif, .jpg o .TIFF.

DVDROM

CDROM

INDICE GENERAL

APROBACION DEL TUTOR.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
INDICE GENERAL.....	XIII
INDICE DE CUADROS.....	XV
INDICE DE GRAFICOS.....	XVII
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I.....	3
UBICACIÓN DEL PROBLEMA EN UN CONTEXTO.....	3
SITUACIÓN CONFLICTO.....	4
CAUSAS Y CONSECUENCIAS DEL PROBLEMA.....	6
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	7
EVALUACIÓN DEL PROBLEMA.....	7
OBJETIVOS.....	9
OBJETIVO GENERAL.....	9
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
ALCANCES DEL PROBLEMA.....	9
JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	10
CAPITULO II.....	12
ANTECEDENTES DEL ESTUDIO.....	12
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	14
FUNDAMENTACIÓN LEGAL.....	49
DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	52
CAPÍTULO III.....	54
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	54
TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	55
POBLACION Y MUESTRA.....	56
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	59
TÉCNICA E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	60
PROCEDIMIENTOS DE LA INVESTIGACION.....	61
CAPITULO IV.....	124
RESULTADOS.....	124
CONCLUSIONES.....	126
RECOMENDACIONES.....	127

BIBLIOGRAFÍA	128
ANEXOS	131
ANEXO 1: METAANALISIS	131
ANEXO 2: ENCUESTA A EXPERTOS	162
ANEXO 3: OFICIO PARA EVALUACION VISUAL	172
ANEXO 4: EVALUACION VISUAL DEL EDIFICIO	173

INDICE DE CUADROS

<u>Cuadro 1</u> <i>Causas y Consecuencias del Problema</i>	6
<u>Cuadro 2</u> <i>Delimitación del Problema</i>	7
<u>Cuadro 3</u> <i>Niveles de Intensidad de Sismos</i>	17
<u>Cuadro 4</u> <i>Sismos a nivel Mundial</i>	19
<u>Cuadro 5</u> <i>Sensibilidad de elementos no estructurales</i>	28
<u>Cuadro 6</u> <i>Índice de daño de Park, Ang y Wen</i>	33
<u>Cuadro 7</u> <i>Criterios de Evaluación</i>	38
<u>Cuadro 8</u> <i>Operadores aritméticos en Matlab</i>	50
<u>Cuadro 9</u> <i>Operacionalización de Variables</i>	61
<u>Cuadro 10</u> <i>Variables del Metaanálisis</i>	64
<u>Cuadro 11</u> <i>Bibliografía del Metaanálisis</i>	65
<u>Cuadro 12</u> <i>Tipo de Investigación</i>	66
<u>Cuadro 13</u> <i>Palabras Claves</i>	66
<u>Cuadro 14</u> <i>Criterio de Selección</i>	67
<u>Cuadro 15</u> <i>Frecuencia de la Variable Bibliografía</i>	68
<u>Cuadro 16</u> <i>Frecuencia de la Variable Tipo de Investigación</i>	69
<u>Cuadro 17</u> <i>Frecuencia de la Variable Número de Referencias de Artículos</i>	70
<u>Cuadro 18</u> <i>Frecuencia de la Variable Criterio de Selección</i>	71
<u>Cuadro 19</u> <i>Número de veces que se repite “lógica difusa” en los artículos</i>	72
<u>Cuadro 20</u> <i>Número de veces que se repite “heurística” en los artículos</i>	73
<u>Cuadro 21</u> <i>Número de veces que se repite “daño sísmico” en los artículos</i>	74
<u>Cuadro 22</u> <i>Número de veces que se repite “habitabilidad de edificio” en los artículos</i>	75
<u>Cuadro 23</u> <i>Número de veces que se repite “evaluación post-sismo” en los artículos</i>	75
<u>Cuadro 24</u> <i>Número de veces que se repite “toma de decisiones” en los artículos</i>	76
<u>Cuadro 25</u> <i>Número de veces que se repite “vulnerabilidad sísmica” en los artículos</i>	77
<u>Cuadro 26</u> <i>Criterios y subcriterios de evaluación según Quizhpilema A.E.</i>	80
<u>Cuadro 27</u> <i>Criterios y subcriterios de evaluación según Cajamarca L.A y García</i>	81
<u>Cuadro 28</u> <i>Variables propuestas para evaluación de elementos estructurales</i>	82
<u>Cuadro 29</u> <i>Variables propuestas para evaluación de elementos no estructurales</i>	82
<u>Cuadro 30</u> <i>Variables propuestas para evaluación de condiciones de suelo</i>	83
<u>Cuadro 31</u> <i>Variables propuestas para evaluación de elementos estructurales</i>	83
<u>Cuadro 32</u> <i>Definición de las variables de evaluación para los elementos estructurales</i>	84
<u>Cuadro 33</u> <i>Definición de las variables de evaluación para los elementos estructurales</i>	85
<u>Cuadro 34</u> <i>Definición de las variables de evaluación para los elementos estructurales</i>	86
<u>Cuadro 35</u> <i>Escala para la evaluación del grado de daños</i>	86
<u>Cuadro 36</u> <i>Escala de comparación de Saaty</i>	87
<u>Cuadro 37</u> <i>Opciones de respuesta para las preguntas de la encuesta</i>	89
<u>Cuadro 38</u> <i>Matriz de comparación por parejas del encuestado 1</i>	90
<u>Cuadro 39</u> <i>Matriz de comparación por parejas del encuestado 2</i>	91
<u>Cuadro 40</u> <i>Matriz de comparación por parejas del encuestado 3</i>	91
<u>Cuadro 41</u> <i>Matriz de comparación por parejas del encuestado 4</i>	91
<u>Cuadro 42</u> <i>Matriz de comparación por parejas del encuestado 5</i>	92
<u>Cuadro 43</u> <i>Matriz de comparación por parejas del encuestado 6</i>	92
<u>Cuadro 44</u> <i>Matriz de comparación por parejas del encuestado 7</i>	92

<u>Cuadro 45</u> <i>Matriz de comparación por parejas del encuestado 8</i>	93
<u>Cuadro 46</u> <i>Matriz de comparación por parejas del encuestado 9</i>	93
<u>Cuadro 47</u> <i>Matriz de comparación por parejas del encuestado 1</i>	93
<u>Cuadro 48</u> <i>Matriz de comparación por parejas del encuestado 2</i>	93
<u>Cuadro 49</u> <i>Matriz de comparación por parejas del encuestado 3</i>	94
<u>Cuadro 50</u> <i>Matriz de comparación por parejas del encuestado 4</i>	94
<u>Cuadro 51</u> <i>Matriz de comparación por parejas del encuestado 5</i>	94
<u>Cuadro 52</u> <i>Matriz de comparación por parejas del encuestado 6</i>	95
<u>Cuadro 53</u> <i>Matriz de comparación por parejas del encuestado 7</i>	95
<u>Cuadro 54</u> <i>Matriz de comparación por parejas del encuestado 8</i>	95
<u>Cuadro 55</u> <i>Matriz de comparación por parejas del encuestado 9</i>	95
<u>Cuadro 56</u> <i>Matriz de comparación por parejas del encuestado 1</i>	96
<u>Cuadro 57</u> <i>Matriz de comparación por parejas del encuestado 2</i>	96
<u>Cuadro 58</u> <i>Matriz de comparación por parejas del encuestado 3</i>	96
<u>Cuadro 59</u> <i>Matriz de comparación por parejas del encuestado 4</i>	96
<u>Cuadro 60</u> <i>Matriz de comparación por parejas del encuestado 5</i>	97
<u>Cuadro 61</u> <i>Matriz de comparación por parejas del encuestado 6</i>	97
<u>Cuadro 62</u> <i>Matriz de comparación por parejas del encuestado 7</i>	97
<u>Cuadro 63</u> <i>Matriz de comparación por parejas del encuestado 8</i>	97
<u>Cuadro 64</u> <i>Matriz de comparación por parejas del encuestado 9</i>	98
<u>Cuadro 65</u> <i>Matriz sintetizada de elementos estructurales</i>	98
<u>Cuadro 66</u> <i>Matriz sintetizada de elementos no estructurales</i>	99
<u>Cuadro 67</u> <i>Matriz sintetizada de las condiciones del suelo</i>	99
<u>Cuadro 68</u> <i>Matriz normalizada de la comparación de los Elementos Estructurales</i>	100
<u>Cuadro 69</u> <i>Matriz normalizada de la comparación de los Elementos no Estructurales</i>	100
<u>Cuadro 70</u> <i>Matriz normalizada de la comparación de las condiciones del suelo</i>	100
<u>Cuadro 71</u> <i>Matriz sintetizada para Cálculo</i>	99
<u>Cuadro 72</u> <i>Promedio de cada fila de la matriz normalizada</i>	99
<u>Cuadro 73</u> <i>Multiplicación de matrices</i>	102
<u>Cuadro 74</u> <i>Pesos para los elementos estructurales</i>	103
<u>Cuadro 75</u> <i>Pesos para los elementos no estructurales</i>	103
<u>Cuadro 76</u> <i>Pesos para las condiciones del suelo</i>	103
<u>Cuadro 77</u> <i>Porcentaje de Daños de los Elementos Estructurales</i>	108
<u>Cuadro 78</u> <i>Porcentaje de Daños de los Elementos no Estructurales</i>	110
<u>Cuadro 79</u> <i>Porcentaje de Daños de las Condiciones del Suelo</i>	112
<u>Cuadro 80</u> <i>Matriz de reglas difusas para daño global de edificio</i>	120

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1 <i>Clasificación de edificaciones afectadas por el terremoto abril 2016</i>	5
Gráfico 2 <i>Epicentro de un Terremoto</i>	155
Gráfico 3 <i>Etapas en la Vida de un Edificio</i>	235
Gráfico 4 <i>Proceso de evaluación de seguridad de edificaciones</i>	246
Gráfico 5 <i>Representación de una Función Triangular</i>	44
Gráfico 6 <i>Representación de una Función Trapezoidal</i>	45
Gráfico 7 <i>Representación de una Función Sigmoideal</i>	45
Gráfico 8 <i>Diseño de la Investigación</i>	57
Gráfico 9 <i>Frecuencia de la Variable Bibliografía</i>	68
Gráfico 10 <i>Frecuencia de la Variable Tipo de Investigación</i>	67
Gráfico 11 <i>Frecuencia de la Variable Número de Referencias de Artículos</i>	68
Gráfico 12 <i>Frecuencia de la Variable Criterio de Selección</i>	71
Gráfico 13 <i>Número de veces que se repite “lógica difusa” en los artículos</i>	72
Gráfico 14 <i>Número de veces que se repite “heurística” en los artículos</i>	73
Gráfico 15 <i>Número de veces que se repite “daño sísmico” en</i>	74
Gráfico 16 <i>Número de veces que se repite “habitabilidad de edificio”</i>	75
Gráfico 17 <i>Número de veces que se repite “evaluación post-sismo”</i>	76
Gráfico 18 <i>Número de veces que se repite “toma de decisiones”</i>	77
Gráfico 19 <i>Número de veces que se repite “vulnerabilidad sísmica”</i>	78
Gráfico 20 <i>Criterios y subcriterios de evaluación según Carreño M.L</i>	79
Gráfico 21 <i>Funciones de pertenencia para las variables de elementos estructurales</i>	114
Gráfico 22 <i>Función de pertenencia para daño global en Elementos Estructurales</i> ..	114
Gráfico 23 <i>Nivel de daño estructural dado por Agregación de conjunto difuso y defuzificación (centroide)</i>	114
Gráfico 24 <i>Funciones de pertenencia para nivel de daño en fachada y paredes</i>	115
Gráfico 25 <i>Función de pertenencia para nivel de daño global en elementos no estructurales</i>	115
Gráfico 26 <i>Nivel de daño no estructural obtenido a partir de la agregación y defuzificación (centroide)</i>	116
Gráfico 27 <i>Funciones de pertenencias para nivel de daño por asentamientos y tipo de suelo</i>	117
Gráfico 28 <i>Función de pertenencia para condiciones de suelo</i>	117
Gráfico 29 <i>Nivel de daño por condiciones de suelo obtenido a partir de la agregación y defuzificación (centroide)</i>	117
Gráfico 30 <i>Determinación de la habitabilidad de edificación</i>	118
Gráfico 31 <i>Funciones de pertenencia para nivel de daño estructural</i>	119
Gráfico 32 <i>Funciones de pertenencia para nivel de daño no estructural</i>	119
Gráfico 33 <i>Funciones de pertenencia para nivel de daño global</i>	120
Gráfico 34 <i>Reglas difusas para el daño global del edificio</i>	121
Gráfico 35 <i>Evaluación de reglas y determinación de daño global</i>	122
Gráfico 36 <i>Funciones de pertenencia para Daño global del edificio</i>	123
Gráfico 37 <i>Funciones de pertenencia para condiciones de suelo</i>	123
Gráfico 38 <i>Funciones de pertenencia para la habitabilidad</i>	124
Gráfico 39 <i>Reglas difusas para la habitabilidad</i>	124
Gráfico 40 <i>Evaluación de reglas y determinación del nivel de habitabilidad</i>	125

INDICE DE IMÁGENES

<u>Imagen 1</u> <i>Columnas de un laboratorio del piso 1</i>	106
<u>Imagen 2</u> <i>Viga del Piso 2</i>	107
<u>Imagen 3</u> <i>Conexión viga-columna en el Piso 3</i>	107
<u>Imagen 4</u> <i>Escaleras de Planta Baja</i>	108
<u>Imagen 5</u> <i>Desprendimiento de mampostería en la fachada</i>	109
<u>Imagen 6</u> <i>Fisura en Pared Interna</i>	110
<u>Imagen 7</u> <i>Suelo Arcilloso en las Afueras del Edificio</i>	111
<u>Imagen 8</u> <i>Marca de Inundación</i>	112
<u>Imagen 9</u> <i>Fachada del Edificio</i>	175
<u>Imagen 10</u> <i>Columnas de Fachada</i>	175
<u>Imagen 11</u> <i>Daños en el Bolado</i>	176
<u>Imagen 12</u> <i>Deterioro por Humedad</i>	177
<u>Imagen 13</u> <i>Mal sistema de Drenaje de agua</i>	177
<u>Imagen 14</u> <i>Daños en la Fachada por Humedad</i>	178
<u>Imagen 15</u> <i>Presencia de Fisuras</i>	179
<u>Imagen 16</u> <i>Planta Baja del Edificio – Interior</i>	179
<u>Imagen 17</u> <i>Columnas de un Laboratorio en la PB del Edificio</i>	180
<u>Imagen 18</u> <i>Vigas con Humedad (1)</i>	180
<u>Imagen 19</u> <i>Vigas con Humedad (2)</i>	181
<u>Imagen 20</u> <i>Fisura en Pared Interna</i>	182



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES
UNIDAD DE TITULACION

"APLICACIÓN DE UN MODELO HEURÍSTICO DIFUSO PARA APOYO A LA TOMA DE DECISIONES EN LA EVALUACIÓN DE DAÑOS ESTRUCTURALES POST SÍSMICO DE UN EDIFICIO DE LA UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL"

Autores:

Jesús Alberto Sarmiento Carrillo
Zully Evelyn Moncayo Córdova

Tutor:

Ing. Lorenzo Cevallos Torres, M S.c.

Resumen

Ecuador se encuentra localizado en una zona de amenaza sísmica alta por lo que se vuelve necesario el estudio de los daños post-sísmicos en las estructuras de las edificaciones del país luego de ocurrido un movimiento telúrico. Las técnicas de evaluaciones de daños actuales en el área de ingeniería civil se basan en resultados cualitativos, lo que es vulnerable a criterios subjetivos o contradictorios, por esta razón se sugiere que las inspecciones sean realizadas por expertos con experiencia y completamente capacitados, sin embargo, cuando ocurre un desastre de este tipo no se cuenta con el personal certificado suficiente por lo que se acude a profesionales sin la experiencia para realizar las evaluaciones y esto involucra que las decisiones finales que se tomen no sean las más acertadas. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo final evaluar el comportamiento de daños estructurales post sismo de un edificio mediante la aplicación de un modelo heurístico-difuso para soporte en la toma de decisiones a los expertos. Para el modelo híbrido se utiliza la metodología AHP para determinar los pesos relativos de los grupos de variables de evaluación, consiste en un método heurístico basado en la experiencia de expertos sobre un tema específico y esto combinado con técnicas de lógica difusa permitirán trabajar directamente con los valores cuantitativos de los datos, proporcionando así resultados más precisos que servirán como ayuda en la toma de decisiones. Una vez ingresados los datos correspondientes al daño en los elementos estructurales, elementos no estructurales, y datos relacionados al tipo de suelo, se obtiene el índice de daño global estructural, no estructural y condiciones de suelo, la habitabilidad del edificio se determina mediante la aplicación de reglas difusas basado en inferencia de Mamdani. Como resultado final, el edificio evaluado tiene una afectación de habitabilidad en un "50%".

Palabras Claves: Lógica Difusa, Heurística, Daños Sísmicos, Habitabilidad de Edificios, Evaluación post sísmica, Toma de decisiones, Vulnerabilidad sísmica.



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES
UNIDAD DE TITULACION

**" APPLICATION OF A DIFFUSE HEURISTIC MODEL FOR SUPPORT TO THE
DECISION MAKING IN THE EVALUATION OF STRUCTURAL DAMAGE AFTER
SEISMIC OF A BUILDING OF THE UNIVERSITY OF GUAYAQUIL"**

Authors:

Jesús Alberto Sarmiento Carrillo
Zully Evelyn Moncayo Córdova

Advisor:

Ing. Lorenzo Cevallos Torres, M S.c.

Abstract

Ecuador is located in an area of high seismic hazard, so it becomes necessary to study the post-seismic damage in the structures of the country's buildings after a telluric movement has occurred. The current damage assessment techniques in the area of civil engineering are based on qualitative results, which is vulnerable to subjective or contradictory criteria, for this reason it is suggested that the inspections be carried out by experienced and fully trained experts, however, When a disaster of this type occurs, there is not enough certified staff so that professionals without the experience are used to perform the evaluations and this implies that the final decisions that are made are not the most appropriate. The aim of this research work is to evaluate the behavior of post-earthquake structural damage in a building through the application of a heuristic-diffuse model to support decision-making experts. For the hybrid model the AHP methodology is used to determine the relative weights of the groups of evaluation variables, it consists of a heuristic method based on the experience of experts on a specific topic and this combined with fuzzy logic techniques will allow working directly with the quantitative values of the data, thus providing more accurate results that will serve as help in making decisions. Once the data corresponding to the damage to the structural elements, non-structural elements, and data related to the type of soil is entered, the overall structural, non-structural damage index and soil conditions are obtained, the habitability of the building is determined by the application of fuzzy rules based on inference from Mamdani. As a final result, the evaluated building has a habitability affectation in a "50%".

Keywords: Fuzzy Logic, Heuristic, Seismic Damage, Habitability of Buildings, Seismic Post Evaluation, Decision Making, Seismic Vulnerability.

INTRODUCCION

Ecuador se encuentra en una zona altamente sísmica debido a su ubicación entre la placa de Nazca y la placa continental de Sudamérica, cuyas fallas geológicas han producido desastres en los últimos años. Ante los últimos registros de sismo, concretamente el terremoto del 16 de abril del 2016 se ha evidenciado que las instituciones privadas o públicas, como la Universidad de Guayaquil, no está adecuadamente preparado para una recuperación rápida post-sismo.

Por lo general, cuando existe un movimiento telúrico, existes dos tipos de elementos que suelen ser afectados: los elementos estructurales, que son aquellos elementos que soportan a la construcción, y los elementos no estructurales, aquellos que no forman parte del sistema de soporte de la construcción. Hay un tercer factor conocido como condiciones de suelo, que si bien es cierto no se relaciona directamente con el edificio y es generalmente considerado en el diseño estructural, puede ser motivo de condiciones preexistentes que llevan a la estructura a posibles asentamientos.

La presente investigación se refiere a la problemática existente al momento de realizar evaluaciones de las estructuras de edificios luego de ocurrido un movimiento sísmico, la incertidumbre que existe cuando el profesional evaluador no tiene la experiencia suficiente en el área, genera como consecuencia, que se tomen malas decisiones, que van desde permitir la ocupación del edificio cuando este no está apto, hasta demoler el edificio innecesariamente.

La información que se maneja en las evaluaciones estructurales es subjetiva y depende del criterio y percepción del evaluador, por tal motivo, es necesario un método de evaluación que trate la vaguedad e incertidumbre en este tipo de evaluación, brindándole al profesional un mecanismo que sirva de soporte a la toma de decisiones para determinar la habitabilidad de un edificio luego de ocurrido un movimiento telúrico.

(González Morcillo, 2012) afirma que “La lógica difusa es una lógica multivaluada que permite representar matemáticamente la incertidumbre y la vaguedad,

proporcionando herramientas formales para su tratamiento”, esta disciplina se adapta adecuadamente a la solución del problema de evaluaciones post-sismo. Por otro lado, (Fortuna Lindao, 2014) menciona que “La heurística es la utilización de conocimiento empírico, reglas prácticas y otras estratagemas, para reducir o limitar el problema de búsqueda de una solución”.

Bajo estos conceptos, se propone un método de evaluación post-sismo basado en disciplinas de inteligencia artificial como la lógica difusa y el uso de conocimiento heurístico con el objetivo de evaluar la habitabilidad de edificios de la Universidad de Guayaquil y así apoyar en la toma de las decisiones de los expertos respecto a este tema.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

En este capítulo se destaca la importancia que tiene una acertada evaluación de daños en un edificio después de ocurrido uno de los desastres naturales más catastróficos, el terremoto. Además, se plantean los objetivos que se pretenden alcanzar en esta investigación, así como también el alcance que tiene la misma y los beneficios que se van a obtener al finalizar esta investigación.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

UBICACIÓN DEL PROBLEMA EN UN CONTEXTO

La evaluación de los daños causados en edificaciones por los movimientos sísmicos, es un tema muy relevante ya que, ante tal situación es vital conocer en el menor tiempo posible la habitabilidad de las edificaciones para de esta manera garantizar la seguridad de las personas quienes ocupan la edificación y precisar sobre cuál es su estado estructural actual, esta evaluación debe ser realizada por profesionales con experiencia en el área y sobre todo que tengan conocimientos en ingeniería estructural. Luego del terremoto del 16 de abril del 2016, algunos componentes estructurales de edificios en el país se vieron afectados, las autoridades de la Universidad de Guayaquil son conscientes de ello, por tal motivo, hay incertidumbre acerca de si las estructuras de sus facultades y edificios están en un nivel adecuado para llevar a cabo las actividades académicas diarias, conllevando a un riesgo de accidente en el futuro.

La Universidad de Guayaquil es una Universidad pública, con la misión de promover el progreso, crecimiento y desarrollo sustentable sostenible del país. Se crea en el año de 1867 con 18 facultades, 65 carreras y cerca de 70000 estudiantes, es considerada actualmente la Universidad más grande del Ecuador. Al ser una institución que acoge diariamente a miles de estudiantes, visitantes y

trabajadores en sus diferentes facultades se convierte en una excelente opción de campo de estudio para esta investigación.

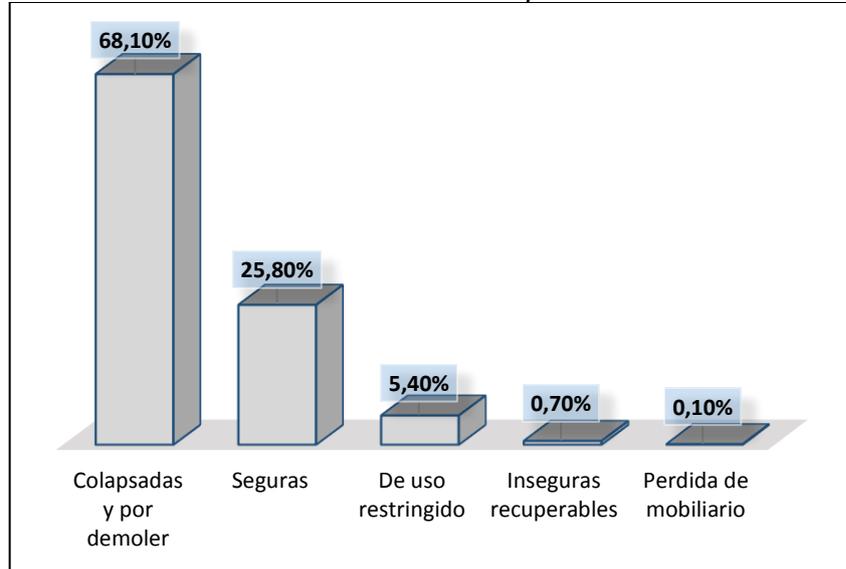
El lugar seleccionado para esta investigación es la facultad de filosófica, letras y ciencias de la educación. Esta unidad académica está comprometida con mejorar los recursos humanos del sistema educativo del país en todos sus aspectos. Su primera aparición fue con el nombre de Facultad de Filosofía, Pedagogía y letras y en resolución del Consejo Universitario del 9 de agosto de 1944 se crea la Facultad de Filosofía que actualmente es dirigida por el Dr. Francisco Moran Marqués y está ubicada en la Cda. Universitaria Av. Delta y Malecón del Salado.

SITUACIÓN CONFLICTO

(Vidal Sánchez, 2012) en su investigación Los terremotos y sus causas, define los terremotos de la siguiente manera: "Un terremoto es un movimiento o vibración repentina causada por la relajación brusca o súbita de energía acumulada por deformación de la Litosfera, que se propaga en forma de ondas sísmicas. Es por tanto un fenómeno transitorio". Ecuador se encuentra localizado en una zona de amenaza sísmica alta, conocida como el Cinturón de Fuego. El último terremoto ocurrido en Ecuador tuvo una magnitud de $7,8 M_w$ y su epicentro fue entre las parroquias Pedernales y Cojimíes del cantón Pedernales, en la provincia de Manabí.

Gráfico 1

Clasificación de edificaciones afectadas por el terremoto abril 2016



Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Secretaría de Gestión de Riesgos

Por tal motivo y teniendo en cuenta también que, lo que busca la ingeniería civil es garantizar que sus construcciones y diseños brinden la seguridad y protección necesaria para los habitantes de estas, se vuelve necesario el estudio de los daños post-sísmicos en las estructuras de las edificaciones del país luego de un suceso telúrico, considerado uno de los desastres naturales más destructores y temidos, esto mediante técnicas de inteligencia artificial aplicando lógica difusa y modelos heurísticos.

De no tomarse en cuenta la propuesta presentada en esta investigación, no se podrán evaluar efectivamente la estructura de los edificios y se dependerá totalmente del criterio del profesional que en algunos casos es inexperto, lo que puede traer como consecuencia una mala decisión con respecto a demoler o reparar el edificio.

CAUSAS Y CONSECUENCIAS DEL PROBLEMA

Cuadro 1
Causas y Consecuencias del Problema

Causas	Consecuencias
Evaluación del estado actual de la edificación realizada por profesionales inexpertos o sin una guía de evaluación.	Sobreestimación o subestimación de los daños. Esto puede llevar a la ocupación peligrosa o la demolición innecesaria de la edificación.
Niveles de daños definidos con calificaciones basadas en parámetros cualitativos.	Subjetividad en el dictamen final de la evaluación.
Recomendaciones y sugerencias de los evaluadores poco claras para quien recibe el informe final de evaluación de daños.	Solicitar nuevas evaluaciones por parte de otros profesionales.
Colapso de la edificación.	Pérdidas monetarias y posibles pérdidas humanas.

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Secretaría de Gestión de Riesgos

DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Cuadro 2
Delimitación del Problema

Campo	Ciencias Básicas, Bioconocimiento y Desarrollo Industrial.
Área	Tecnología, Procesos y Desarrollo Industrial.
Aspecto	Informático.
Tema	Aplicación de un modelo heurístico-difuso para apoyo a la toma de decisiones sobre el comportamiento de daños estructurales post sísmico de un edificio de la Universidad de Guayaquil.

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Secretaria de Gestión de Riesgos

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿De qué manera ayudará la aplicación de un modelo heurístico-difuso para la toma de decisiones que realizan los expertos sobre la evaluación post sísmica de los edificios?

EVALUACIÓN DEL PROBLEMA

Para el siguiente proyecto, los aspectos a destacar son los siguientes:

Delimitado: El problema está definido en términos de espacio en la Universidad de Guayaquil, concretamente en la Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación y la población objeto de estudio son los edificios de la Facultad de Filosofía de la Universidad de Guayaquil.

Claro: El problema detalla en base a 3 ideas principales que son:

1. El contexto, haciendo énfasis en el espacio físico y la población relacionada al estudio, esto permitirá al lector ubicarse en el contexto del problema de manera efectiva sin necesidad de manejar previamente la información acerca del tema de estudio.

2. La propuesta y necesidad de implantación que surge a partir de los hechos ocurridos el 16 de abril del 2016.
3. Las consecuencias de no aplicarse la propuesta: se resume de manera concisa lo que provocaría no aplicar la evaluación de estructuras mediante el modelo heurístico-difuso.

Evidente: La dificultad manifiesta claramente en el hecho de que, en muchos casos, el número de profesionales expertos para evaluar las estructuras de los edificios es muy reducido y para cumplir la demanda usualmente se involucra a personal que no es experto, lo que ha producido la toma de malas decisiones.

Relevante: La propuesta al conflicto planteado tiene relevancia debido a que, ante la presencia de incertidumbre por parte del personal encargado de evaluar los edificios, el modelo brindará los mejores resultados y en el menor tiempo posible para la toma de decisiones sobre qué hacer con la estructura evaluada.

Factible: La factibilidad de este proyecto está dada por tener artículos elaborados anteriormente con el objetivo de evaluar estructuras post-sísmico con otras técnicas, además se dispone de recurso humano con experiencia en el tema.

Original: Anteriormente, se indica que el problema tiene artículos relacionados, aunque implementando otras técnicas de solución. La presente propuesta tiene originalidad en el sentido de que no se ha implementado un modelo heurístico-difuso, lo que constituye un nuevo enfoque.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento de daños estructurales post sismo mediante la aplicación de un modelo híbrido heurístico-difuso para soporte en la toma de decisiones a los expertos respecto al nivel de habitabilidad de un edificio de la Universidad de Guayaquil.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar la relación entre la heurística y la lógica difusa para establecer el diseño del modelo heurístico difuso.
- Determinar los conjuntos de variables y valores lingüísticos para alimentar las entradas del modelo heurístico difuso.
- Aplicar un modelo híbrido de evaluación para obtener el porcentaje de habitabilidad del edificio que servirá de apoyo a la toma de decisiones de los expertos.

ALCANCES DEL PROBLEMA

El modelo colaborará a los profesionales en ingeniería y seguridad civil en la toma de decisiones en la ardua tarea que estos realizan al decidir si un edificio es completamente habitable o no después de haber sufrido un movimiento telúrico, para lo cual se consideran los siguientes puntos:

- La investigación se realizará en la Universidad de Guayaquil, específicamente en la Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación y su población estará comprendida por los estudiantes de dicha facultad.

- Revisión documental de artículos científicos indexados en revistas como Dialnet, Researchgate, Taylor & Francis, Springer, sobre trabajos relacionados a la heurística y la lógica difusa para obtener información concreta sobre el diseño del modelo híbrido heurístico-difuso a partir de una matriz de metaanálisis.
- Entrevista y encuestas con expertos en ingeniería civil, arquitectura e ingeniería estructural para determinar los grupos de variables que se deben evaluar en una inspección post sismo, además de los rangos numéricos de cada una de estas.
- Se hará uso de la herramienta informática (MATLAB) para determinar las funciones de pertenencia que serán utilizadas, el grado de membresía de cada variable a los conjuntos difusos dependiendo del valor de entrada y su correspondiente valor defuzificado para la obtención del nivel de habitabilidad del edificio.

JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Ante un sismo fuerte, la evaluación de los componentes de los edificios por lo general es realizada por un número amplio de expertos en la construcción con el fin de evitar cometer errores que pongan en riesgo la seguridad de las personas.

En muchos casos, el número de profesionales expertos es muy reducido y para cumplir la demanda usualmente se involucra a personal que no es experto, lo que ha producido la toma de malas decisiones.

Los modelos basados en lógica difusa tratan de imitar la forma en que el ser humano toma decisiones, es una lógica multivaluada donde los valores de verdad de las variables pueden ser cualquier número real, indicando una pertenencia a una determinada opción. Por otro lado, la heurística se basa en la experiencia del individuo para encontrar la mejor solución a un problema. La heurística como disciplina científica, y en su sentido más amplio puede ser aplicada a cualquier ciencia con la finalidad de elaborar medios, principios, reglas o estrategias como

ayuda para lograr encontrar la solución más eficaz y eficiente al problema que analiza el individuo.

Al aplicar un modelo heurístico basado en lógica difusa, se proporcionará resultados certeros en base a información previamente analizada que permitirá a los profesionales tener una visión más clara del estado de los edificios y por ende se tomarán mejores decisiones al respecto, también optimizará el tiempo en que se toman las decisiones, debido a que en muchos casos se dispone de poco tiempo.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

En este capítulo se exponen los antecedentes que llevaron a realizar esta investigación y la revisión de la literatura que se realizó referente a la historia de los diferentes terremotos que han ocurrido a lo largo de la historia y las devastadoras consecuencias que dejaron a su paso, además se hace referencia las definiciones más importantes de las diferentes herramientas y técnicas que se van a utilizar en esta investigación.

ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Con la convergencia entre la lógica difusa que es un área de aplicación de la inteligencia artificial y la heurística que es una técnica de indagación y descubrimiento, se plantea la aplicación de un modelo heurístico-difuso que cumpla con el objetivo principal de esta investigación, mismo que será implementado en la facultad de filosófica, letras y ciencias de la educación de la Universidad de Guayaquil. El estudio contempla una investigación documental, donde se analizarán más de cincuenta estudios y proyectos, a lo largo de 5 años de aplicación de diferentes métodos, con el propósito de establecer un acercamiento a los temas que atraen la atención de los investigadores del área y en lo posible identificar nuevas líneas de investigación.

Un primer trabajo corresponde a la investigación realizada por (Cajamarca Palma & García Lema, 2017) quienes realizaron la propuesta de “Evaluación de la estructura de daños de un edificio post-sísmico aplicando técnicas de mapas cognitivos difusos y redes neuronales de la Universidad de Guayaquil”. En este trabajo se analizó un método para la evaluación post-sísmica de las estructuras de un edificio, para lo cual se manejaron teorías sobre inteligencia artificial, lógica difusa, mapas cognitivos y redes neuronales. Estas técnicas facilitan la ardua

tarea de toma de decisiones de los expertos con respecto a la habitabilidad de las edificaciones después de un desastre sísmico.

Los autores en su investigación aplicaron la técnica de la encuesta y la entrevista y con la herramienta estadística del metaanálisis demostraron que el tema propuesto tuvo una aceptación del 52.5% con una muestra de sesenta papers que abordan el tema principal. Además, a través de la implementación del neurodifusor mediante el uso de la herramienta Matlab se pudo determinar la proximidad porcentual con el método visual que implementa el experto al momento de evaluar un edificio.

El segundo trabajo corresponde a (Tibaduiza Carreño, 2015) lleva por título: “Un sistema experto para la evaluación del daño post-sísmico en edificios.” En este trabajo, así mismo se plantea un modelo que sirve para apoyar el proceso de evaluación de daños luego de ocurrir un terremoto. Para el procesamiento de esta información se diseñó una red neuronal de tres capas de aprendizaje, usando el algoritmo de Kohonen. En la investigación se utilizaron datos correspondientes a las evaluaciones de daño realizadas luego del sismo ocurrido el 25 de enero de 1999 en Colombia en la zona del Eje Cafetero.

El trabajo llevado a cabo por (Carreño Tibaduiza, 2015) concluye que, las redes neuronales y la teoría de conjuntos difusos son herramientas aplicables a un proceso de evaluación del daño sísmico, debido a la naturaleza de la información que se utiliza, subjetiva e incompleta. El uso de estas herramientas dentro de la Ingeniería Civil ha tenido muy poca difusión, por lo cual se recomienda promover su uso con el fin de proveer soluciones idóneas y versátiles a diferentes problemas dentro de este campo.

Las investigaciones en mención se relacionan con la investigación en curso, ya que proponen métodos computacionales híbridos para la evaluación de daños estructurales post-sísmicos. Estos métodos son de más ayuda en países que están geográficamente ubicados en zonas de actividad sísmica alta, como es el caso de Ecuador.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Diferentes desastres naturales

Desde los inicios de la vida en la tierra, los desastres naturales considerados como manifestaciones de la naturaleza han sido responsables de terroríficas, y a veces siniestras consecuencias que atentan en contra de la vida y seguridad de los habitantes de la tierra, así como a la estabilidad del suelo y de las estructuras, provocando grandes cantidades de pérdidas tanto humanas como económicas.

Los desastres naturales se hacen sentir de diversas formas, y los hay con características y apariciones diferentes. Entre los fenómenos más comunes se encuentran los deslizamientos de tierra, estos son provocados por las fuertes lluvias que se presentan durante la época de invierno en muchos países del mundo o también como consecuencia de un terremoto, dejando como resultado un sin número de personas, animales y viviendas enterradas bajo la tierra.

Otro de los desastres naturales que mayormente se presenta es el huracán, estos se originan en las zonas costeras y traen consigo lluvias extremadamente fuertes, vientos que producen el desprendimiento de las estructuras del suelo y destruyen lo que encuentran a su paso, además de inundaciones y tornados, sin embargo, este es un tipo de desastre natural que ya es predecible, ayudando así a prepararse para su llegada.

El tercer fenómeno tratado es el incendio forestal, como indican (Cardenas, Medel, Castillo, Vazquez, & Casco, 2013) en el trabajo aplicación para la predicción de incendios forestales en la provincia de Córdoba: “Los incendios forestales son uno de los mayores problemas ambientales y producen un daño ecológico, económico y humano irreparable.”

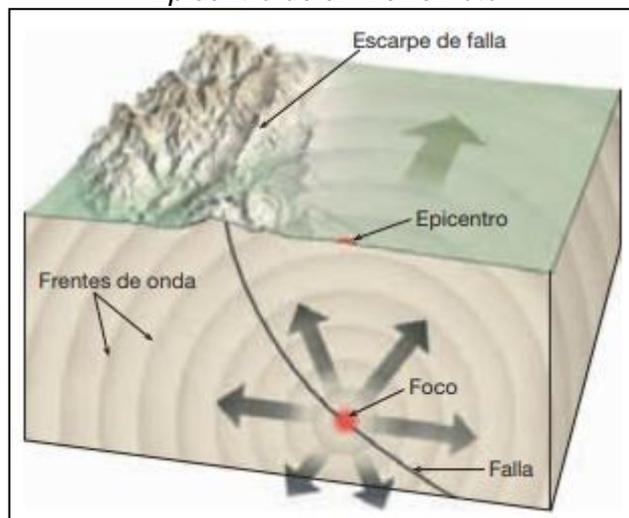
Este tipo de incendio puede ser provocado o natural, cuando es natural por lo general, se producen por rayos caídos en el bosque, exceso de calor o falta de lluvia, por otro lado, cuando son provocados suelen ser por voluntad propia o por descuido del humano responsable.

Sismos

Como última referencia de desastres naturales se encuentran los sismos ya que, al ser una parte principal de esta investigación es necesario profundizar en sus conceptos básicos para mejor comprensión del lector.

(Tavera Huarache, 2014) en su trabajo Evaluación del peligro asociado a los sismos y efectos secundarios en Perú hace referencia a E. Tarbuck, que menciona: “Los terremotos son vibraciones de la tierra producidas por la liberación rápida de energía desde rocas que se rompen debido a que han sido sometidas a esfuerzos que superan sus límites de resistencia. Como se explica gráficamente en el gráfico 2, la energía liberada, que adopta la forma de ondas, irradia en todas las direcciones desde el origen del terremoto, esta zona también se la conoce como foco y a la superficie que está directamente encima del foco se la denomina epicentro. Los movimientos que producen la mayoría de los terremotos ocurren a lo largo de grandes fracturas denominadas fallas, que suelen estar asociadas con los bordes de las placas de la tierra.”

Gráfico 2
Epicentro de un Terremoto



Elaboración: E. Tarbuck
Fuente: Tavera Huarache, 2014

Esto se puede entender mejor si se imagina el lanzamiento de una piedra en un depósito de agua que está en total tranquilidad, este acto va a provocar que se formen ondas en el agua. Exactamente igual a como el choque de la piedra con

el agua produce el movimiento de ondas en la misma, un terremoto genera ondas sísmicas que irradian a través de la Tierra.

Por otro lado, para (Lazcano Ponce & Oropeza Abundez, 2018), “Los terremotos se pueden definir como el efecto geológico que se manifiesta por una sacudida fuerte y prolongada que puede dañar severamente las construcciones o causarles el colapso total. Los movimientos vibratorios de los terremotos pueden inducir efectos geológicos secundarios, como la licuefacción del suelo, deslizamientos y peligrosas fallas a las construcciones, o desencadenar ondas sísmicas marinas (tsunamis/ maremotos), que pueden causar destrozos en las costas a miles de kilómetros del epicentro. Los terremotos también pueden resultar en grandes efectos no geológicos (por ejemplo, incendios, inundaciones por fallas en los diques que contienen el agua de las presas, liberación de materiales tóxicos o radiactivos), que podrían ser más catastróficos que los efectos iniciales.”

Cada vez que ocurre un desastre de este tipo, los entendidos en el tema determinan la intensidad del sismo mediante las escalas de magnitud de Richter o la escala de Mercalli. Sobre la primera, (Fernandez Murillo, 2017) menciona: “La escala de Richter es, una graduación de la magnitud de los sismos, deducida en 1935 por el geofísico Charles Richter y desarrollada después por él y por Beno Gutenberg. La escala se definió originalmente como el logaritmo de la amplitud del movimiento de un sismógrafo estándar situado a 100 km de distancia del epicentro de un sismo. Es también conocida como la escala de magnitud local, y es la escala más utilizada por los sismólogos.”

Los niveles de intensidad de los sismos y los daños que pueden causar, se definen en el cuadro 3, de acuerdo a (Lario & Bardaji, 2017).

Cuadro 3
Niveles de Intensidad de Sismos

MAGNITUD	EFECTOS DEL TERREMOTO
Menor a 3.5	Es registrado pero no se siente.
3.5 - 5.4	A menudo se puede sentir pero no causa daños mayores.
5.5 - 6.0	Ocasiona daños ligeros a las construcciones.
6.1 - 6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas.
7.0 a 7.9	Terremoto. Causa daños graves.
Mayor a 8	Gran terremoto. Destrucción tota.

Elaboración: Lario & Bardaji

Fuente: Lario & Bardaji, 2017

Sismos a Nivel Mundial

En los últimos 8 años, alrededor del mundo se han registrado un total de 22 sismos aproximadamente, mismos que fueron categorizados como catastróficos por la gran cantidad de daños estructurales y pérdidas humanas y económicas que dejaron a su paso. En el cuadro 4 se presentan más detalles de los sismos en mención.

Cuadro 4
Sismos a nivel Mundial

Lugar del Sismo	Fecha	Magnitud	
		Escala de Richter	Profundidad
Haití	12/01/2010	7	15 Km
Chile	27/02/2010	8,8	30,1 Km
Quinghai (China)	14/04/2010	7,1	10 Km
Isla de Sumatra (Indonesia)	26/10/2010	7,5	20,6 Km
Christchurch (Nueva Zelanda)	22/02/2011	6,3	5 Km
Japón	11/03/2011	9	29 Km
Birmania	24/03/2011	6,8	10 Km
India y Nepal	18/09/2011	6,8	19,7 Km

Turquía	23/10/2011	7,2	16 Km
Azerbaiyán Oriental	14/08/2012	6,2	11 Km
Indonesia	11/04/2012	8,6	33 Km
Provincia de Sichuan (China)	20/04/2014	7	10 Km
Filipinas	15/10/2014	7,2	30 Km
Provincia de Yunnan (China)	03/08/2014	6,5	10 Km
Nepal	25/04/2015	7,9	15 Km
Chile	16/09/2015	8,4	23,3 Km
Ecuador	16/04/2016	7,6	20 Km
Italia	24/08/2016	6,2	5,3 Km
Bougainville, Papúa Nueva Guinea	22/01/2017	7,9	153 Km
Chiapas, México	07/09/2017	8,2	58 Km
Puebla, México	19/09/2017	7,1	12 Km
Región fronteriza de Iran-Irak	12/11/2017	7,3	33,9 Km

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Secretaría de Gestión de Riesgos

Estadísticamente hablando, con estos 22 sismos registrados se calcula un promedio de 3 sismos catastróficos por año en diferentes partes del mundo, lo que evidencia la necesidad de establecer un modelo de análisis y evaluación eficaz que apoye en la toma de decisiones que realizan los expertos durante el proceso de evaluación de daños estructurales posteriores a un sismo, esto en vista de que la seguridad e integridad de las personas habitantes de las diferentes edificaciones e inversión económica dependen de la decisión tomada por el experto evaluador.

En Haití, el 12 de enero del 2010 se suscita un devastador terremoto que convirtió en escombros a Puerto Príncipe, la capital del país. Como lo mencionan los

escritores de la revista INVI, (Bris Marino, Bendito Muñoz de Cuerva, & Ceano-Vivas, 2016) El terremoto “afectó a 3,5 millones de personas, incluida toda la población de Port-au-Prince (2,8 millones de personas). El gobierno haitiano estimó 222.570 muertos y 300.572 heridos. Más de 105.000 viviendas fueron totalmente destruidas y al menos 188.383 sufrieron daños severos.”

“Antes del terremoto, Haití ya era uno de los países más pobres del mundo. Sus indicadores socioeconómicos estaban entre los más bajos. En 2009 ocupaba la posición 149 de 182 países en el Índice de Desarrollo Humano de las Naciones Unidas, la más baja en el hemisferio occidental y tenía una esperanza de vida al nacer de 61,5 años, la más baja del continente americano. En lo que a vivienda se refiere, las condiciones de vida eran igualmente malas: según datos del Comité de Emergencias de Desastres, el 86% de la población de su capital vivía en condiciones marginales, bajo hacinamiento, en edificios de hormigón mal contruidos, muchos de ellos sin aseo y evidentemente todos fueron colapsados durante el seísmo de magnitud 7.0 en la escala de Richter.” (Bris Marino, Bendito Muñoz de Cuerva, & Ceano-Vivas, 2016, pág. 2)

El terremoto más poderoso en la historia de Norteamérica tuvo lugar en Alaska (EE UU) en el año de 1964 con una magnitud de 9.2 grados en la escala de Richter. (Pegaso, 2017) en su trabajo El Gran Terremoto de Alaska en 1964, menciona: “Los daños en la región fueron catastróficos, aunque el terremoto no dejó más de una quincena de muertes, en parte debido a la poca densidad de población de esta zona de Alaska. En Anchorage, a 125 Km. del epicentro se derrumbaron numerosos edificios y los que no, quedaron en su mayoría irreparables, aparte de esto también sufrió numerosos corrimientos de tierras que hicieron todavía más desoladora la imagen de la ciudad.”

El 11 de marzo del año 2011, los habitantes de la costa del pacifico de Tohoku, localizada en Japón, vivieron uno de los sucesos más devastadores cuando aproximadamente a las 14 horas con 46 minutos hora local se registró un terremoto de magnitud 9.0, que posteriormente provocó un tsunami. Como consecuencia, “más de 15.000 personas fallecieron y entre heridos y desaparecidos la cifra superó las 9.000 personas, además de esto, la agencia japonesa de la policía nacional (AJPN) contabilizó más de 113.000 colapsos

totales entre edificios y viviendas, más de 145.000 colapsos parciales y aproximadamente 521.000 edificaciones y viviendas con daños parciales.” González. M (2011) pág. 2.

Cinturón de Fuego del Pacífico

Como consecuencia del movimiento de las placas tectónicas se formó el Cinturón de Fuego del Pacífico. La litosfera de la Tierra está dividida en grandes losas o secciones de 80Km de espesor conocidas como placas, las cuales encajan entre sí pero no están completamente unidas, pues se mueven como resultado de procesos internos del planeta que suceden miles de kilómetros debajo de la superficie terrestre. Mientras estas losas se mueven encima del manto (capa intermedia de la tierra), tienden a chocar y separarse entre sí, y a veces hundirse unas debajo de otras. Es por esto que, en esta zona se registra una altísima actividad sísmica y volcánica (Portal Inmobiliario, 2016)

El Cinturón de Fuego pasa por Australia, sureste de Asia y por Sudamérica, los países que lo conforman son: Chile, Perú, Ecuador, Colombia, Panamá, México, Estados Unidos, Canadá, Islas Aleutianas, costas de China y Japón.

Sismos en América Central y América del Sur

Como se mencionaba en el párrafo anterior, México es uno de los países que pertenece al Cinturón de Fuego del Pacífico y los dos últimos golpes sísmicos que sufrió fueron el 7 y 19 de septiembre del 2017, el primero tuvo como epicentro la ciudad de Chiapas registrando una magnitud de 8,2 grados en la escala de Richter y el segundo en Puebla con una magnitud de 7,1. Este suceso se lo ha calificado como el desastre natural más costoso de México.

El terremoto dejó un total de 291 personas fallecidas, 31 millones de personas potencialmente afectadas y el 58.6% de las estructuras de todos los establecimientos de las zonas afectadas resultaron con daños, las pérdidas económicas se estimaron entre los 13.000 y 36.700 millones de pesos (entre 725 y 2.000 millones de dólares). (Organización Mundial de la Salud , 2017).

En Suramérica, uno de los terremotos más catastróficos fue el ocurrido en Valdivia, Chile registrado el 22 de mayo de 1960 con una magnitud de 9.5 grados en la escala de Richter. Es considerado hasta la actualidad como el terremoto más grande del mundo, se hizo sentir en toda Suramérica. Luego de la evaluación de los daños y pérdidas, se registraron 4.655 personas entre muertas y heridas, además de 2.000.000 de familias que perdieron su hogar y daños graves en diversos edificios y obras viales. Este terremoto trajo consigo un tsunami, mismo que afectó a Hawai, Japón, Nueva Zelanda, Filipinas y Estados Unidos.

En nuestro país, desde hace más de 50 años, específicamente desde el terremoto de Ambato del 5 de agosto de 1949, no se producía un terremoto de tal nivel de desastre como el que tuvo lugar en el cantón de Pedernales, provincia de Manabí el 16 de abril del 2016 aproximadamente a las 18 horas 58 minutos hora local con una magnitud de 7.8. Este terremoto dejó más 600 personas fallecidas, aproximadamente 9 desaparecidos y más de 6.000 personas heridas.

De acuerdo a los datos de la secretaria nacional de gestión de riesgos, en las provincias más afectadas por el terremoto, se tabularon 68,10% de edificaciones colapsadas, menos del 6% del total de las edificaciones se consideraron de uso restringido y tan solo el 25,80% de las edificaciones fueron clasificadas como seguras y habitables.

Daños estructurales en las ciudades de Portoviejo, Pedernales y Guayaquil

La ciudad más afectada en sus edificaciones fue Portoviejo, registrando el colapso de 40 edificios de hormigón armado en el centro de la ciudad.

Una de las principales causas de los colapsos de tantos edificios en esta ciudad se debe a las columnas cortas, las cuales se crean generalmente por una disposición inapropiada de las paredes o por consideraciones erróneas tomadas durante el cálculo estructural. Otras de las principales patologías fueron las columnas débiles y vigas fuertes, la falta de confinamiento en la unión de viga-columna y en las vigas y columnas, también se presentaron muchos casos en donde se habían realizado adiciones de pisos no planificados en el cálculo original. (Aguilar & Mieles, 2016, pág. 8)

Por su parte, en Pedernales, cantón de la provincia de Manabí se registraron 23 hoteles colapsados totalmente de los 35 que existían y los otros 12 tuvieron que ser demolidos ya que, debido a la gran cantidad de daños estructurales que presentaban fueron evaluados como no habitables, esto de acuerdo al informe emitido por el alcalde de este cantón.

En Guayaquil, el escenario fue diferente. En cuanto a edificaciones no se registraron colapsos, sin embargo, el puente a desnivel de 34 años de antigüedad ubicado en la Avenida de las Américas, a la altura de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte colapsó como consecuencia del terremoto, este suceso dejó dos personas fallecidas. Aunque no hubo edificaciones colapsadas, 243 edificios y viviendas han resultado afectados con daños parciales luego del terremoto, de acuerdo al informe emitido por la secretaria nacional de gestión de riegos.

Esto demuestra que el país no estaba preparado para un terremoto de semejante magnitud, a pesar de que en el pasado se ha tenido sismos de magnitud semejante, sin embargo, al no estar las ciudades tan pobladas, las pérdidas no fueron tan elevadas como las de este último terremoto. (Aguilar & Mielles, 2016, pág. 25).

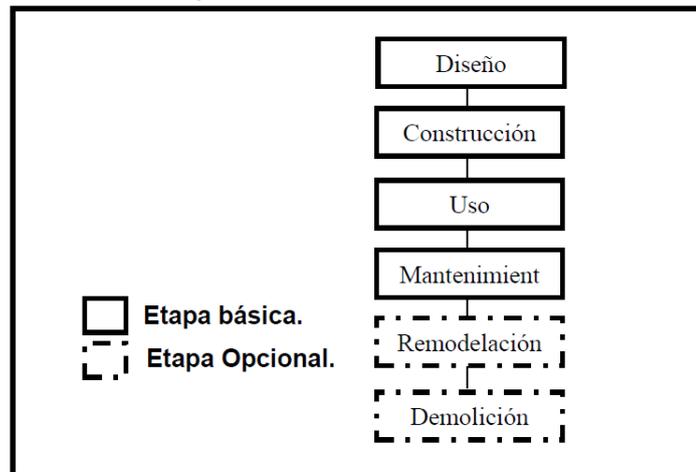
Según se explica en Ciencias de la Tierra, escrito por los geólogos (Tarbuck & Lutgens, 2013), “más de 300.000 terremotos con intensidad suficiente para dejarse sentir se producen cada año en todo el mundo. Por fortuna, en la mayoría de los casos se trata de temblores pequeños y producen pocos daños. En general, sólo tienen lugar unos 75 terremotos significativos cada año, y muchos de ellos se producen en regiones remotas. Sin embargo, a veces se produce un terremoto grande cerca de un centro de población importante. Bajo esas condiciones, un terremoto se cuenta entre las fuerzas naturales más destructivas de la Tierra.”

La problemática de la investigación está representada por el nivel de incertidumbre que existe al realizar la evaluación de las estructuras de los edificios. Con el fin de entender todo lo que respecta al nivel de incertidumbre, se explicarán a continuación los factores que lo involucran.

Etapas de vida de un Edificio

(Cajamarca Palma & García Lema, 2017), indica que las etapas de vida de un edificio son: Diseño, construcción, uso, mantenimiento y dos etapas opcionales que se remodelación o demolición, en el gráfico 3 ilustra claramente el concepto expresado por el autor.

Gráfico 3
Etapas en la Vida de un Edificio



Elaboración: Luis Cajamarca, Carmen García

Fuente: Evaluación de la estructura de daños de un edificio post-sísmico aplicando técnicas de mapas cognitivos difusos y redes neuronales de la Universidad de Guayaquil

Vulnerabilidad sísmica en edificaciones

La vulnerabilidad sísmica se define como una debilidad en una estructura que está propensa a sufrir algún tipo de daño ante la materialización de un evento sísmico. En general se acepta que la vulnerabilidad de un edificio puede ser estructural y no-estructural. “La vulnerabilidad estructural consiste en la capacidad que tiene la estructura para soportar los desplazamientos y los esfuerzos que uno o varios movimientos sísmicos pueden causarle durante su vida útil.” (Carreño Tibaduiza, 2015, pág. 3)

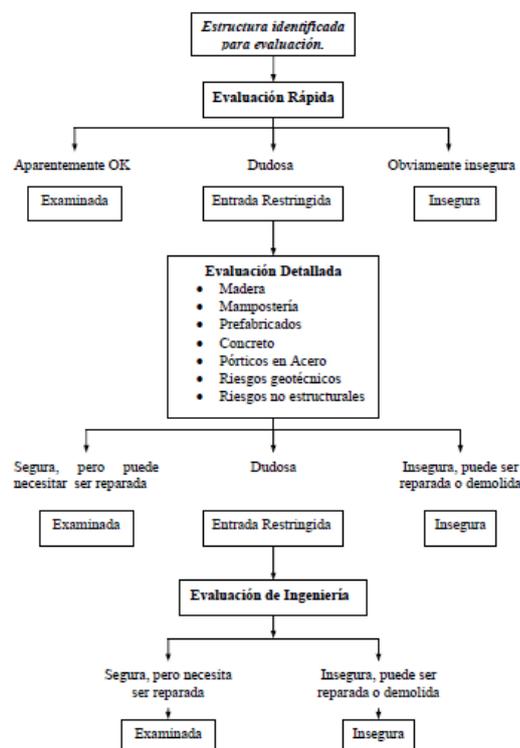
La vulnerabilidad no-estructural, en otro sentido, tiene que ver con la operación o funcionamiento del edificio, en donde componentes como los acabados, divisiones, instalaciones juegan un papel fundamental en este tipo de vulnerabilidad. De su desempeño en el caso de un sismo depende que el edificio mantenga su operación y pueda seguir ofreciendo sus servicios.

Según (Carreño Tibaduiza, 2015), después de ocurrido un terremoto, en varios lugares del mundo, mediante la evaluación y registro del daño en los edificios se ha propuesto funciones que relacionan la severidad del sismo en cada lugar y el daño ocurrido en estructuras de un mismo tipo. Estas relaciones expresan los daños o las pérdidas específicas para diferentes valores de amenaza sísmica.

La autora, además, indica que se han hecho esfuerzos por desarrollar métodos para evaluar de forma rápida las edificaciones después de ocurrido un sismo. Estas evaluaciones no solo contribuyen a la toma de decisiones acerca de la estructura evaluada, sino que aporta en la realización de mejoras a los estándares sismorresistentes actuales. Una vez que se ha hecho la evaluación respectiva es posible hallar curvas de vulnerabilidad empírica que son útiles para el estudio de las edificaciones, a continuación, se detalla el proceso que siguen algunos métodos de evaluación.

Gráfico 4

Proceso de evaluación de seguridad de edificaciones



Elaboración: Tibaduiza Carreño

Fuente: Sistema experto para la evaluación del daño post-sísmico en edificios

Elementos propensos al Daño Sísmico

Para cuantificar el daño es importante considerar los sistemas que se encuentran expuestos, estos se pueden agrupar en 4 clases de elementos:

- Elementos estructurales: son los elementos que componen los sistemas resistentes de cargas verticales (gravitatorias) y cargas laterales.
- Elementos arquitectónicos: son otros elementos, tales como: muros divisorios, ventanales, revestimientos, etc. Generalmente son utilizados para la división, el aprovechamiento de espacios en las construcciones y aspectos relacionados con la estética de la estructura. En realidad, aunque su diseño, distribución y construcción no está intencionalmente relacionado con el sistema resistente de la estructura o edificio, su interacción con el mismo es importante y no puede ser ignorada.
- Instalaciones: se trata de elementos que suministran servicios como, por ejemplo; tuberías de agua, redes de electricidad y alcantarillado y conducciones de gas.
- Contenidos: son los elementos que están dentro del edificio, pero no hacen parte de la estructura, tales como: maquinarias, equipos, mobiliario, artículos de decoración, etc.

(Bonett, 2014), menciona que los informes sobre las evaluaciones reconocen que uno de los factores que incrementaron enormemente las pérdidas fue el daño en elementos no estructurales. El estudio de la reacción de los diferentes componentes estructurales ante la presencia de un sismo ha permitido determinar las variables y parámetros que condicionan el daño.

En la siguiente tabla se aprecia la sensibilidad de algunos tipos de elementos no estructurales.

Cuadro 5
Sensibilidad de elementos no estructurales

Tipo	Ítem	Sensible a deriva	Sensible a aceleración
Arquitectónico	Particiones	•	○
	Parapetos		•
	Paneles exteriores	•	○
	Ornamentos		•
Mecánico y eléctrico	Mecanismos generales		•
	Sistemas de tuberías	○	•
	Elevadores	○	•
	Electricidad en general	○	•
Contenido	Archivadores		•
	Equipos de oficina		•
	Equipos informáticos		•
	Equipo no permanente		•
	Objetos de arte y de valor		•

Los puntos sólidos indican la primera causa de daño, mientras que los vacíos corresponden a la causa secundaria.

Elaboración: Zully Moncayo, Jesús Sarmiento
Fuente: Bonett, 2003

Representación del Daño

A continuación, se detalla las cuatro representaciones del daño más utilizadas:

- **Representaciones mecánicas:** implican la determinación de un modelo teórico que describa el comportamiento de un mecanismo estructural mediante los “índices de daño”.

Bonett (2003) afirma. “Una de las funciones más empleadas de este tipo de representación de daño, en estructuras de hormigón, es el índice propuesto por Park y Ang, que expresa el daño en función de la ductilidad de deformación y de la energía inelástica disipada” (p.14).

- **Representaciones físicas:** Representaciones directas que no requieren de un modelo analítico preestablecido, se basan en los estados discretos del daño, es decir; descripciones cualitativas del daño por medio de palabras de diagnóstico (menor, sustancial, moderado, entre otras).

Su problema radica en la ambigüedad de la definición de los estados, llevando a incertidumbres a la hora de valorar los daños de una estructura mediante una simple palabra.

- **Representaciones orientadas a pérdidas:** requieren que se exprese el daño por medio de “relaciones de daño” que se encargan de cuantificar el valor relativo de una pérdida como la relación entre el costo de reparación y el costo de reposición. También, existen relaciones que expresan la degradación de alguna función en el sistema dañado llamadas relaciones de daño funcional, estas últimas son las que se utilizan con más frecuencia, debido a su relación en el contexto socio económico.
- **Representaciones orientadas a reglas de deducción:** Se apoyan en la teoría de la inteligencia artificial para expresar el daño a través de un “estado de daño” definido en términos lingüísticos.

Estados Discretos del Daño

Bonnet (2003) afirma. “Los estados discretos de daño representan una condición límite o tolerable establecida en función de tres aspectos fundamentales” (p.14).

1. Los daños físicos sobre los elementos estructurales y no estructurales.
2. El riesgo al que se encuentran expuestos los ocupantes de la edificación.
3. La funcionalidad de la edificación posterior al terremoto.

Para definir estos estados se necesita establecer una relación entre un calificativo con una descripción específica de los tres puntos mencionados anteriormente, bajo este concepto se puede decir que los estados discretos de daño hacen referencia a “una descripción cualitativa de los efectos producidos por un sismo sobre elementos, los ocupantes y el funcionamiento de una estructura” (Bonnett, 2014).

Clasificación de Acuerdo con los Daños Observados

Park, Ang y Wen (1987) proponen considerar 5 estados de daño en base al deterioro observado después de la ocurrencia de un sismo.

- Sin daño: pequeñas fisuras en la estructura.
- Ligero: se forman grietas en varios componentes de la estructura.
- Moderado: se produce un agrietamiento severo y desprendimientos de hormigón.
- Severo: aplastamiento del hormigón y se pierde la capa que recubre las barras de acero de refuerzo.
- Colapso

Desde otro punto de vista, también se consideran estados discretos basados en daños observados y en la disponibilidad de la estructura para ser utilizada después del sismo. Lo siguiente define tres categorías que pueden ser aplicables a estructuras de hormigón armado y mampostería estructural.

- Utilizable: los daños son leves, lo que permite la utilización de la estructura después de ocurrido el movimiento telúrico.

- Temporalmente utilizable: los daños van entre moderados a severos por lo cual la estructura puede estar sin utilizar por un determinado periodo de tiempo.
- Completamente inutilizable: hay daños severos en las estructuras lo cual puede ocasionar un colapso parcial o total del edificio. La estructura definitivamente no puede ser utilizada luego de ocurrido el terremoto.

(Bonett, 2014) en su trabajo menciona que Bracci et al. (1989) y Stone y Taylor (1993) describen cuatro estados de daño en función de la reparación de la estructura, para ello utilizan la siguiente categorización:

- Sin daño o daños leves
- Reparable
- Irreparable
- Colapso

Esta propuesta puede ser compleja de aplicar desde el punto de vista práctico, pero, “es mucho más útil como una herramienta para la toma de decisiones de reforzamiento o para la planificación y la valoración económica de actividades de reconstrucción después de ocurrido un sismo” (Bonett, 2014).

Indicadores e Índices de Daños

Un índice de daño es un funcional que permite medir una respuesta calculada que representa el grado de afectación sufrido por un componente de toda la estructura.

Estos índices pueden involucrar algunas variables, como, por ejemplo: deformaciones unitarias, curvatura, rotaciones, desplazamientos, deriva entre piso, fuerzas, energía absorbida y energía disipada. La elección de las variables a usar depende del tipo de daño que se desea evaluar (local, intermedio o global).

La determinación de un índice de daño resulta ser un problema complejo el cual no tiene un criterio unificado, por tal motivo, se presenta a continuación los índices que han sido más utilizados por la comunidad científica internacional.

Índice de Daño Local

Determinan el daño en un elemento y pueden ser, o no, acumulativos. Los índices acumulativos tratan de modelar la acumulación del daño cuando una estructura se ve influenciada por una carga cíclica; mientras que, los índices de daños no acumulativos hacen referencia a los modelos de daños elaborados a partir del concepto de ductilidad¹.

Índices de Daño Global

Determinan una medida del daño en toda la estructura o, en algunos casos, en una parte de ésta como puede ser el caso del daño en todo un piso.

Estos índices se pueden obtener a partir de 3 maneras:

1. Utilizando los índices de daño local y factores de ponderación o coeficientes de importancia.
2. A partir de los parámetros modales.
3. Mediante los parámetros de la representación bilineal de la curva de capacidad.

El valor que se puede obtener de un índice de daño por sí solo no tiene la capacidad de representar ningún tipo de evaluación de vulnerabilidad sísmica. Para su completa y clara interpretación, debe haber una relación entre el rango de variación de los índices y los estados discretos de daño, los cuales, permiten describir cualitativamente los daños físicos que resultan en los elementos de una estructura luego de ocurrido un sismo fuerte, el riesgo a los que están expuestos los ocupantes de las instalaciones del edificio y la manera en la que afectan su funcionalidad.

A continuación (Carreño Tibaduiza, 2015) nos muestra un gráfico que establece la relación mencionada anteriormente cuya característica principal es que tienen un carácter con un remanente de subjetividad.

¹ Ductilidad: La **ductilidad** es una propiedad que presentan algunos materiales, como las aleaciones metálicas o materiales asfálticos, los cuales, bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse plásticamente de manera sostenible sin romperse.

Cuadro 6
Índice de daño de Park, Ang y Wen

Estado de daño	índice de Park, Ang y Wen	Descripción del estado de daño
MENOR	$D < 0.1$	Agrietamiento localizado en algunos elementos estructurales.
	$0.1 \leq D < 0.25$	Agrietamiento ligero generalizado en toda la estructura.
MODERADO	$0.25 \leq D < 0.4$	Agrietamiento fuerte y pérdida del recubrimiento localizado en varios elementos estructurales.
SEVERO	$0.4 \leq D < 1.0$	Aplastamiento del concreto y exposición del refuerzo.
COLAPSO	$D \geq 1.0$	Colapso parcial o destrucción total del edificio.

Elaboración: Tibaduiza Carreño
Fuente: Carreño Tibaduiza, 2015

En términos simples, para calcular el daño es necesario seguir los siguientes pasos:

1. Identificar los elementos que se encuentran expuestos.
2. Determinar el tipo de daño que se desea evaluar.
3. Elegir un modelo de daño que represente adecuadamente la respuesta de la estructura.

Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC)

La Norma Ecuatoriana de la Construcción es un conjunto de reglas que tiene como objetivo del Código Ecuatoriano de la Construcción del 2001, con la finalidad de “regular los procesos asociados a la construcción, para que se cumplan con las exigencias básicas de seguridad y calidad de las edificaciones” (Vivienda, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, s.f.).

Estas normas fueron promovidas por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), para establecer la regulación, se deben especificar ciertos parámetros, objetivos y procedimientos basados en los siguientes criterios:

- Establecer parámetros mínimos de seguridad y salud;
- Mejorar los mecanismos de control y mantenimiento;
- Definir principios de diseño y montaje con niveles mínimos de calidad;
- Reducir el consumo energético y mejorar la eficiencia energética;
- Abogar por el cumplimiento de los principios básicos de habitabilidad;
- Fijar responsabilidades, obligaciones y derechos de los actores involucrados.

El 19 de agosto de 2014, el Sr. Ministro de Desarrollo Urbano y Vivienda, el Econ. Diego Esteban Aulestia Valencia, suscribió el Acuerdo Ministerial 0028 por el cual se oficializan los primeros capítulos contemplados para la NEC, relacionados con la seguridad estructural de las Edificaciones.

Estos capítulos forman un conjunto de siete guías prácticas de implementación de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15), orientado a los profesionales y no profesionales del país para la correcta aplicación normativa. Las guías de la serie son: 1) Diseño de pórticos de hormigón armado para viviendas de 1 y 2 pisos; 2) Diseño de estructuras de hormigón armado; 3) Diseño de estructuras de acero; 4) Diseño de estructuras de madera; 5) Evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras; 6) Estudios geotécnicos y trabajos de cimentación; 7) Procedimientos mínimos para trabajadores de la construcción.

Entre las guías publicadas de interés para el presente trabajo están la guía 5 NEC-SE-RE: Rehabilitación Sísmica de Estructuras y la guía 6 NEC-SE-GM: Geotecnia y Diseño de Cimentaciones.

NEC-SE-RE: Rehabilitación Sísmica de Estructuras

“Este documento se vincula con la norma NEC-SE-DS estableciendo los lineamientos para la evaluación del riesgo sísmico en los edificios, incluyendo parámetros para la inspección y evaluación rápida de estructuras para una gestión efectiva del riesgo sísmico” (Vivienda, Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras., 2016).

En su sección Número 5, “Inspección y evaluación sísmica simplificada de estructuras existentes. Pre-evento” indica que la evaluación visual rápida está basada en FEMA 154 para que los profesionales puedan establecer tres categorías de vulnerabilidad:

1. Edificios con baja vulnerabilidad en cuanto a daños y seguridad de los ocupantes frente a un sismo.
2. Vulnerabilidad media, que están dentro de los parámetros aceptables.
3. Vulnerabilidad alta, los cuales necesitan un estudio más detallado, realizado por un ingeniero experto en diseño estructural.

Para lograr esto es necesario pasar por una planificación de evaluación rápida de vulnerabilidad sísmica que conlleva los siguientes factores:

1. Desarrollo de presupuesto que incluya costos de capacitación del personal involucrado.
2. Realización de reconocimiento al sitio, que incluye identificar los tipos de construcciones, mapas de riesgos, tipos de suelo, mapas de deslizamiento de tierra, mapas de fallas, etc.
3. Se necesita pleno conocimiento sobre el formulario de evaluación, este proporciona el espacio para registrar la información de identificación del edificio, un boceto en planta y altura de la edificación, una fotografía,

tipología del sistema estructural, tipo de suelo donde está cimentado, etc. Además de esto, existen criterios y modificadores de evaluación que le permiten al profesional luego de la inspección obtener un puntaje final de la estructura mediante el cual se puede determinar en qué grado de vulnerabilidad se encuentra la estructura evaluada, y si es necesario, realizar una evaluación mucho más profunda. (Vivienda, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, s.f.) indica que “las edificaciones con mayores puntajes serán menos vulnerables frente a un evento sísmico.

4. Selección y preparación del personal encargado de llevar a cabo la evaluación.
5. Si es posible, se puede pedir un plano arquitectónico y/o estructural de la edificación antes realizar la visita, mediante el cual, se puede verificar información importante como la edad, tamaño y tipo estructural e irregularidades.
6. Visita de campo.

En lo que respecta al punto número 3 que menciona el formulario, la sección 5.3.5 de la guía trata sobre la identificación del sistema estructural, en él se indica que hay 13 tipos de sistemas de estructuras. Para cada uno de estos 13 tipos de construcción se han calculado un índice de peligro que refleja la posibilidad de daño y pérdida de una edificación, basándose en FEMA 154 Y 155.

Además, (Vivienda, Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras., 2016) en su sección 5.3.6 menciona a los **modificadores** como los principales factores que afectan significativamente el rendimiento de la edificación en estudio. Cada uno de estos modificadores tienen un valor y dependen del tipo de estructura. Si un modificador no aplica a un determinado tipo de sistema estructural, el valor se representa con N/A.

Inspección y evaluación rápida de estructuras Post-Evento.

Luego de un sismo, son varios los elementos estructurales que pueden sufrir algún tipo de daño como: mamposterías, revestimientos de vidrio, cubiertas, etc. Los cuales pueden llegar a desprenderse y caer. Por esta razón, es importante verificar la usabilidad de los edificios luego de ocurrido un movimiento telúrico con el fin de asegurar la integridad de los habitantes de las diferentes edificaciones.

El objetivo de este tipo de inspección es verificar en poco tiempo y de forma sencilla los edificios afectados luego de un sismo para determinar condiciones de daño y la seguridad de estos. La metodología de evaluación de este tipo contempla elementos como la clasificación de los daños y la definición de las probabilidades de uso de los edificios que sufrieron daño.

“Entre los elementos que destacan para la evaluación de estructuras post-evento destacan” (Vivienda, Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras., 2016, pág. 154):

- Guía para inspección y evaluación rápida de estructuras post-evento.
- Planos de la zona a evaluar.
- Formularios de inspección.
- Pancartas de inspección.

Procedimiento de inspección

El procedimiento de inspección según la Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras en su apartado 5.5 (Inspección y Evaluación Rápida de Estructuras Post-Evento) detalla los siguientes pasos:

1. Examinar la parte exterior de la estructura. Identificar peligros potenciales que comprometan la salud y vida de los habitantes del lugar y la de los mismos inspectores de estructuras post-evento.
2. Examinar el suelo y pavimento buscando fisuras o señales de movimiento de tierra alrededor del área de la estructura.

3. Ingresar a la edificación solo en el caso de que la estructura no pueda ser visualizada completamente desde el exterior o cuando haya sospechas de problemas no estructurales (Ej. Techos o paredes dañadas).
4. Evaluar las estructuras usando los seis criterios que se detallarán en la tabla nn. Completar la evaluación rápida y detallada.
5. Señalizar la estructura de acuerdo a los resultados de la evaluación. Para ello se usan las señales de pancarta (INSEPECCIONADA, USO RESTRINGIDO o INSEGURO). Detallar si la inspección es “exterior” o “exterior e interior”.
6. Se recomienda explicar a los habitantes el significado de las señales de pancartas de USO RESTRINGIDO o INSEGURO.

Esta sección, en su paso 4, menciona criterios de evaluación, en el caso de que ninguno de estos criterios se encuentre en una edificación que está siendo evaluada, la misma puede ser marcada como Inspeccionada, esto si no hay otra amenaza/condición que afecte al estado de la estructura. A continuación, se detallan esos 6 criterios:

Cuadro 7
Criterios de Evaluación

N°	Condición	Acción
1	La edificación ha colapsado totalmente, parcialmente o su cimentación se ha visto afectada.	Señalizar Inseguro
2	La edificación se encuentra fuera de aplomo.	Señalizar Inseguro
3	Daños severos en elementos estructurales importantes, grietas grandes en paredes u otros daños considerables.	Señalizar Inseguro
4	Daños en el antepecho, chimenea o cualquier elemento que pueda caer desde la parte superior de la edificación.	Señalizar Uso Restringido y cercar el área

5	Movimientos de suelos, grietas considerables del suelo, deslaves o incluso derrumbes de material presente.	Señalizar Inseguro
6	Otras amenazas existentes (Ej. Derrame de tóxicos, tuberías de gas rotas, torres de luz derrumbadas.	Señalizar Inseguro y/o cercar el área insegura

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras

El desarrollo de la tecnología, especialmente las que tienen relación con la inteligencia artificial ha abierto las posibilidades de simplificar actividades relacionadas a la evaluación de estructuras de edificios afectadas por sismo.

(Bonett, 2014), hace referencia a la representación orientadas a reglas de deducción como un tipo de representación que se apoya en la inteligencia artificial para expresar el daño a través de un “estado de daño” definido en términos lingüísticos.

Inteligencia artificial

“La IA es la rama de la ciencia que se encarga del estudio de la inteligencia en elementos artificiales y, desde el punto de vista de la ingeniería, propone la creación de elementos que posean un comportamiento inteligente.” (Romero, Dafonte, Gómez, & Penousal, 2017). La inteligencia artificial pretende construir sistemas con un comportamiento parecido al humano. El aprendizaje, la capacidad de adaptación a entornos cambiantes, la creatividad, etc. Son elementos que usualmente se relacionan con el comportamiento inteligente.

(Takeyas, 2017), define a la inteligencia artificial como “una rama de las ciencias computacionales encargada de estudiar modelos de cómputo capaces de realizar actividades propias de los seres humanos en base a dos de sus características primordiales: el razonamiento y la conducta”.

Las definiciones brindadas por varios autores están asociadas a cuatro características fundamentales:

1. Procesos de la mente y razonamiento.
2. Conducta.
3. Evaluación de la condición deseable en función de la eficiencia humana.
4. Evaluación de la condición deseable en base al concepto de inteligencia ideal o racionalidad.

Estas definiciones se enfocan en las facultades mentales y la relación que tiene con las actividades propias de los seres humanos a través de sistemas de cómputo.

Áreas de aplicación de la Inteligencia Artificial.

Entre las áreas de aplicación de la Inteligencia artificial están: Razonamiento automático, la demostración de teoremas, los sistemas expertos, el procesamiento de lenguaje natural, robótica, lenguaje y ambientes de IA, aprendizaje, redes neuronales, algoritmos genéticos, lógica difusa, etc.

Técnicas de búsqueda de soluciones aplicando IA

Newell y Simon propone en su hipótesis del sistema simbólico que el sentido común humano es la base para la solución de problemas que requieren la búsqueda entre varias alternativas debido a que los humanos consideran un número determinado de estrategias a seguir antes de tomar una decisión que resuelva un problema dado.

De este modo (Takeyas, 2017) “se han establecido diferentes alternativas que conduzcan a la solución en dependencia de las características del espacio de estados del problema a resolver”.

El espacio de estados (EE) se define como la representación de un problema que abarca todas las posibles alternativas que se pueden presentar en la solución de este, así como las relaciones que existen entre ellas

Los humanos no solo usan la búsqueda exhaustiva, es decir, también resuelven los problemas basados en la aplicación de reglas de juicio que guíen la búsqueda por aquellas porciones del EE que parezcan “prometedoras”. Estas reglas son conocidas como heurísticas.

Heurística

Una heurística también se define como una estrategia de búsqueda selectiva en el espacio de un problema y guía la búsqueda a lo largo de las líneas que tienen una alta probabilidad de éxito mientras que descartan aquellas trayectorias que no la ofrecen (Luger & Stubblefield, 2016)

“heurística es la manera de alcanzar un objetivo basada en la experiencia más que en el cálculo” (Arenas, Canessa, Castro, & Peinado, 2013, pág. 19).

“La heurística es la utilización de conocimiento empírico, reglas prácticas y otras estratagemas, para reducir o limitar el problema de búsqueda de una solución” (Fortuna Lindao, 2014).

De las heurísticas no siempre se obtiene la solución óptima al problema, pero, de elaborarse una adecuada heurística, sus resultados pueden aproximarse lo más posible a la solución del problema.

Lo más importante es que emplea conocimiento relacionado con la naturaleza del problema para encontrar una solución de manera eficiente. Si el EE proporciona un medio de formalizar el proceso de solución a problemas, entonces las heurísticas permiten manipular ese formalismo con inteligencia.

Esta disciplina es utilizada en conjunto con los sistemas expertos. Un sistema se basa en un amplio conocimiento que se tiene sobre un área que está relacionada a una problemática determinada. El conocimiento se organiza en un conjunto de reglas que permiten al sistema extraer conclusiones a partir de datos de entrada con el objetivo de ofrecer un consejo inteligente; su arquitectura consiste en:

CONOCIMIENTOS + INFERENCIAS= SISTEMA EXPERTO

Lógica difusa

(González Morcillo, 2012) indica la lógica difusa es una lógica multivaluada que permite representar matemáticamente la incertidumbre y la vaguedad, proporcionando herramientas formales para su tratamiento (p. 7).

Básicamente, cualquier problema se puede resolver en base a variables de entrada (espacio de entrada) que producen un valor adecuado de variables de salida. La lógica difusa permite realizar este mapeo respondiendo a criterios de significado, más no de precisión.

Este término fue usado por primera vez en 1974 creado por Lofti A. Zadeh y en la actualidad se usa agrupando la teoría de conjuntos difusos, reglas si-entonces, aritmética difusa, cuantificadores, etc.

Características de la Lógica Difusa

La descripción del comportamiento de un sistema complejo no puede realizarse de forma precisa, por lo que Zadeh plantea usar herramientas que sean capaces de manejar de manera cuidadoso y fiable información imprecisa o incertidumbre, lo cual obliga a desarrollar dos aspectos.

Representación de la información imprecisa: Para lograr esto se propone la aplicación de la teoría de conjuntos. También se propone la aplicación de proposiciones condicionales del tipo Sí-Entonces con el objetivo de describir la experiencia de los sistemas complejos en sus relaciones entrada-salida.

Inferencia sobre información imprecisa: Es la capacidad de obtener nuevos hechos en base a la combinación de datos imprecisos.

A partir de este principio, se pueden detallar las siguientes características asociadas a la lógica difusa:

1. El razonamiento exacto pasa a ser un caso del razonamiento aproximado el cual indica que cualquier sistema lógico puede ser fuzzificado, así, se puede formular el conocimiento humano de forma sistemática.

2. El conocimiento es representado como una colección de restricciones difusas en base a una colección de variables, en sistemas cuyo modelo exacto es difícil de obtener es necesario introducir una aproximación.
3. El proceso de propagación de colecciones difusas da origen a la inferencia.
4. La lógica difusa es frecuentemente usada en sistemas que sirven de ayuda a la toma de decisiones. La lógica difusa a partir de cierto grado de incertidumbre o valores inciertos permite obtener resultados que dan soporte acerca de un conjunto de decisiones que se plantea tomar o no.

Se recomienda usar la lógica difusa en problemas complejos en donde no existe modelo matemático simple asociado; en cuanto a sus necesidades, la lógica difusa “requiere que el conocimiento experto sea expresado lingüísticamente” (González Morcillo, 2012).

Conjuntos difusos

Es un término introducido por primera vez en 1965 por L.A Zadeh que marca el principio de la denominada “teoría de conjuntos difusos”.

Se define a un conjunto difuso como una clase en la que hay una progresión gradual desde la pertenencia al conjunto hasta la no pertenencia; o visto de otra manera, en la que un objeto puede tener un grado de pertenencia definido entre la pertenencia total (valor uno) o no pertenencia (valor cero). Desde esta perspectiva, los conjuntos convencionales, conocidos como conjuntos crisp, pueden verse como un caso particular de conjuntos difusos que solo puede tener dos grados de pertenencia (uno y cero) (González Morcillo, 2012).

Funciones de pertenencia

Las funciones de pertenencia son aquellas que indican el grado en que cada elemento de un universo pertenece a un conjunto difuso determinado. La función de pertenencia de un conjunto A sobre un universo X será de la forma:

$\mu_A: X \rightarrow [0,1]$ donde:

$\mu_A(x) = r$ si r es el grado en que x pertenece a A .

Si el conjunto es borroso, su función de pertenencia tomará valores continuos en el intervalo de $[0,1]$.

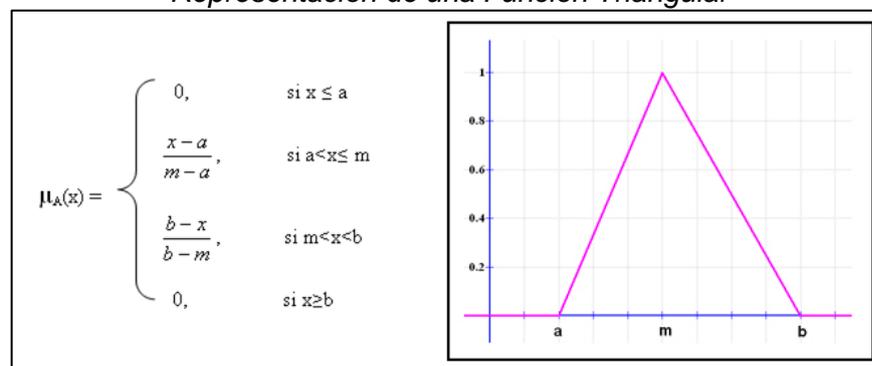
$\mu_A(x) = 0$ si el elemento no pertenece al conjunto, y $\mu_A(x) = 1$ cuando el elemento pertenece totalmente al conjunto.

Para cada conjunto difuso, existe asociada una función de pertenencia para sus elementos. Las formas de las funciones de pertenencia más típicas son: triangular, trapezoidal y gaussiana.

Función triangular

Viene definida por un límite inferior a , un límite superior b , y un valor m tal que: $a < m < b$

Gráfico 5
Representación de una Función Triangular

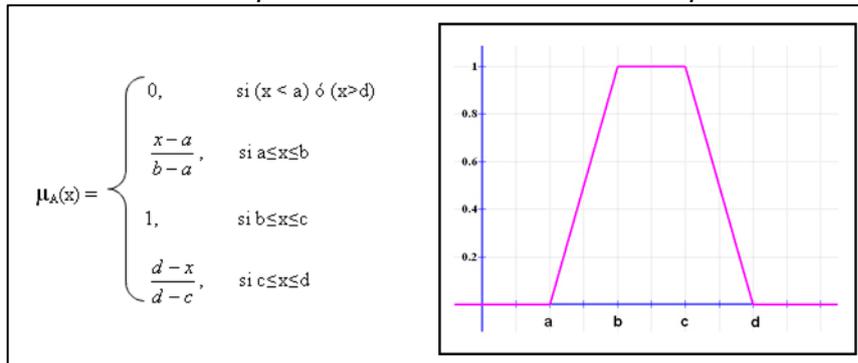


Elaboración: González Morcillo
Fuente: Universidad politécnica de Madrid

Función Trapezoidal

Esta función está definida por un límite inferior a , un límite superior d , un límite de soporte inferior b , y un límite de soporte superior c , tal que $a < b < c < d$.

Gráfico 6 Representación de una Función Trapezoidal



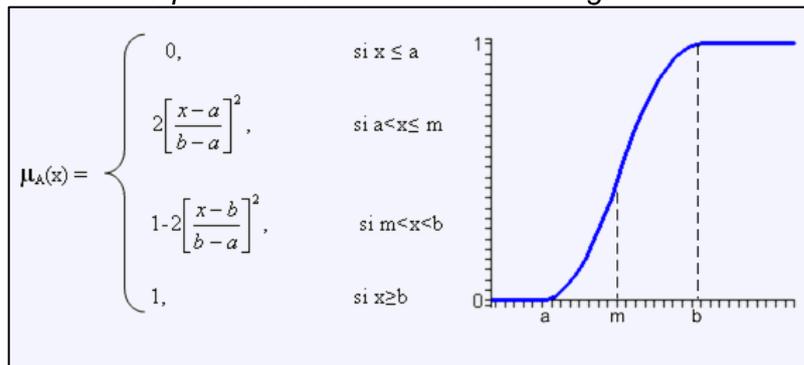
Elaboración: González Morcillo
Fuente: Universidad politécnica de Madrid

Función Sigmoidal

Se define por su límite inferior a , superior b y el valor m o punto de inflexión de tal manera que $a < m < b$.

El crecimiento es más lento cuanto mayor sea la distancia $a-b$. Para el caso concreto de $m = \frac{(a+b)}{2}$, que es lo usual, se obtiene la gráfica.

Gráfico 7
 Representación de una Función Sigmoidal



Elaboración: González Morcillo
Fuente: Universidad politécnica de Madrid

Variables Lingüísticas

Una variable lingüística es aquella cuyos valores son palabras o sentencias en lenguaje natural o artificial, se usan con el objetivo de representar el conocimiento

en razonamiento aproximado. De esta forma, las variables lingüísticas ayudan a representar elementos que sean complejos, del cual no se tenga una definición concreta o del cual haya cierto nivel de incertidumbre que no se pueda describir en términos numéricos (González Morcillo, 2012).

Las variables lingüísticas se caracterizan por una quintupla, de la siguiente manera:

$$(X, T(X), U, G, M)$$

Donde:

- X es el nombre de la variable.
- $T(X)$ es el conjunto de términos de X ; es decir, la colección de sus valores lingüísticos (o etiquetas lingüísticas).
- U es el universo del discurso (llamado subyacente). Por ejemplo, al hablar de temperatura “Cálida” o “Aproximadamente 25°”, el dominio subyacente es un dominio numérico (los grados centígrados).
- G es una gramática libre de contexto mediante la que se generan los términos en $T(X)$, como podrían ser “muy alto”, “no muy bajo”.
- M es una regla semántica que asocia a cada valor lingüístico de X su significado $M(X)$, ($M(X)$ denota un subconjunto difuso en U).

Los símbolos terminales de las gramáticas incluyen:

- **Términos primarios:** “bajo”, “alto”.
- **Modificadores:** “Muy”, “Más”, “Menos”, “Cerca de”.
- **Conectores lógicos:** Normalmente NOT, AND y OR.

Normalmente se definen los conjuntos difusos de los términos primarios y, a partir de éstos, se calculan los conjuntos difusos de los términos compuestos (por ejemplo, con “muy” y “alto” construimos el término compuesto “muy alto”). Una etiqueta lingüística se forma como una sucesión de los símbolos terminales de la gramática: “Muy alto, no muy bajo...”.

Inferencia difusa

La inferencia difusa es el proceso de obtener un valor de salida para un valor de entrada mediante la utilización de la teoría de los conjuntos difusos. Existen dos tipos de inferencia: el modelo de Mamdani y el de TSK (Takagi, Sugeno, Kang).

Inferencia de Mamdani

Este proceso de inferencia se realiza en 4 pasos:

1. Fuzificación de las variables de entrada.
2. Evaluación de las reglas.
3. Agregación de las salidas de las reglas.
4. Defuzificación.

Fuzificación: Consiste en tomar los valores *crisp* de las entradas y determinar el grado de pertenencia de cada entrada a los conjuntos difusos asociados. Cada entrada se debe fuzificar sobre todas las funciones de pertenencia utilizadas en las reglas difusas.

Evaluación de reglas: Se toman las entradas anteriores y se aplican a los antecedentes de las reglas difusas. Si la regla tiene varios antecedentes, se usa el operador AND u OR para obtener un único número que represente el resultado de la evaluación y este número, conocido como valor de verdad, es aplicado al consecuente.

Agregación de salidas: Se trata de unificar las salidas de todas las reglas mediante la combinación de todas las funciones de pertenencia de todos los consecuentes previamente recortados o escalados para obtener un único conjunto difuso por cada variable de salida.

Defuzificación: En esta etapa se toma como entrada el conjunto difuso anteriormente obtenido para dar un valor de salida, el método más usado de defuzificación es el **centroide**, este calcula el punto donde una línea vertical divide el conjunto en dos áreas de igual masa.

$$Centroide = \frac{\sum_{x=a}^b \mu A(x)x}{\sum_{x=a}^b \mu A(x)}$$

Inferencia de TSK

Este método busca disminuir el tiempo de inferencia empleando una función matemática en el consecuente (González Morcillo, 2012, pág. 24), de forma que el formato general de regla en inferencia TSK es:

$$p: \text{IF } x \text{ es } A \text{ AND } y \text{ es } B \text{ THEN } z \text{ es } f(x, y)$$

Donde z es una ecuación de salida lineal.

Matlab

Es un lenguaje de alto desempeño creado para realizar cálculos técnicos. Esta herramienta integra el cálculo, la visualización y la programación en un ambiente fácil de usar que permite expresar los problemas y sus soluciones en una notación matemática.

El elemento básico de datos de Matlab es un arreglo que no requiere dimensionamiento previo, esto permite resolver problemas computacionales que incluyan vectores y matrices en un tiempo mucho menor al que se necesitaría para hacer un programa en lenguaje escalar no interactivo. (Esqueda, 2015)

Se utiliza ampliamente en:

- Cálculos numéricos.
- Desarrollo de algoritmos.
- Modelado, simulación y prueba de prototipos.
- Análisis de datos, exploración y visualización.
- Graficación de datos con fines científicos o de ingeniería.

Además, es la herramienta estándar para cursos introductorios y avanzados de matemáticas, ingeniería e investigación.

Ventajas de Matlab

Permite el uso de familia de comandos llamadas “toolboxes”, estos les permiten a los usuarios aprender y aplicar la teoría. Los toolboxes son un conjunto de comandos de MATLAB que extienden el ambiente de MATLAB para resolver problemas de áreas específicas de la ciencia e ingeniería. Así, por ejemplo,

existen comandos para trabajar en el área de Procesamiento Digital de Señales, sistemas de control, Wavelets, lógica difusa, etc.

Expresiones en MATLAB

Las expresiones matemáticas que maneja MATLAB involucran matrices complejas. Estas expresiones se dividen en:

- Números.
- Variables.
- Operadores.
- Funciones.

Números: Se utiliza una notación decimal convencional con punto decimal opcional y el signo menos en el caso de indicar números negativos, se utiliza la letra e para indicar la escala en potencias de 10 y los números imaginarios usan la i o j como sufijos.

Variables en Matlab

Para las variables, MATLAB no requiere declaraciones de tipos de datos ni de dimensionamiento. Cuando MATLAB encuentra una variable, automáticamente crea la variable y reserva las localidades de memorias necesarias. Si la variable ya existía simplemente cambia el contenido.

MATLAB es *case sensitive*, es decir, no distingue entre mayúsculas o minúsculas al momento de identificar variables.

Operadores en Matlab

Los operadores aritméticos son los mismos que puede haber en cualquier otro lenguaje de programación y sigue un orden de evaluación similar. En la siguiente tabla se muestran los operadores comunes.

Cuadro 8
Operadores aritméticos en Matlab

Operador	Operación aritmética
+	Suma
-	Resta
*	Multiplicación
/	División
^	Potencia
'	Transpuesta compleja conjugada
()	Especifica el orden de evaluación

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Esqueda, 2002

Funciones en Matlab

La herramienta proporciona un conjunto de funciones matemáticas, la mayoría de estas aceptan argumentos complejos. Las funciones más comunes, como “*sqrt*” y “*sin*” son parte del núcleo de MATLAB y están programadas en bajo nivel para hacerlas más eficientes y no es posible acceder a su código. El resto de las funciones están programadas en archivos M y su código está disponible para revisiones o modificaciones (Esqueda, 2015).

FUNDAMENTACIÓN LEGAL

El proyecto planteado tiene como finalidad aportar a la comunidad científica información sobre un método para apoyo a la toma de decisiones.

La constitución nos indica en su artículo 350 que:

“El sistema de educación superior tiene como finalidad la formación académica y profesional con visión científica y humanista; la investigación científica y tecnológica; la innovación, promoción, desarrollo y difusión de los saberes y las culturas; la construcción de soluciones para los problemas del país, en relación con los objetivos del régimen de desarrollo.”

En este artículo la constitución promueve la investigación científica a través del sistema de educación superior.

LEY ORGÁNICA DE EDUCACIÓN SUPERIOR

TÍTULO VIII

AUTODETERMINACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DEL PENSAMIENTO Y CONOCIMIENTO

CAPÍTULO I

DEL PRINCIPIO DE AUTODETERMINACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DEL PENSAMIENTO Y CONOCIMIENTO

Art. 146.- Garantía de la libertad de cátedra e investigativa.- En las universidades y escuelas politécnicas se garantiza la libertad de cátedra, en pleno ejercicio de su autonomía responsable, entendida como la facultad de la institución y sus profesores para exponer, con la orientación y herramientas pedagógicas que estimaren más adecuadas, los contenidos definidos en los programas de estudio. De igual manera se garantiza la libertad investigativa, entendida como la facultad de la entidad y sus investigadores de buscar la verdad en los distintos ámbitos, sin ningún tipo de impedimento u obstáculo, salvo lo establecido en la Constitución y en la presente Ley.

TÍTULO II DERECHOS

Capítulo segundo: Derechos del buen vivir

Sección sexta

Habitad y vivienda

Art. 30.- Las personas tienen derecho a un hábitat seguro y saludable, y a una vivienda adecuada y digna, con independencia de su situación social y económica.

Se recalca hábitat seguro como base legal para nuestra investigación.

Otro aspecto fundamental que sustenta legalmente la presente investigación es la Norma Ecuatoriana de la Construcción emitida por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, que suscribió el Acuerdo Ministerial 0028 por el cual se oficializan los primeros capítulos contemplados para la NEC, relacionados con la seguridad estructural de las Edificaciones.

ACUERDO MINISTERIAL 0028

Econ. Diego Aulestia Valencia

En ejercicios de las atribuciones que le confiere el numeral 1 del artículo 154 de la Constitución de la República del Ecuador,

ACUERDA:

OFICIALIZAR LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN

Art 2.- Contenido.- El contenido detallado y pormenorizado de las normas que se oficializan, relacionadas con la seguridad estructural y el cálculo y el dimensionamiento para el diseño sismo resistente de las edificaciones, se integrarán a la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC y serán publicadas en la página web institucional del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.

2. NEC-SE-DS: Cargas Sísmicas y Diseño Sismo Resistente: Contiene los requerimientos técnicos y las metodologías que deben ser aplicadas para el diseño sismo resistente de las edificaciones, estableciéndose como un conjunto de especificaciones básicas y mínimas adecuadas para el cálculo y el

dimensionamiento de las edificaciones que se encuentran sujetas a los efectos de sismos o terremotos en algún momento de su vida útil.

3. NEC-SE-RE: Rehabilitación Sísmica de Estructuras: Se vincula con las normas NEC-SE-DS para la rehabilitación sísmica de edificios existentes (evaluación y diseño de sistemas para mejorar estructuras), así como establece lineamientos para la evaluación del riesgo sísmico en edificios, incluyendo parámetros para inspección y evaluación rápida de estructuras con la valoración probabilística de las pérdidas materiales para una gestión efectiva del riesgo sísmico.

4. NEC-SE-GM: Geotecnia y Diseño de Cimentaciones: Contempla criterios básicos a utilizarse en los estudios geotécnicos para edificaciones, basándose en la investigación del subsuelo, geomorfología del sitio y características estructurales de la edificación; provee recomendaciones geotécnicas de diseño para cimentaciones futuras, rehabilitación o reforzamiento de edificaciones existentes.

DEFINICIONES CONCEPTUALES

Edificios

Un edificio es toda construcción vertical de más de un piso hecha con materiales sólidos y se usa para alojar a objetos y principalmente personas para la realización de actividades diarias.

Sismo

Perturbaciones súbitas en la profundidad de la tierra que producen vibraciones o movimientos bruscos en los suelos causados por la ruptura de las placas tectónicas de la corteza terrestre.

Daño sísmico

Es la degradación o destrucción provocada por la ocurrencia de un movimiento telúrico que afecta a las estructuras de los edificios.

Vulnerabilidad

Se define como la debilidad en un sistema que puede ser aprovechada por una amenaza y provocar pérdidas.

Ductilidad

Propiedad que poseen algunos materiales, entre ellos las aleaciones metálicas, mediante la cual bajo la acción de la fuerza pueden deformarse de manera plástica sin necesidad de romperse.

En otros términos, un material es dúctil cuando la relación entre el alargamiento longitudinal producido por una tracción y la disminución de la sección transversal es muy elevada.

Lógica difusa

Tipo de lógica multivaluada que permite trabajar con información que no es exacta para definir evaluaciones convencionales, esta lógica permite trabajar con valores continuos que se obtienen mediante una función de pertenencia que indica en qué grado una proposición es verdadera o falsa, o, en otros términos, en qué grado un elemento pertenece a un conjunto determinado.

Sistemas expertos

Sistemas encargados de modelizar el conocimiento de un área específica y que permite deducir conclusiones sobre esa área. En muchas ocasiones el conocimiento viene dado por un grupo de expertos en el área.

Variables lingüísticas

Tipo de variable en cuyos valores son palabras en un lenguaje natural o artificial y sirven para representar algún elemento que sea complejo y que no se pueda medir con exactitud de forma numérica.

Heurística

Es la utilización de conocimiento empírico, reglas prácticas y otras estratagemas, para reducir o limitar la búsqueda de solución de un problema.

Matlab

Es un lenguaje de alto desempeño que sirven para realizar cálculos técnicos. Integra el cálculo, la visualización y la programación en un ambiente sencillo de usar donde los problemas y sus soluciones se expresan en notación matemática.

MATLAB es la herramienta usada para el análisis, investigación y desarrollo de técnicas de procesamiento y nuevos productos tecnológicos.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se explica detalladamente los pasos que se siguieron para el diseño, desarrollo y aplicación del modelo heurístico difuso propuesto en esta investigación. Se especifican las técnicas y herramientas de recolección de datos que se utilizaron, así como el método heurístico que se aplicó, el detalle de la inspección visual que se realizó al edificio de la facultada de filosofía y letras y finalmente se describen las entradas y salidas del controlador difuso utilizando la herramienta Matlab.

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El presente capítulo detalla los métodos y herramientas utilizadas para la recolección de información del entorno en donde se realiza la investigación para confirmar el nivel de incertidumbre acerca de la habitabilidad del edificio de la Facultad de Filosofía de la Universidad de Guayaquil, así también, se realiza el metaanálisis de una base de datos de documentos y artículos científicos con el fin de obtener la información necesaria que aporte las bases fundamentales para el desarrollo del modelo híbrido heurístico difuso propuesto en la investigación en curso.

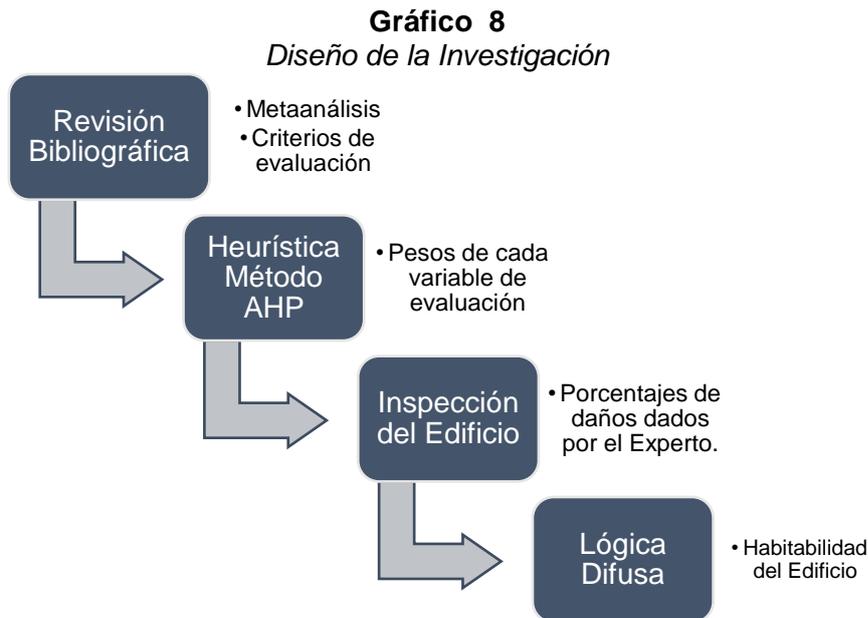
Por lo mencionado anteriormente, la modalidad de la investigación es bibliográfica, (Mora de Labastida) define a la investigación bibliográfica como “la primera etapa del proceso investigativo que proporciona el conocimiento de las investigaciones ya existentes, de un modo sistemático, a través de una amplia búsqueda de: información, conocimientos y técnicas sobre una cuestión determinada.”

Esta investigación se divide en cinco etapas:

1. Revisión bibliográfica.
2. Aplicación del Método heurístico AHP.
3. Inspección visual del edificio.
4. Aplicación de la Lógica Difusa.

5. Determinación de Habitabilidad del Edificio.

En el gráfico 8 se muestran las etapas en las que se divide esta investigación y también la secuencia en la cual se llevarán a cabo. Cada una de las etapas se alimenta de la etapa inmediatamente anterior y de la misma forma cada una de ellas alimenta a la etapa siguiente.



Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

TIPO DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con el tema tratado, se realizó una **investigación aplicada**, que es un tipo de investigación científica cuyo objetivo es hallar conocimientos que se puedan aplicar para resolver problemas prácticos.

Indica que la investigación aplicada “busca la obtención de un nuevo conocimiento técnico con aplicación inmediata a un problema determinado.”

Este tipo de investigación utiliza algunas partes de las teorías acumuladas, conocimientos, métodos y técnicas para propósitos específicos.

POBLACION Y MUESTRA

Es necesario dar a conocer una breve definición de cada uno de los términos que serán usados en el siguiente capítulo.

Población

“La población, o en términos más precisos población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio” (Arias, 2012).

Siendo la población el conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación, se define en esta investigación como población objetivo al conjunto de artículos científicos publicados en revistas como: Taylor & Francis, Springer, Researchgate, y Dialnet. Estos artículos están relacionados a la lógica difusa, conjuntos difusos, heurísticas, algoritmos heurísticos, vulnerabilidad sísmica y daños post-sismo.

Marco Muestral

El marco muestral se encarga de dimensionar y ubicar al universo de la investigación. El marco muestral de la presente investigación es la base de datos de artículos científicos académicos, por este motivo, se realizó un Metaanálisis para obtener información relevante para la elaboración del modelo heurístico-difuso, esta información debe contener temas como: lógica difusa, heurística, evaluación de estructuras post-sismo, fuzzificación, inferencia y defuzzificación.

- **Muestreo probabilístico o aleatorio:** en este tipo de muestreo se conoce la probabilidad de que cada elemento sea seleccionado para la muestra, este procedimiento se clasifica en:
 - **Muestreo al azar simple:** procedimiento en donde todos los elementos de la población tienen igual posibilidad de ser seleccionados, esta probabilidad es distinta de 0 y 1.

- **Muestreo al azar sistemático:** se selecciona un elemento en función de una constante K. Así, se escoge un elemento cada k veces.
- **Muestreo estratificado:** Trata de dividir la población en subconjuntos que tengan características comunes, a esto se le conoce como “estratos homogéneos”, luego de cada estrato se escoge elementos al azar.
- **Muestreo por conglomerados:** divide el universo en unidades menores denominadas conglomerados. Luego se determinan los que serán objetos de investigación o donde se realizará la selección.

Muestreo no probabilístico

Es un tipo de selección en donde se desconoce la probabilidad que posee cada elemento de conformar la muestra. Se clasifica en:

- **Muestreo causal o accidental:** permite elegir arbitrariamente los elementos sin tener un juicio o criterio preestablecido.
- **Muestreo intencional u opinático:** Los elementos son elegidos en base a criterios o juicios establecidos por el investigador.
- **Muestreo por cuotas:** basa la elección de la muestra en función de algunas cualidades de la población, de esta forma, se conforman grupos o “cuotas” correspondientes con cada cualidad o característica.

Variable

(Arias, 2012) Define a la variable como: “aquella característica o cualidad, magnitud o cantidad, que puede sufrir cambios, y que es objeto de análisis, medición, manipulación o control en una investigación” (p. 58).

Variable aleatoria

“Una variable aleatoria es aquella que toma diferentes valores numéricos mediante un proceso de contar o medir, como producto de un experimento aleatorio” (Cajamarca Palma & García Lema, 2017).

Esta variable es un valor o magnitud que cambia de una ocurrencia a otra sin seguir una secuencia predecible, es decir, en forma aleatoria (Rodríguez Franco, Pierdant Rodríguez, & Rodríguez Jiménez, 2016, pág. 199).

Variable aleatoria discreta

Una variable aleatoria discreta es una modelización teórica de una característica X de tipo discreto, en la que nos quedamos con lo esencial que se obtendría en un proceso de muestreo (De La Horra, 2015).

Una variable aleatoria es del tipo discreto cuando puede tomar una serie de valores claramente separados x_1, \dots, x_k

Variables aleatorias continuas

Una variable aleatoria continua es aquella que puede tomar cualquier valor en un intervalo de recta real. En una muestra concreta de tamaño n , los valores obtenidos se pueden representar gráficamente, en un diagrama de tallos y hojas o en un histograma, obteniendo así el perfil de los datos (De La Horra, 2015).

Espacio muestral

Es el conjunto de todos los resultados posibles de un experimento aleatorio.

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Cuadro 9
Operacionalización de Variables

Variable	Dimensión	Indicadores
Incertidumbre	Capacidad del profesional evaluador.	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel de experiencia • Nivel de conocimiento
	Daño de las estructuras post-sismo.	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje Daño en columnas • Porcentaje Daño en vigas • Porcentaje Daño en nudos • Porcentaje Daño en escaleras • Porcentaje Daño en fachada • Porcentaje Daño en paredes internas • Nivel de asentamientos • Tipo de suelo
Modelo heurístico difuso	Heurística	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de importancia relativas
	Lógica difusa	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de daño estructural • Índice de daño no estructural • Índice de condiciones de suelo
Resultados evaluación post-sismo	Habitabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de habitabilidad

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

TÉCNICA E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Según (Arias, 2012) “Se entenderá por técnica de investigación, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información. Las técnicas son particulares y específicas de una disciplina, por lo que sirven de complemento al método científico, el cual posee una aplicabilidad general.” (p.68)

En cuanto a instrumento de recolección de datos, el mismo autor define: “Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información.” (p.69)

Bajo estos conceptos se determinan que las técnicas de recolección de datos para la presente investigación serán documental y de campo.

La técnica documental se basará en la realización de un metaanálisis. En este tipo de técnica se obtienen datos de fuentes primarias y secundarias como libros, revistas, artículos científicos. El instrumento que se acostumbra a utilizar es la ficha de registro de datos.

La técnica de campo se basará en la realización de una encuesta. (Casas, Repullo, & Donado, 2013) “La técnica de encuesta es ampliamente utilizada como procedimiento de investigación, ya que permite obtener y elaborar datos de modo rápido y eficaz.”.

En esta investigación, la encuesta está dirigida hacia diferentes grupos de expertos en el tema como ingenieros civiles, arquitectos e ingenieros estructurales, las preguntas que se elaboraron son de tipo cerradas. “Las preguntas cerradas son aquellas en las que la respuesta a las preguntas están predeterminadas de antemano y son presentadas explícitamente (aunque no necesariamente leídas a los entrevistados)” (López, 2012)

Se realizó este tipo de preguntas con la finalidad de obtener respuestas que faciliten la medición de los grados de importancia de cada una de las variables consideradas para la evaluación de daños post-sísmicos, variables que fueron establecidas previamente por medio de la técnica documental.

PROCEDIMIENTOS DE LA INVESTIGACION

A continuación, se explica secuencialmente los pasos a seguir para el desarrollo de esta investigación:

El Problema:

Planteamiento del problema

Interrogantes de la investigación

Objetivos de la Investigación

Justificación o importancia de la investigación

Marco teórico:

Antecedentes del Problema

Fundamentación teórica

Fundamentación legal

Definiciones Conceptuales

Metodología:

Diseño de Investigación (Tipo de Investigación)

Población y Muestra

Instrumentos de recolección de datos

Operacionalización de variables

Procedimiento de la Investigación

A continuación, se desarrollan detalladamente los pasos que se siguieron para la aplicación del modelo heurístico difuso.

Revisión Bibliográfica

La revisión de la literatura científica se realizó mediante la recopilación de información de bases de datos académicas, científicas y tecnológicas como: Dialnet, Taylor & Francis, Springer y ResearchGate para desarrollar una matriz de metaanálisis en Excel en la que se registró un total de 80 artículos científicos relacionados con la investigación en curso.

Uno de los objetivos del metaanálisis es recopilar la información literaria que aporte en la construcción del diseño, estructura e implementación del método heurístico-difuso propuesto en esta investigación. Otro de los objetivos es determinar las variables o criterios involucrados en la evaluación de daños post-sísmicos, mismos que serán sometidos posteriormente al criterio de expertos para garantizar su correcta selección.

Metaanálisis

Para el desarrollo de metaanálisis se determinó un conjunto de variables importantes que serán analizadas en los diferentes artículos, estas se detallan a continuación:

Cuadro 10
Variables del Metaanálisis

N°	Nombre de variable
1	Bibliografía
2	Tipo de investigación
3	Número de referencia del artículo
4	Palabras claves
5	Criterio de selección
6	Número de veces que se repite "lógica difusa" en los artículos
7	Número de veces que se repite "heurística" en los artículos
8	Número de veces que se repite "daños sísmicos" en los artículos
9	Número de veces que se repite habitabilidad de edificios" en los artículos

10	Número de veces que se repite "evaluación post-sísmica" en artículos
11	Número de veces que se repite "toma de decisiones" en los artículos
12	Número de veces que se repite "vulnerabilidad sísmica" en los artículos

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Descripción de las Variables Utilizadas para el Metaanálisis

Variable 1: Bibliografía

La variable bibliografía indica los diferentes lugares donde se consiguió la información requerida, como, por ejemplo: bibliotecas virtuales, repositorios, revistas científicas.

Cuadro 11
Bibliografía del Metaanálisis

Codificación de la variable bibliografía	
Springer	1
Taylor & Francis	2
Dialnet	3
ResearchGate	4
Repositorio universidades	5

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Variable 2: Tipo de investigación

La variable 2 indica el tipo de estudio que se realizó para dar solución al problema planteado en cada uno de los artículos.

Cuadro 12
Tipo de Investigación

Codificación del tipo de investigación	
Evaluativa	1
Teórica	2
Descriptiva	3
Aplicada	4
Cualitativa	5

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

Variable 3: Número de referencias del artículo

Esta variable nos indica el número de referencias que posee cada uno de los artículos analizados.

Variable 4: Palabras claves

Indica las palabras más relevantes y usadas en los diferentes artículos analizados.

Cuadro 13
Palabras Claves

Codificación de la variable Palabras claves	
Lógica difusa	1
Heurística	2
Daño sísmico	3
Habitabilidad de edificio	4
Evaluación post-sísmica	5
Toma de decisiones	6
Vulnerabilidad sísmica	7

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

Variable 5: Criterio de selección

La siguiente variable indica el criterio de selección aplicado, esto permite determinar que artículos entran o no en la investigación, ya sea por su

característica o por sus coincidencias en palabras claves, incluyéndose o excluyéndose de la investigación en curso.

Cuadro 14
Criterio de Selección

Codificación de la variable	
criterio de selección	
Inclusión	1
Exclusión	2

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Variable 6: Número de veces que se repite “lógica difusa” en los artículos.

Esta variable indica la cantidad de ocasiones que las palabras “lógica difusa” se encuentra en cada artículo analizado.

Variable 7: Número de veces que se repite “heurística” en los artículos.

La variable número 7 determina la cantidad de veces que se repite la palabra “heurística” en los documentos analizados.

Variable 8: Número de veces que se repite “daño sísmico” en los artículos.

Indica en número de veces que aparece las palabras “daño sísmico” en los artículos leídos.

Variable 9: Número de veces que se repite “habitabilidad de edificio” en los artículos.

Esta variable indica la cantidad de ocasiones que las palabras “habitabilidad de edificio” se encuentran en cada artículo analizado.

Variable 10: Número de veces que se repite “evaluación post-sísmica” en los artículos.

Indica en número de veces que aparece las palabras “evaluación post-sísmica” en los artículos leídos.

Variable 11: Número de veces que se repite “toma de decisiones” en los artículos.

La variable número 10 determina la cantidad de veces que se repite las palabras “toma de decisiones” en los documentos analizados.

Variable 12: Número de veces que se repite “vulnerabilidad sísmica” en los artículos.

Esta variable indica la cantidad de ocasiones que las palabras “vulnerabilidad sísmica” se encuentran en cada artículo analizado.

Información General del Metaanálisis

Variable 1: Bibliografía

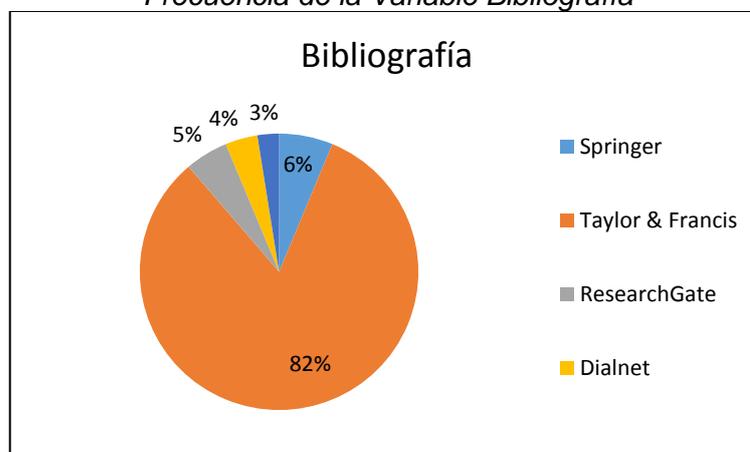
Cuadro 15
Frecuencia de la Variable Bibliografía

Fuentes	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Springer	5	6,25%	6,25%	6,25%
Taylor & Francis	66	82,50%	82,50%	88,75%
ResearchGate	4	5,00%	5,00%	93,75%
Dialnet	3	3,75%	3,75%	97,50%
Repositorio universidades	2	2,50%	2,50%	100,00%
Total	80	100,00%	100,00%	

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Gráfico 9
Frecuencia de la Variable Bibliografía



Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Análisis: Según los datos recolectados respecto a la bibliografía, se determinó que el 82,5% de los artículos recolectados son de la revista científica Taylor & Francis, seguido por Springer con un 6,25%, ResearchGate con un 5%, Dialnet en cuarto lugar con 3,75%, y por último con un 2,5% Repositorios de Universidades.

Variable 2: Tipo de investigación

Cuadro 16
Frecuencia de la Variable Tipo de Investigación

Fuentes	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Springer	5	6,25%	6,25%	6,25%
Taylor & Francis	66	82,50%	82,50%	88,75%
ResearchGate	4	5,00%	5,00%	93,75%
Dialnet	3	3,75%	3,75%	97,50%
Repositorio universidades	2	2,50%	2,50%	100,00%
Total	80	100,00%	100,00%	

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

Gráfico 10
Frecuencia de la Variable Tipo de Investigación



Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

Análisis: Con el desarrollo del metaanálisis respecto al tipo de investigación, se determinó que más de la mitad de los artículos analizados comprenden una investigación aplicada, estas investigaciones se enfocan en el desarrollo de nuevos conocimientos y la resolución de problemas.

Variable 3: Número de referencia del artículo

Esta variable fue considerada en base a los artículos que fueron parte del criterio de inclusión. De esta manera, se obtuvo los siguientes datos.

Cuadro 17
Frecuencia de la Variable Número de Referencias de Artículos

Rango	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
1 a 50	27	84,38%	84,38%	84,38%
51 a 100	3	9,38%	9,38%	93,75%
101 a 150	1	3,13%	3,13%	96,88%
> 151	1	3,13%	3,13%	100,00%
Total	32	100,00%	100,00%	

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

Gráfico 11
Frecuencia de la Variable Número de Referencias de Artículos



Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

Análisis: En base a los datos recolectados, se pudo determinar que el 85% de los artículos que fueron seleccionados bajo el criterio de inclusión contenían entre 1 a 50 referencias en su contenido.

Variable 4: Palabras claves

Los datos recolectados para esta variable también se dieron en base a los artículos seleccionados bajo el criterio de inclusión.

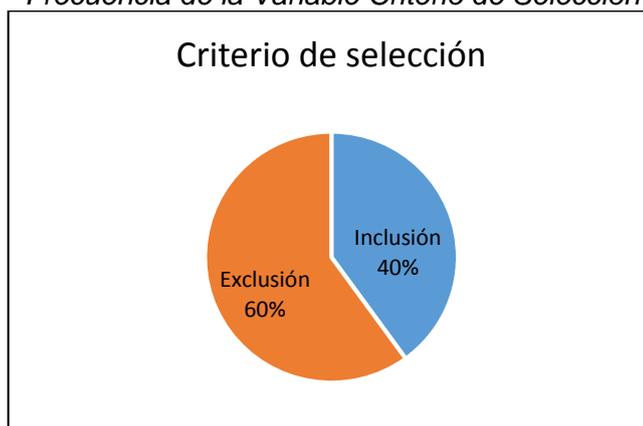
Variable 5: Criterio de selección

Cuadro 18
Frecuencia de la Variable Criterio de Selección

Criterio	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Inclusión	32	40,00%	40,00%	40,00%
Exclusión	48	60,00%	60,00%	100,00%
Total	80	100,00%	100,00%	

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

Gráfico 12
Frecuencia de la Variable Criterio de Selección



Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

Análisis: Para incluir un artículo, documento o paper científico se toma en cuenta la cantidad de palabras claves, resumen, resultados y conclusiones y se realiza una breve lectura de estas secciones del documento. Si después de este rápido

análisis, la investigación resulta ser útil entonces, se lo selecciona por el criterio de inclusión para posteriormente ser leído en su totalidad.

Con la elaboración del metaanálisis, se determinó que el 40% de los artículos analizados se seleccionaron por el criterio de inclusión y el 60% restante por el criterio de exclusión, es decir, no cumplían con las características suficientes como para agruparlos bajo el criterio de inclusión.

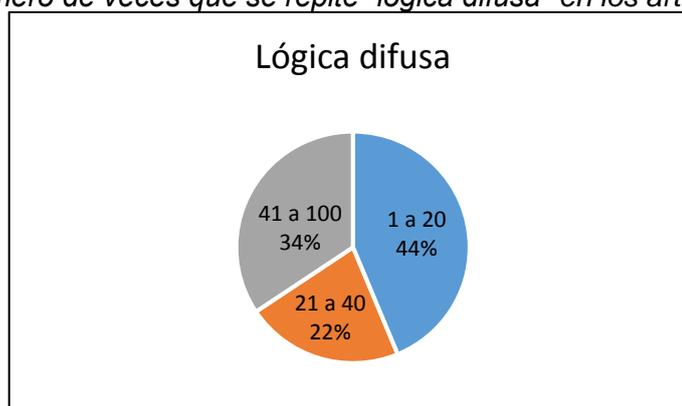
Variable 6: Número de veces que se repite la palabra “lógica difusa” en los artículos.

Cuadro 19
Número de veces que se repite “lógica difusa” en los artículos

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
1 a 20	14	43,75%	43,75%	43,75%
21 a 40	7	21,88%	21,88%	65,63%
41 a 100	11	34,38%	34,38%	100,00%
Total	32	100,00%	100,00%	

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

Gráfico 13
Número de veces que se repite “lógica difusa” en los artículos



Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

Análisis: Se determinó que en el 22% de los artículos de inclusión, la palabra “lógica difusa” se repite de 21 a 40 veces y el 34% se repite de 41 a 100, es decir,

en más de la mitad de los artículos, la palabra lógica difusa aparece, lo cual representa una cantidad óptima a tomar en cuenta en nuestra investigación.

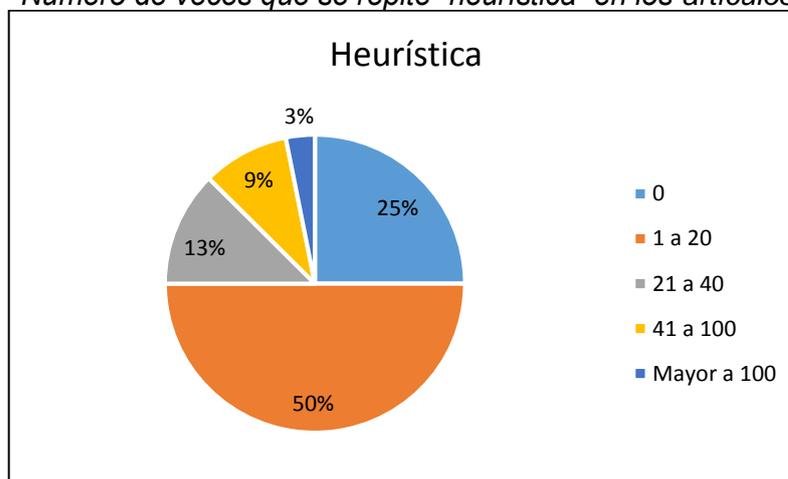
Variable 7: Número de veces que se repite la palabra “heurística” en los artículos.

Cuadro 20
Número de veces que se repite “heurística” en los artículos

Rango	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
0	8	25,00%	25,00%	25,00%
1 a 20	16	50,00%	50,00%	75,00%
21 a 40	4	12,50%	12,50%	87,50%
41 a 100	3	9,38%	9,38%	96,88%
> 100	1	3,13%	3,13%	100,00%
Total	32	100,00%	100,00%	

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

Gráfico 14
Número de veces que se repite “heurística” en los artículos



Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

Análisis: En base a los datos recolectados, en una cuarta parte del total de artículos de inclusión no se repite o no aparece la palabra “heurística”, sin embargo, aquellos artículos fueron incluidos debido a la presencia de otras palabras claves relacionadas a la investigación en curso, mientras que en un 50%

de los artículos incluidos se repite la palabra “heurística” entre 1 a 20 veces, esto nos indica que en al menos, el 75% de los artículos se encuentran las palabras “lógica difusa” y “heurística” simultáneamente.

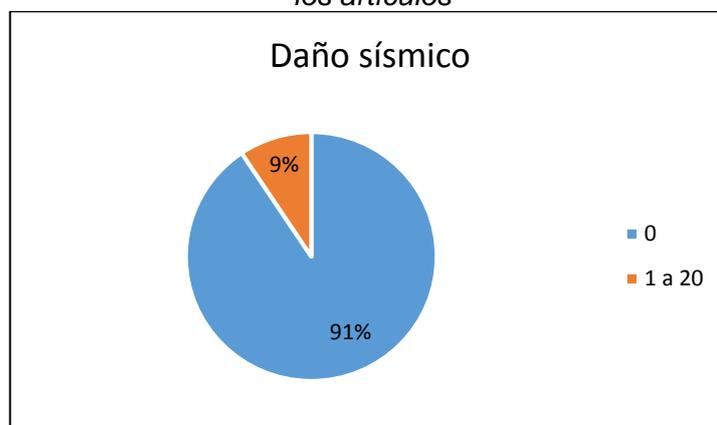
Variable 8: Número de veces que se repite “daño sísmico” en los artículos

Cuadro 21
Número de veces que se repite “daño sísmico” en los artículos

Rango	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
0	29	90,63%	90,63%	90,63%
1 a 20	3	9,38%	9,38%	100,00%
Total	32	100,00%	100,00%	

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

Gráfico 15
Número de veces que se repite “daño sísmico” en los artículos



Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

Análisis: Respecto a esta variable, en el 91% de artículos no se encuentra la palabra daño sísmico, mientras que en el 9% se incluye la palabra en un rango entre 1 y 20 veces.

Variable 9: Número de veces que se repite “habitabilidad de edificio” en los artículos.

Cuadro 22

Número de veces que se repite “habitabilidad de edificio” en los artículos

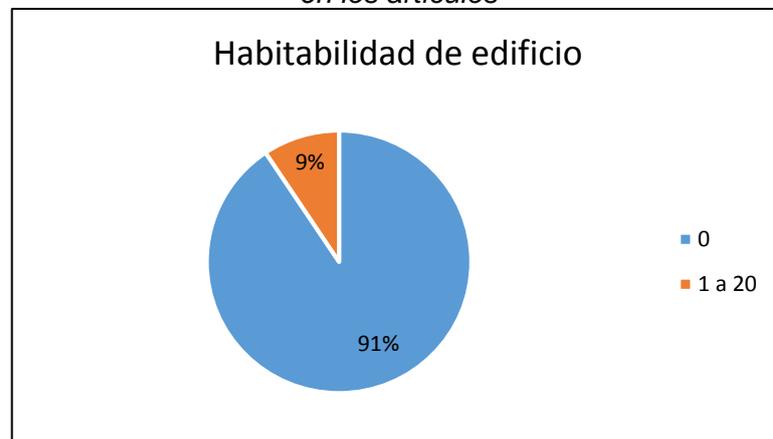
Rango	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
0	29	90,63%	90,63%	90,63%
1 a 20	3	9,38%	9,38%	100,00%
Total	32	100,00%	100,00%	

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Gráfico 16

Número de veces que se repite “habitabilidad de edificio” en los artículos



Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Análisis: En el 91% de los artículos de inclusión esta palabra clave está ausente, sin embargo, en el 9% de los artículos si aparece esta palabra.

Variable 10: Número de veces que se repite “evaluación post-sismo” en los artículos.

Cuadro 23

Número de veces que se repite “evaluación post-sismo” en los artículos

Rango	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
0	28	87,50%	87,50%	87,50%
1 a 20	4	12,50%	12,50%	100,00%
Total	32	100,00%	100,00%	

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Gráfico 17
Número de veces que se repite “evaluación post-sismo” en los artículos



Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Análisis: En base a los datos recolectados, en el 87% de los artículos incluidos no se encuentra la palabra clave “evaluación post-sísmica”, mientras que en el 13% de los artículos si se encuentra.

Variable 11: Número de veces que se repite “toma de decisiones” en los artículos.

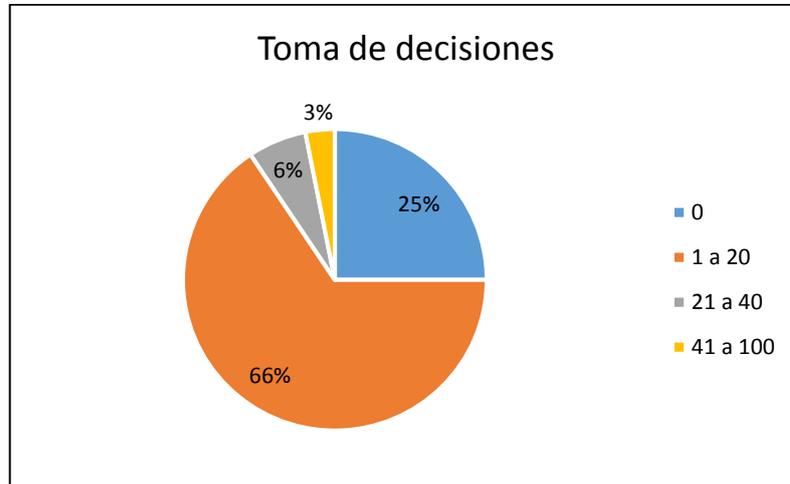
Cuadro 24
Número de veces que se repite “toma de decisiones” en los artículos

Rango	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
0	8	25,00%	25,00%	25,00%
1 a 20	21	65,63%	65,63%	90,63%
21 a 40	2	6,25%	6,25%	96,88%
41 a 100	1	3,13%	3,13%	100,00%
Total	32	100,00%	100,00%	

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Gráfico 18
Número de veces que se repite “toma de decisiones” en los artículos



Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

Análisis: En el 25% de los artículos está ausente la palabra clave “toma de decisiones”, mientras que en el 75% de los artículos si aparece, en su mayoría se repite entre 1 y 20 veces. Hasta el momento se tiene una cantidad considerable de artículos con la palabra clave “lógica difusa”, “heurística” y “toma de decisiones”, reforzando la idea de que la disciplina de la lógica difusa es muy usada para sistemas de soporte a la toma de decisiones.

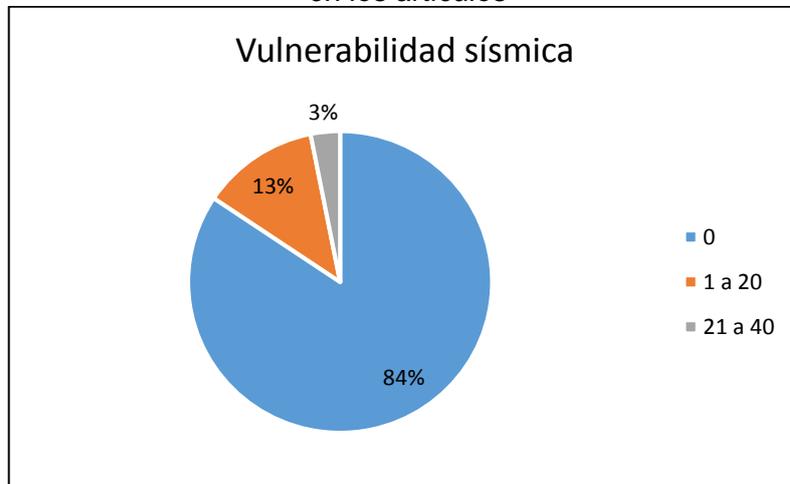
Variable 12: Número de veces que se repite vulnerabilidad sísmica en los artículos.

Cuadro 25
Número de veces que se repite “vulnerabilidad sísmica” en los artículos

Rango	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
0	27	84,38%	84,38%	84,38%
1 a 20	4	12,50%	12,50%	96,88%
21 a 40	1	3,13%	3,13%	100,00%
Total	32	100,00%	100,00%	

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

Gráfico 19
Número de veces que se repite “vulnerabilidad sísmica” en los artículos



Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

Análisis: Respecto a la palabra clave “vulnerabilidad sísmica”, se determinó que está ausente en el 84% de los artículos de inclusión, mientras que en el 16% de artículos hace presencia esta palabra clave.

Preselección de Criterios y Subcriterios de Evaluación de Daños Post-Sismo

La selección de estos criterios también surgió de la revisión bibliográfica realizada previamente, en donde los diferentes autores consideran aspectos en su mayoría similares y cada uno tiene un fin específico. Todos los criterios revisados y también los seleccionados cuentan cada uno con subcriterios que son las variables que se evalúan por los expertos al momento de realizar una inspección post-sismo.

A continuación, se detallan los criterios de evaluación de tres autores y posteriormente la selección que se realizó en base a estos.

Criterios de Evaluación según Carreño M.L, Cardona, O.D y Barbat, A.H.

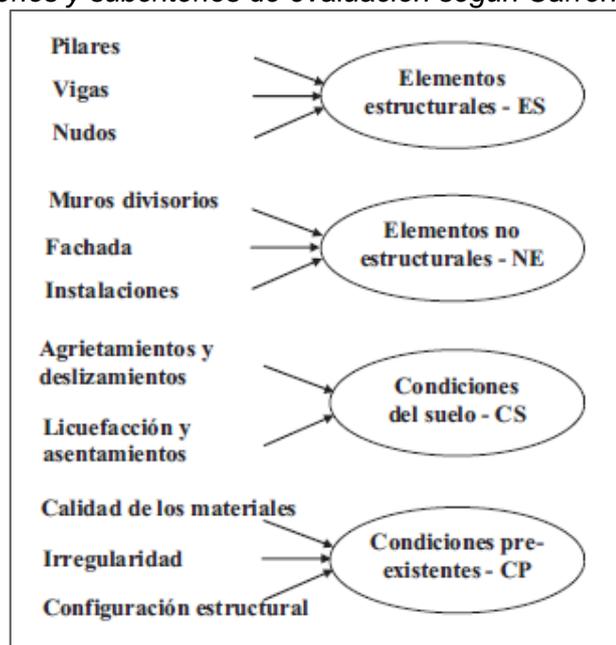
(Carreño, Cardona, & Barbat, 2011) “Para evaluar el estado global de un edificio desde el punto de vista de su comportamiento sísmico se tienen en cuenta tres aspectos que tienen que ver con la seguridad del edificio: los elementos

estructurales, los elementos no estructurales y las condiciones del suelo. Otro aspecto que se tiene en cuenta son las condiciones pre-existentes, relacionadas con la calidad de los materiales de construcción, las irregularidades horizontales y verticales del edificio y su configuración estructural, ya que estas son características imprescindibles para decidir sobre la reparabilidad del edificio.”

En el grafico 20 se puede visualizar lo mencionado por Carreño, en la parte izquierda de la imagen se encuentran los subcriterios o las variables que se evalúan durante el proceso de evaluación de un edificio, en la parte derecha se encuentran los criterios o grupos de variables de evaluación que representan de manera global a cada uno de los subcriterios.

Gráfico 20

Criterios y subcriterios de evaluación según Carreño M.L



Elaboración: Carreño M.L

Fuente: Carreño M.L 2011

Hay que tomar en cuenta que el criterio “Condiciones Pre-Existentes” se considera únicamente para los casos en los que se requiere determinar también la reparabilidad del edificio. En esta investigación lo que se quiere determinar es la habitabilidad del edificio luego de ocurrido un sismo.

Criterios de Evaluación según Quizhpilema A.E

(Quizhpilema, 2017) “La vulnerabilidad estructural se refiere a los posibles daños que pueden presentar frente a movimientos sísmicos los elementos como son columnas, vigas, losas, muros estructurales y cimientos. El mal diseño de las estructuras se fundamenta en la falta de ductilidad de las mismas y de resistencia deficiente.”

La vulnerabilidad en los elementos no estructurales “se refiere a la susceptibilidad que presentan los elementos no estructurales como la mampostería, ventanas, cielos rasos, ascensores, equipos mecánicos, equipos eléctricos, entre otros y que dependiendo del nivel de daño pueden ser también causa de paralización de las actividades normales dentro de la estructura, situación que es imposible en el caso de edificios esenciales pues deben permanecer en funcionamiento correctamente durante y después de un sismo.” (Quizhpilema, 2017).

En el cuadro 26 se puede visualizar lo mencionado por Quizhpilema, en la columna izquierda de la tabla se encuentran los criterios o grupos de variables de evaluación y en la columna derecha se encuentran los subcriterios o las variables que se evalúan durante el proceso de evaluación de un edificio.

Cuadro 26
Criterios y subcriterios de evaluación según Quizhpilema A.E

	Columnas
Vulnerabilidad Estructural	Vigas
	Losas
	Muros Estructurales
	Cimientos.
	Mampostería.
Vulnerabilidad no Estructural	Ventanas.
	Cielos rasos.
	Ascensores.

	Escaleras.
	Infraestructura de agua potable.
Vulnerabilidad funcionales	Infraestructura de luz eléctrica.
	Sistema contra incendios.

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Quizhpilema A.E 2017.

Criterios de Evaluación según Cajamarca L.A y García C.E

Cajamarca y García hicieron uso de un grupo más pequeño de subcriterios para la evaluación de daños post-sísmicos, las diez variables o subcriterios utilizados por los autores se agrupan en cuatro criterios o grupos de variables: Elementos estructurales, elementos no estructurales, amenazas pre-existentes y las condiciones del suelo, tal como se muestra a continuación en el cuadro 27.

Cuadro 27

Criterios y subcriterios de evaluación según Cajamarca L.A y García

	Columnas
Elementos Estructurales	Vigas
	Losas
Elementos no Estructurales	Mampostería.
	Fachadas.
	Escaleras.
Amenaza Pre-Existente	Caída de Materiales
	Configuración.
Condiciones del Suelo	Deslizamientos.
	Licuación.

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Cajamarca L.A y García C.E 2017.

Criterios y Subcriterios de Evaluación Propuestos en la Preselección

Luego de la revisión bibliográfica realizada se pudieron determinar los criterios de evaluación a utilizar en esta investigación, estos criterios fueron abalados por un ingeniero civil experto en el tema. A continuación, se detallan los criterios con sus respectivas variables y/o subcriterios.

Para la evaluación de los elementos estructurales se determinaron las siguientes variables:

Cuadro 28
Variables propuestas para evaluación de elementos estructurales

Criterios / Grupo de Variables	Subcriterios / Variables
Elementos Estructurales	Continuidad de Elementos
	Columnas
	Vigas
	Conexiones viga-columna
	Distribución de masa
	Hiperestaticidad

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Para la evaluación de los elementos no estructurales se determinaron las siguientes variables:

Cuadro 29
Variables propuestas para evaluación de elementos no estructurales

Criterios / Grupo de Variables	Subcriterios / Variables
Elementos no Estructurales	Fachadas
	Paredes
	Escaleras

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Para la evaluación de las condiciones del suelo se determinaron las siguientes variables:

Cuadro 30
Variables propuestas para evaluación de condiciones de suelo

Criterios / Grupo de Variables	Subcriterios / Variables
Condiciones del Suelo	Asentamientos/ Licuefacción
	Tipo de suelo

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

Validación de Criterios y Subcriterios Propuestos

Para la validación de los criterios de evaluación, se hizo un análisis con un profesional experto en el área de estructuras de edificios, en esta etapa se concluyó que, en la mayoría de los edificios de la Universidad de Guayaquil, las escaleras están consideradas como elementos estructurales debido a que fueron construidas formando parte de la configuración estructural de los edificios, además, la variable de continuidad de elementos e hiperestaticidad fueron reemplazadas por la variable “Distribución de columnas”. También se sugirió establecer diferencias entre la fachada y las paredes especificando que, cuando se habla de paredes, se haga referencia a las paredes internas y cuando se habla de fachada se hace referencia a las paredes externas de la edificación.

A continuación, en el cuadro 31 se presenta la selección final de los criterios y subcriterios de evaluación.

Cuadro 31
Variables propuestas para evaluación de elementos estructurales

Criterios / Grupo de Variables	Subcriterios / Variables
Elementos Estructurales	Distribución de Columnas
	Columnas
	Vigas
	Conexiones viga-columna
	Distribución de masa
	Escaleras

Elementos no Estructurales	Fachadas
	Paredes
Condiciones del Suelo	Asentamientos
	Tipo de suelo

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Definición de las Variables de Evaluación para los Elementos Estructurales

A continuación, en el cuadro 32 se presenta la definición de las variables de evaluación finalmente seleccionadas.

Cuadro 32

Definición de las variables de evaluación para los elementos estructurales

Elementos Estructurales	
VARIABLES DE EVALUACIÓN	DEFINICIÓN
Distribución de Columnas	“Se refiere al alineamiento de elementos estructurales verticales (columnas), dentro del mismo plano que se encuentren.” (NEC, 2015)
Columnas	(NEC, 2015) “Las columnas son de vital importancia, ya que son las que mantienen en pie a la edificación y son las encargadas de transmitir todas las cargas hacia la cimentación. Cualquier daño en columnas puede producir el colapso de la estructura y, por ello, en el diseño se debe evitar los fallos de columnas y de conexiones viga-columna, procurando que las rótulas plásticas se formen en las vigas y no en las columnas ni en nudos o conexiones.”
Vigas	Son elementos estructurales diseñados para soportar la cubierta del techo o el tipo de carga, asociados con los elementos que componen el techo de un edificio.
Conexiones Vigas – Columnas	Son los nudos de intersección entre las columnas y las vigas.

Distribución de Masa	Una mala distribución de masa “puede ser ocasionada al ubicar tanques, bodegas, piscinas, estacionamientos u elementos pesados en algún piso de la estructura (que no sea en planta baja) y por la excesiva diferencia de masa entre pisos.” (NEC, 2015)
Escaleras	Forma parte del grupo de estructuras y elementos que sirven para las comunicaciones verticales en los edificios.

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Definición de las Variables de Evaluación para los no Elementos Estructurales

A continuación, en el cuadro 32 se presentan las definiciones de las variables de evaluación finalmente seleccionadas.

Cuadro 33

Definición de las variables de evaluación para los elementos estructurales

Elementos no Estructurales	
VARIABLES DE EVALUACIÓN	DEFINICIÓN
Fachada	Elemento no estructural de una edificación que hace referencia a las paredes exteriores de la misma, por lo general va acompañada de algún otro elemento como vidrios, porcelana etc.
Paredes	Principal elemento no estructural de un edificio hace referencia a las paredes interiores del mismo.

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Definición de las Variables de Evaluación para las Condiciones del Suelo

A continuación, en el cuadro 34 se presentan las definiciones de las variables de evaluación finalmente seleccionadas.

Cuadro 34
Definición de las variables de evaluación para los elementos estructurales
Elementos no Estructurales

VARIABLES DE EVALUACIÓN	DEFINICIÓN
Asentamiento	Es el descenso que experimenta un edificio o estructura a medida que se consolida el terreno situado bajo el mismo.
Tipo de Suelo	Característica del suelo sobre el cual la edificación fue construida.

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Definición de Escalas de Evaluación

Para la definición de las escalas de evaluación de los elementos estructurales y los elementos no estructurales se consideró el índice de daño propuesto por Benedetti ya que se ajusta al establecimiento de las funciones de pertenencia para el modelo de lógica difusa.

Cuadro 35
Escala para la evaluación del grado de daños

Nivel de daño	Grado de daño	Daño esperado (%)	Daño promedio (%)
1	Ninguno	0 a 20	10
2	Ligero	20 a 40	30
3	Moderado	40 a 60	50
4	Severo	60 a 80	70
5	Total	80 a 100	90

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Benedetti

Proceso de Análisis Jerárquico (AHP)

Para el establecimiento de los pesos de cada criterio, se realizó un proceso de análisis jerárquico (AHP), una técnica de soporte para la toma de decisiones multicriterio el cual se basa en la jerarquización, comparación pareada, y en los pesos de importancia, de los criterios considerados. (Yajure, 2015), propuesto por Thomas Saaty, trata de convertir evaluaciones subjetivas que tienen importancia relativa en un conjunto de pesos globales que servirán para seleccionar la mejor alternativa.

La obtención de los pesos se basa en una escala de evaluación que se detalla a continuación:

Cuadro 36
Escala de comparación de Saaty

Intensidad de importancia	Definición
1	Igual importancia
3	Importancia moderada
5	Fuerte importancia
7	Muy fuerte o importancia demostrada
9	Importancia extrema
2,4,6,8	
Valores recíprocos	Si la actividad i tiene uno de los números diferentes de cero ya nombrados, cuando se compara con la actividad j , entonces la actividad j tiene el valor recíproco correspondiente cuando se compara con la actividad i .

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Yajure, 2015

Esta etapa consiste en las siguientes actividades:

1. Selección de expertos.
2. Elaboración de cuestionarios.
3. Encuesta a expertos.
4. Análisis AHP.
5. Obtención de pesos por criterio.

Selección de Expertos

En esta investigación se considera que experto es la persona que tiene conocimientos y experiencia como profesional en el área de ingeniería civil, sismos y análisis estructural o que se desempeñe como docente en las áreas mencionadas.

Los expertos seleccionados fueron los docentes de la carrera de ingeniería civil de la Universidad de Guayaquil que cumplieron con los requisitos mencionados en el punto anterior y además que contaron con la disponibilidad para responder la encuesta realizada personalmente por los autores de esta investigación. En esta investigación se encuestaron a un total de 9 expertos en el área.

Elaboración del Cuestionario

Con el objetivo de obtener los pesos para cada subcriterio (variable de evaluación), se elaboraron 17 preguntas cerradas relacionadas a la importancia relativa entre los subcriterios de cada uno de los criterios (elementos estructurales, elementos no estructurales y las condiciones del suelo) seleccionados previamente.

Como ya se había mencionado anteriormente, las preguntas que se elaboraron son de tipo cerradas y para todas las preguntas las opciones de respuestas fueron las descritas en el cuadro 37. Estas opciones de respuesta corresponden a la versión extendida de la escala de Saaty y los valores correspondientes de dicha escala fueron reemplazados por una escala simple del 1 al 9 con el fin de no confundir al encuestado.

Cuadro 37

Opciones de respuesta para las preguntas de la encuesta

Número	Interpretación
1	Absolutamente menos importante
2	Mucho menos importante
3	Menos importante o preferido
4	Ligeramente menos importante o preferido
5	Igual importancia
6	Importancia moderada de uno sobre el otro
7	Fuerte o esencial importancia
8	Muy fuerte o demostrada importancia
9	Extrema importancia

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Las preguntas fueron elaboradas de tal manera que con las respuestas de los encuestados se pueda determinar una matriz de juicio de valor por cada criterio (elementos estructurales, no estructurales y condiciones de suelo), a esta matriz se la conoce como “matriz de comparación por pares” que consta de un tipo de matriz que muestra la comparación entre los subcriterios dentro de su respectiva categoría.

Encuesta

La encuesta se la llevó a cabo en las instalaciones de la facultad de ciencias matemáticas y físicas ubicada en la ciudadela universitaria de la Universidad de Guayaquil. El primer contacto con los docentes de la carrera de ingeniería civil se lo realizó con el objetivo de saber si cumplían con los requisitos para responder la encuesta y de ser así, se consultaba también su disponibilidad para posteriormente agendar una cita y responder la encuesta.

A cada uno de los expertos encuestados se le explicó previamente el objetivo y la estructura de la encuesta, se les explicó también las diferentes opciones de respuestas que tenían aclarando que la selección es única y no múltiple, es decir, que debe existir una sola respuesta por pregunta. Las preguntas se imprimieron y el encuestador luego de realizar la pregunta al experto, marcaba la respuesta con un bolígrafo.

La aceptación de la encuesta por parte de los expertos fue muy buena y el hecho de que se haya realizado personalmente permitió realizar una retroalimentación y breve explicación del porqué de sus respuestas, esto contribuyó mucho para reforzar los conocimientos obtenidos en base a la literatura.

Análisis AHP

A continuación, se muestran las matrices de comparación por pares obtenida por medio de las respuestas emitidas por los expertos en la encuesta antes mencionada. Las siguientes matrices corresponden al criterio de Elementos Estructurales.

Cuadro 38
Matriz de comparación por parejas del encuestado 1

Criterios para Evaluación de Elementos Estructurales	C1	C2	C3	C4
C1 Columnas	1	7	3	7
C2 Vigas	0,14	1	0,11	3
C3 Conexiones viga-columna	0,33	9	1	7
C4 Escaleras	0,14	0,33	0,14	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Cuadro 39*Matriz de comparación por parejas del encuestado 2*

Criterios para Evaluación de Elementos Estructurales		C1	C2	C3	C4
C1	Columnas	1	5	5	7
C2	Vigas	0,20	1	0,11	7
C3	Conexiones viga-columna	0,2	9	1	3
C4	Escaleras	0,14	0,14	0,33	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús**Fuente:** Datos propios de la investigación.**Cuadro 40***Matriz de comparación por parejas del encuestado 3*

Criterios para Evaluación de Elementos Estructurales		C1	C2	C3	C4
C1	Columnas	1	7	5	7
C2	Vigas	0,14	1	1	3
C3	Conexiones viga-columna	0,20	1	1	3
C4	Escaleras	0,14	0,33	0,33	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús**Fuente:** Datos propios de la investigación.**Cuadro 41***Matriz de comparación por parejas del encuestado 4*

Criterios para Evaluación de Elementos Estructurales		C1	C2	C3	C4
C1	Columnas	1	5	7	9
C2	Vigas	0,20	1	7	1
C3	Conexiones viga-columna	0,14	0,14	1	1
C4	Escaleras	0,11	1	1	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús**Fuente:** Datos propios de la investigación.

Cuadro 42*Matriz de comparación por parejas del encuestado 5*

Criterios para Evaluación de Elementos Estructurales	C1	C2	C3	C4
C1 Columnas	1	3	7	7
C2 Vigas	0,33	1	1	7
C3 Conexiones viga-columna	0,14	1	1	7
C4 Escaleras	0,14	0,14	0,14	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús**Fuente:** Datos propios de la investigación.**Cuadro 43***Matriz de comparación por parejas del encuestado 6*

Criterios para Evaluación de Elementos Estructurales	C1	C2	C3	C4
C1 Columnas	1	5	7	7
C2 Vigas	0,20	1	5	3
C3 Conexiones viga-columna	0,14	0,20	1	1
C4 Escaleras	0,14	0,33	1	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús**Fuente:** Datos propios de la investigación.**Cuadro 44***Matriz de comparación por parejas del encuestado 7*

Criterios para Evaluación de Elementos Estructurales	C1	C2	C3	C4
C1 Columnas	1	1	5	7
C2 Vigas	1,00	1	1	7
C3 Conexiones viga-columna	0,2	1	1	7
C4 Escaleras	0,14	0,14	0,14	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús**Fuente:** Datos propios de la investigación.

Cuadro 45*Matriz de comparación por parejas del encuestado 8*

Criterios para Evaluación de Elementos Estructurales	C1	C2	C3	C4
C1 Columnas	1	1	7	7
C2 Vigas	1,00	1	1	3
C3 Conexiones viga-columna	0,14	1	1	5
C4 Escaleras	0,14	0,33	0,2	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús**Fuente:** Datos propios de la investigación.**Cuadro 46***Matriz de comparación por parejas del encuestado 9*

Criterios para Evaluación de Elementos Estructurales	C1	C2	C3	C4
C1 Columnas	1	5	5	9
C2 Vigas	0,20	1	9	3
C3 Conexiones viga-columna	0,20	0,11	1	5
C4 Escaleras	0,11	0,33	0,20	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús**Fuente:** Datos propios de la investigación.

Las siguientes matrices corresponden al criterio de Elementos no Estructurales.

Cuadro 47*Matriz de comparación por parejas del encuestado 1*

Criterios para Evaluación de Elementos no Estructurales	C1	C2
C1 Fachada	1	1/9
C2 Paredes	9	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús**Fuente:** Datos propios de la investigación.**Cuadro 48**

Matriz de comparación por parejas del encuestado 2

Criterios para Evaluación de Elementos no Estructurales		C1	C2
C1	Fachada	1	1/3
C2	Paredes	3	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

Cuadro 49

Matriz de comparación por parejas del encuestado 3

Criterios para Evaluación de Elementos no Estructurales		C1	C2
C1	Fachada	1	1
C2	Paredes	1	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

Cuadro 50

Matriz de comparación por parejas del encuestado 4

Criterios para Evaluación de Elementos no Estructurales		C1	C2
C1	Fachada	1	1/3
C2	Paredes	3	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

Cuadro 51

Matriz de comparación por parejas del encuestado 5

Criterios para Evaluación de Elementos no Estructurales		C1	C2
C1	Fachada	1	5
C2	Paredes	1/5	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

Cuadro 52

Matriz de comparación por parejas del encuestado 6

Criterios para Evaluación de Elementos no Estructurales		C1	C2
C1	Fachada	1	5
C2	Paredes	1/5	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Cuadro 53

Matriz de comparación por parejas del encuestado 7

Criterios para Evaluación de Elementos no Estructurales		C1	C2
C1	Fachada	1	1/3
C2	Paredes	3	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Cuadro 54

Matriz de comparación por parejas del encuestado 8

Criterios para Evaluación de Elementos no Estructurales		C1	C2
C1	Fachada	1	1
C2	Paredes	1	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Cuadro 55

Matriz de comparación por parejas del encuestado 9

Criterios para Evaluación de Elementos no Estructurales		C1	C2
C1	Fachada	1	1
C2	Paredes	1	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Las siguientes matrices corresponden al criterio de Condiciones del Suelo.

Cuadro 56

Matriz de comparación por parejas del encuestado 1

Criterios para Evaluación de		C1	C2
Condiciones del Suelo			
C1	Asentamiento	1	1/5
C2	Tipo de suelo	5	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Cuadro 57

Matriz de comparación por parejas del encuestado 2

Criterios para Evaluación de		C1	C2
Condiciones del Suelo			
C1	Asentamiento	1	1
C2	Tipo de suelo	1	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Cuadro 58

Matriz de comparación por parejas del encuestado 3

Criterios para Evaluación de		C1	C2
Condiciones del Suelo			
C1	Asentamiento	1	7
C2	Tipo de suelo	1/7	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Cuadro 59

Matriz de comparación por parejas del encuestado 4

Criterios para Evaluación de		C1	C2
Condiciones del Suelo			
C1	Asentamiento	1	5
C2	Tipo de suelo	1/5	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Cuadro 60

Matriz de comparación por parejas del encuestado 5

Criterios para Evaluación de		C1	C2
Condiciones del Suelo			
C1	Asentamiento	1	7
C2	Tipo de suelo	1/7	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Cuadro 61

Matriz de comparación por parejas del encuestado 6

Criterios para Evaluación de		C1	C2
Condiciones del Suelo			
C1	Asentamiento	1	1/5
C2	Tipo de suelo	5	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Cuadro 62

Matriz de comparación por parejas del encuestado 7

Criterios para Evaluación de		C1	C2
Condiciones del Suelo			
C1	Asentamiento	1	1
C2	Tipo de suelo	1	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Cuadro 63

Matriz de comparación por parejas del encuestado 8

Criterios para Evaluación de		C1	C2
Condiciones del Suelo			
C1	Asentamiento	1	1/9
C2	Tipo de suelo	9	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Cuadro 64*Matriz de comparación por parejas del encuestado 9*

Criterios para Evaluación de		C1	C2
Condiciones del Suelo			
C1	Asentamiento	1	1/3
C2	Tipo de suelo	3	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús**Fuente:** Datos propios de la investigación.

Cada una de las 9 matrices resultantes por cada criterio se sintetizaron por medio de la fórmula del promedio geométrico, dando como resultado una sola matriz por cada criterio de evaluación.

$$PG = (x_1 x_2 \dots x_n)^{1/n}$$

A continuación, se presenta el resultado de las matrices de los elementos estructurales sintetizadas.

Cuadro 65*Matriz sintetizada de elementos estructurales*

Criterios para Evaluación		C1	C2	C3	C4
de Elementos					
Estructurales					
C1	Columnas	1	3,56	5,49	7,40
C2	Vigas	0,28	1	1,16	3,52
C3	Conexiones viga- columna	0,18	0,86	1	3,49
C4	Escaleras	0,13	0,28	0,29	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús**Fuente:** Datos propios de la investigación.

A continuación, se presenta el resultado de las matrices de los elementos no estructurales sintetizadas.

Cuadro 66
Matriz sintetizada de elementos no estructurales

Criterios para Evaluación de Elementos no Estructurales		C1	C2
C1	Fachada	1	0,78
C2	Paredes	1,29	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

A continuación, se presenta el resultado de las matrices de las condiciones del suelo.

Cuadro 67
Matriz sintetizada de las condiciones del suelo

Criterios para Evaluación de Condiciones del Suelo		C1	C2
C1	Asentamiento	1	0,89
C2	Tipo de suelo	1,12	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

Una vez sintetizadas las matrices, la matriz resultante se normalizan a 1, dividiendo cada elemento por la suma total de las columnas, tal como se muestra en la siguiente formula.

$$r'_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{k=1}^n r_{k,j}} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Donde n indica el tamaño de la matriz sintetizada, siendo i sus filas y j sus columnas. A continuación, se muestran las matrices normalizadas.

Cuadro 68*Matriz normalizada de la comparación de los Elementos Estructurales*

Criterios para Evaluación de Elementos Estructurales		C1	C2	C3	C4
C1	Columnas	0,6274	0,6243	0,6914	0,4802
C2	Vigas	0,1752	0,1753	0,1465	0,2285
C3	Conexiones viga-columna	0,1137	0,1508	0,1260	0,2265
C4	Escaleras	0,0836	0,0496	0,0361	0,0649

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Cuadro 69*Matriz normalizada de la comparación de los Elementos no Estructurales*

Criterios para Evaluación de Elementos no Estructurales		C1	C2
C1	Fachada	0,4372	0,4372
C2	Paredes	0,5628	0,5628

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Cuadro 70*Matriz normalizada de la comparación de las condiciones del suelo*

Criterios para Evaluación de Elementos no Estructurales		C1	C2
C1	Asentamiento	0,4719	0,4719
C2	Tipo de suelo	0,5281	0,5281

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Para poder continuar con el proceso, es necesario saber si las matrices de comparación son consistentes. La consistencia indica que la decisión muestra un juicio coherente en la comparación por pares. Se considera una matriz consistente cuando la razón de consistencia es < 0.1 . Se calcula la consistencia de la matriz mediante las siguientes formulas.

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

$$IC = \frac{n \text{ MAX} - n}{n - 1}$$

$$IA = \frac{1,98 (n - 2)}{n}$$

Donde, *RC* es la razón de consistencia, *IC* es el índice de consistencia, *IA* es el índice de consistencia aleatoria y *n* es el tamaño de la matriz.

Cabe mencionar que este paso se lo realiza únicamente cuando el número de subcriterios es > 2, por tal motivo solo se lo realizó para la matriz de los elementos estructurales que cuenta con 6 subcriterios de evaluación. A continuación, se muestra el resultado del cálculo de la razón de consistencia.

Como primer paso se calcula la *IC*, para aplicar esta fórmula se requiere del *n MAX* y este valor se lo obtiene sumando el resultado de la multiplicación entre la matriz sintetizada y la matriz resultante del promedio de cada una de las filas de la misma normalizada, así:

Matriz sintetizada:

Cuadro 71
Matriz sintetizada para Cálculo

1	3,56	5,49	7,40
0,28	1	1,16	3,52
0,18	0,86	1	3,49
0,13	0,28	0,29	1

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

Matriz resultante del promedio de cada fila de la matriz normalizada:

Cuadro 72
Promedio de cada fila de la matriz normalizada

0,61
0,18
0,15
0,06

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

Resultado de la multiplicación de ambas matrices se puede visualizar en el siguiente cuadro:

$$\begin{array}{r} \textbf{Cuadro 73} \\ \textit{Multiplicación de matrices} \\ \hline 2,51 \\ \hline 0,73 \\ \hline 0,62 \\ \hline 0,23 \\ \hline \end{array}$$

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Es decir, el n_{MAX} es 4,09 resultado de la suma del resultado de la multiplicación de las matrices antes mencionadas. A continuación, se muestra el resultado de la fórmula para calcular el IC .

$$IC = \frac{4,09 - 4}{4 - 1}$$
$$IC = 0,0300$$

Posterior a esto, se calcula el IA :

$$IA = \frac{1,98 (4 - 2)}{4}$$
$$IA = 0,9900$$

Como siguiente paso, ya se puede calcular la RC :

$$RC = \frac{0,03}{0,99}$$
$$RC = 0,0303$$

La consistencia de la matriz de comparación es de 0,0303 y cumple con la condición de ser < 1.0 , es decir, que la matriz es confiable y se puede continuar con el proceso.

Pesos por Criterio

Como paso final del análisis AHP, se procede a determinar el vector de prioridad para cada uno de los subcriterios, este vector se obtiene calculando el promedio de cada fila de la matriz normalizada.

Cuadro 74

Pesos para los elementos estructurales

Pesos para los Elementos Estructurales

Columnas	0,61
Vigas	0,18
Conexiones viga-columna	0,15
Escaleras	0,06

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Cuadro 75

Pesos para los elementos no estructurales

Pesos para los Elementos no Estructurales

Fachada	0,44
Paredes	0,56

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Cuadro 76

Pesos para las condiciones del suelo

Pesos para las Condiciones del Suelo

Asentamiento	0,47
Tipo de Suelo	0,53

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Evaluación Visual del Edificio

La evaluación de los daños que puede presentar un edificio después de ocurrido un sismo fuerte se clasifica en 3: evaluación rápida, evaluación detallada y evaluación de ingeniería. En esta investigación se realizó la evaluación rápida también conocida como evaluación para determinar la habitabilidad de edificios.

(NEC, 2015) “El objetivo de la evaluación rápida es inspeccionar en un corto tiempo y de manera sencilla y eficiente las edificaciones afectadas en el área de impacto de un sismo, de tal manera que se pueda definir las condiciones de daño de las edificaciones y la seguridad de las mismas después del evento. Los principales elementos de la metodología y procedimiento de evaluación post-evento son la clasificación de los daños y la definición de las posibilidades de uso de las edificaciones que sufrieron daños.”

A pesar de que las personas más idóneas para realizar la labor de inspección son profesionales con título de ingeniero civil o arquitecto, que tengan experiencia en diseño estructural o construcción, en el momento de un terremoto suele existir una cantidad limitada de profesionales con esta formación. Dado que el número de edificaciones afectadas podrían contarse por cientos, existe la posibilidad de requerir personal que ejecute labores de inspección y que no necesariamente tenga experiencia en las ramas profesionales mencionadas. (NEC, 2015) pág. 156.

En esta investigación, la evaluación rápida fue realizada por un docente ingeniero civil de la facultad de ciencias matemáticas y físicas que cuenta con experiencia certificada en evaluaciones post sísmica de edificaciones. al finalizar la evaluación, el experto estará en la capacidad de poder emitir su dictamen respecto a la habitabilidad del edificio.

Para llevar a cabo la evaluación fue necesario elaborar un formulario de evaluación rápida basado en la NEC y aprobado por el experto evaluador.

Formulario de Evaluación

El formulario de evaluación rápida que se realizó para esta evaluación fue una adaptación del formulario propuesto por la NEC 2015, consta de 5 secciones: inspección, descripción de la edificación, evaluación, dictamen y recomendaciones.

En la primera sección, junto con el evaluador se llenó información básica como:

- Nombre del evaluador.
- Lugar, fecha y hora de la evaluación.
- Áreas a inspeccionar.

El experto evaluador fue el Ing. Vicente León, ingeniero civil con experiencia en evaluaciones rápidas y detalladas de edificios después de ocurrido un sismo. La evaluación se llevó a cabo en la ciudad de Guayaquil el día viernes 3 de agosto del 2018 y se evaluaron las áreas internas y externas.

La sección de descripción de la edificación solicita la siguiente información:

- Nombre del edificio.
- Tipo de construcción del edificio.
- Dirección del edificio.
- Número de pisos del edificio.
- Tipo de ocupación del edificio.

El nombre del edificio evaluador es “facultad de filosofía y letras” ubicado en la ciudadela universitaria Salvador Allende, su tipo de construcción es de hormigón armado, consta de planta baja más 2 pisos altos, su tipo de ocupación es académica y administrativa.

En la tercera sección se registra la evaluación del experto:

- Evaluación de los elementos estructurales.
- Evaluación de los elementos no estructurales.
- Evaluación de las condiciones del suelo.

En la sección del dictamen final, se llena el resultado de la evaluación, el experto selecciona una de las siguientes opciones:

- Habitable.
- Habitable con reparaciones.
- No habitable

Por último, en la sección de recomendaciones se solicitó al evaluador que de acuerdo a su experiencia comparta las recomendaciones que considera que deben tomarse en cuenta para el edificio evaluado.

El formulario que se llenó durante la evaluación se encuentra en el anexo 3.

Determinación de Daños Estructurales

Durante la evaluación de los daños estructurales se buscó la presencia de fisuras en los elementos estructurales como: columnas, vigas, conexiones vigas-columnas y escaleras.

A continuación, se muestran unas imágenes que fueron tomadas en la evaluación, el set completo de imágenes se encuentra en el anexo 4:

Imagen 1

Columnas de un laboratorio del piso 1

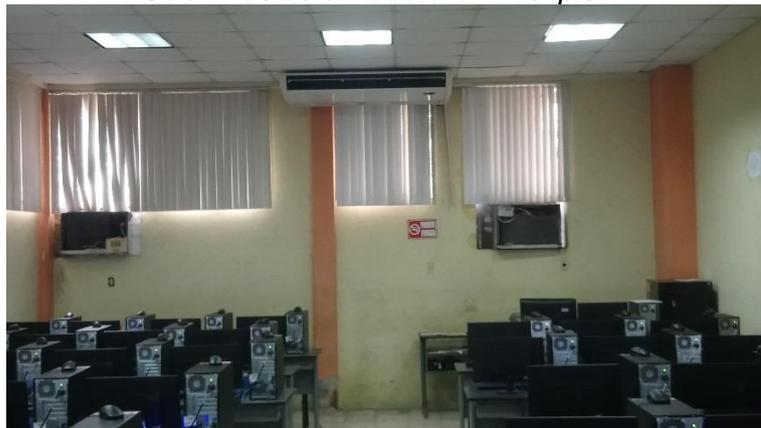


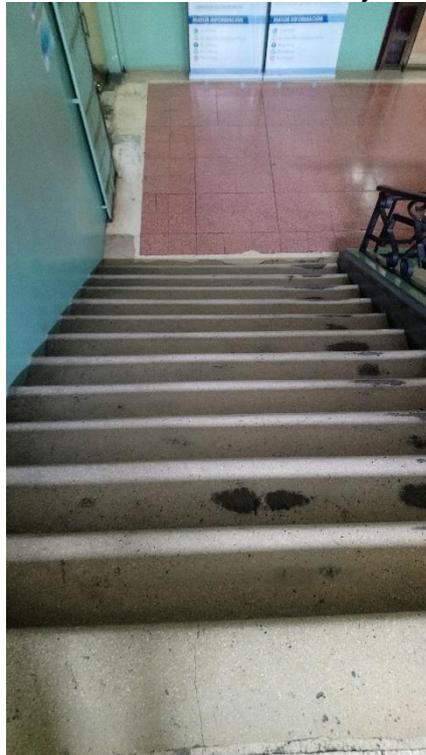
Imagen 2
Viga del Piso 2



Imagen 3
Conexión viga-columna en el Piso 3



Imagen 4
Escaleras de Planta Baja



Después de realizar la respectiva evaluación de los elementos estructurales el experto determino los siguientes niveles de daño:

Cuadro 77
Porcentaje de Daños de los Elementos Estructurales

Elemento Evaluado	Nivel de Daño
Columnas	0%
Vigas	0%
Conexiones vigas – columnas	0%
Escaleras	0%

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

El experto considera que los elementos estructurales del edificio se encuentran en buen estado, lo que se puede observar es desprendimiento de la pintura por

causas de la humedad y esto se debe a un mal sistema de drenaje, sin embargo, no afecta a estos elementos evaluados. La distribución de columnas y la distribución de masa fueron evaluadas como buenas por el experto.

Determinación de Daños no Estructurales

En la evaluación de los elementos no estructurales se buscó la presencia de fisuras o desprendimientos de mampostería en: las paredes externas (fachada) y paredes internas.

A continuación, se muestran unas de las imágenes que fueron tomadas durante la evaluación, el set completo de imágenes se encuentra en el anexo 4:

Imagen 5

Desprendimiento de mampostería en la fachada



Imagen 6
Fisura en Pared Interna



Después de realizar la respectiva evaluación de los elementos no estructurales el experto determinó los siguientes niveles de daño:

Cuadro 78
Porcentaje de Daños de los Elementos no Estructurales

Elemento Evaluado	Nivel de Daño
Fachada (paredes externas)	20%
Paredes Internas	10%

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

El experto manifiesta que los daños en la fachada se deben a un sistema de drenaje de agua deficiente, tanto de aguas lluvias como el de las máquinas acondicionadoras de aire. Además, se pudo observar desprendimiento de mampostería justamente en la parte alta de una de las ventanillas de atención a estudiantes.

Determinación de Daños en las Condiciones del Suelo

De acuerdo a lo indicado por el experto, el tipo de suelo de toda la ciudadela universitaria Salvador Allende es Blando, adicional, mencionó que en una evaluación realizada tiempo atrás se pudo determinar que existe un asentamiento de aproximadamente 50 centímetros, además, debido a que el edificio está ubicado muy cerca del estero, los habitantes del mismo manifiestan que en tiempos de invierno se inunda y el agua llega aproximadamente a 80 centímetros sobre el suelo, existe una marca que dejó el agua en la última inundación, esto se puede observar en el gráfico 27.

Imagen 7

Suelo Arcilloso en las Afueras del Edificio



.Imagen 8

Marca de Inundación



La evaluación del experto fue la siguiente:

Cuadro 79

Porcentaje de Daños de las Condiciones del Suelo

Elemento Evaluado	Nivel de Daño
Asentamiento	80%

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

El dictamen final del experto fue que el edificio es habitable, sin embargo, recomienda que se mejore el sistema de drenaje para evitar daños severos en el futuro y con respecto al asentamiento recomienda disminuir la carga muerta en la edificación como no incrementando pisos verticalmente y se realizan rellenos nuevamente entonces hacerlo con técnicas especiales que ayude a disminuir esta carga.

Índices de Daños Aplicando Lógica Difusa

Se determinó el grado de daño estructural, no estructural y condiciones de suelo en base a las calificaciones de daños dadas por el evaluador para cada una de las variables que componen la edificación, empezando por el índice de daño estructural.

Índice de daño estructural

Para determinar el daño global a nivel estructural, intervienen 4 variables:

- Columnas
- Vigas
- Conexiones vigas-columnas (Nudos)
- Escaleras, para este estudio, se consideraron las escaleras como parte del sistema estructural.

Mediante la herramienta MATLAB, se establecieron funciones de pertenencia por cada una de las variables asociadas al sistema estructural, estas funciones de pertenencia se asocian con 5 conjuntos difusos o valores lingüísticos, los cuales son:

- Ninguno
- Ligero
- Moderado
- Severo
- Total

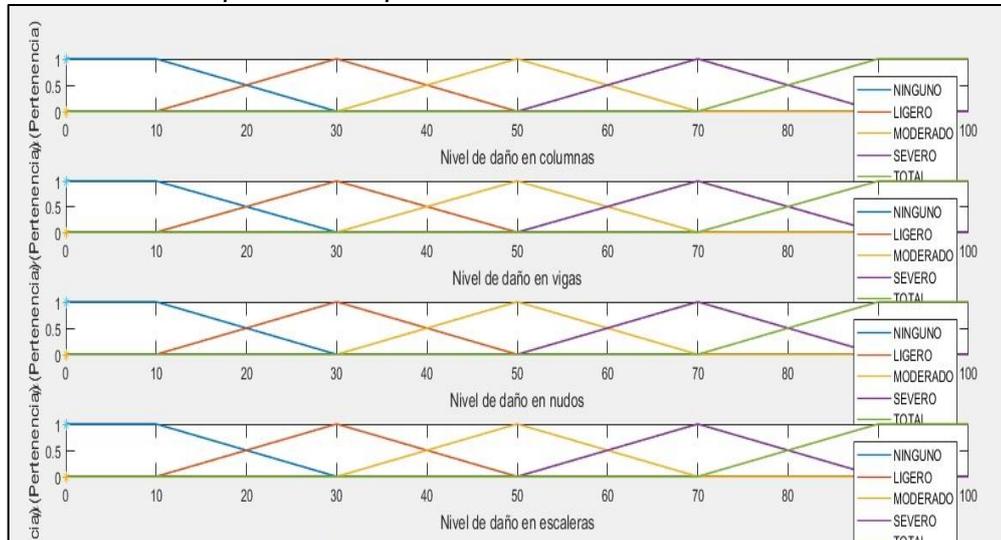
En el eje **x** de cada función, se encuentran el universo del discurso, que se define como todos los posibles valores que puede tomar una variable., este universo tiene un rango de 0 a 100, que indica el porcentaje de daño del elemento que se evalúa.

El eje **y** de la función representa el grado de pertenencia que tiene la variable a un conjunto difuso, su rango es de 0 a 1.

La siguiente figura muestra las funciones de pertenencia para los elementos que conforman el sistema estructural.

Gráfico 21

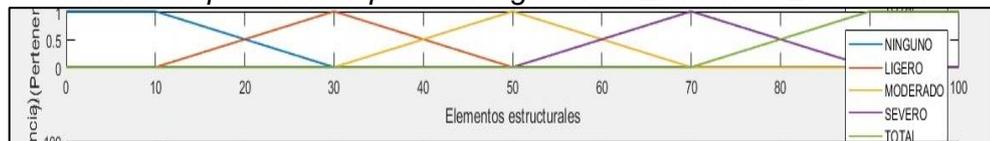
Funciones de pertenencia para las variables de elementos estructurales



Estas variables están en el grupo de una variable de mayor nivel llamada “elementos estructurales”, la función de pertenencia a continuación muestra los rangos asociados la variable global “elementos estructurales”.

Gráfico 22

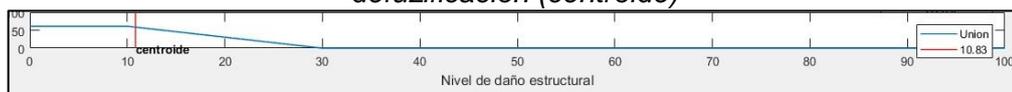
Función de pertenencia para daño global en Elementos Estructurales



Para el cálculo de índice de daño del grupo “elementos estructurales” se hizo uso de la calificación brindada por el experto, además de los pesos de las variables obtenidos en la etapa anterior (método AHP), obteniendo el valor de 10.83.

Gráfico 23

Nivel de daño estructural dado por Agregación de conjunto difuso y defuzzificación (centroide)



Índice de daño no estructural

Las variables que intervienen para determinar el daño no estructural son:

- Fachada
- Paredes internas

Los conjuntos difusos asociados a los niveles de daños en fachadas y paredes son los siguientes:

- Ninguno
- Ligero
- Moderado
- Severo
- Total

A continuación, se muestran las funciones de pertenencia para fachadas y paredes internas.



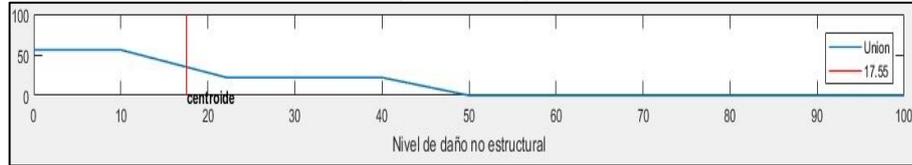
A continuación, se muestra la función de pertenencia para la variable de salida “elementos no estructurales”.



La siguiente imagen muestra el índice de daño no estructural calculado a partir de la agregación y defuzificación de conjuntos difusos. El valor obtenido es de 17.55.

Gráfico 26

Nivel de daño no estructural obtenido a partir de la agregación y defuzzificación (centroide)



Índice de condiciones de suelo

En las condiciones del suelo intervienen 2 variables:

- Asentamientos
- Tipo de suelo

Los conjuntos difusos para la función de pertenencia de los asentamientos son:

- Ninguno
- Ligero
- Moderado
- Severo
- Total

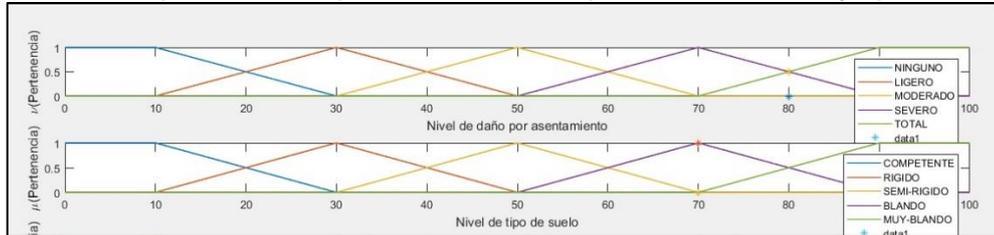
Los conjuntos difusos para la función de pertenencia del tipo de suelo son:

- Competente
- Rígido
- Semi-Rígido
- Blando
- Muy blando

Continuación se muestra las funciones de pertenencia de las dos variables mencionados anteriormente.

Gráfico 27

Funciones de pertenencias para nivel de daño por asentamientos y tipo de suelo

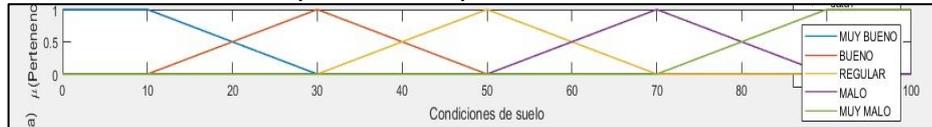


También se determinó la función de pertenencia para la variable de salida de las condiciones de suelo, esta posee los siguientes conjuntos difusos:

- Muy bueno
- Bueno
- Regular
- Malo
- Muy malo

Gráfico 28

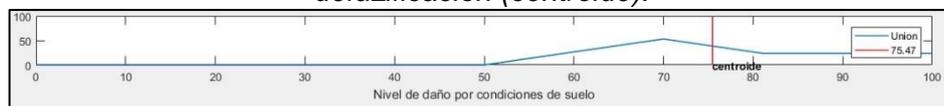
Función de pertenencia para condiciones de suelo



A continuación, se muestra el índice de condiciones de suelo calculado a partir de la agregación y defuzzificación de conjuntos difusos. El valor obtenido en este caso es de 75.47.

Gráfico 29

Nivel de daño por condiciones de suelo obtenido a partir de la agregación y defuzzificación (centroide).



Una vez obtenidos los niveles de daño estructural (10.83), no estructural (17.55), y niveles de condiciones de suelo (75.47), se procede a determinar la habitabilidad de la siguiente manera:

1. Haciendo uso de la herramienta “Fuzzy Logic Toolbox” de Matlab, se crea un controlador difuso que reciba como entradas el nivel de daño estructural

y el nivel de daño no estructural, y a continuación produzca como salida el nivel de daño global del edificio.

2. Crear un controlador difuso que reciba como entradas el nivel de daño global del edificio y el nivel de condiciones de suelo, y produzca como salida el nivel de habitabilidad.



Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús
Fuente: Datos propios de la investigación.

Control Difuso para Nivel de Daño Global

El siguiente control difuso recibe 2 entradas (input), a los cuales se le aplicará el proceso de Fuzificación, evaluación de reglas, agregación de salidas y defuzificación. Para la Fuzificación, igual que para los daños en las variables individuales, también es necesario establecer funciones de pertenencia; en este estudio, las funciones de pertenencia para el nivel de daño global serán del tipo trapezoidales y triangulares.

Gráfico 31

Funciones de pertenencia para nivel de daño estructural

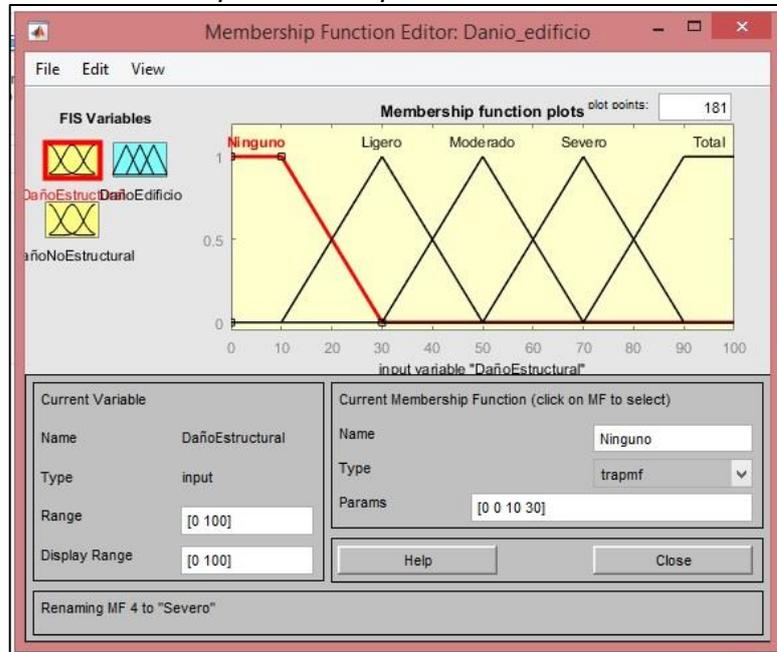
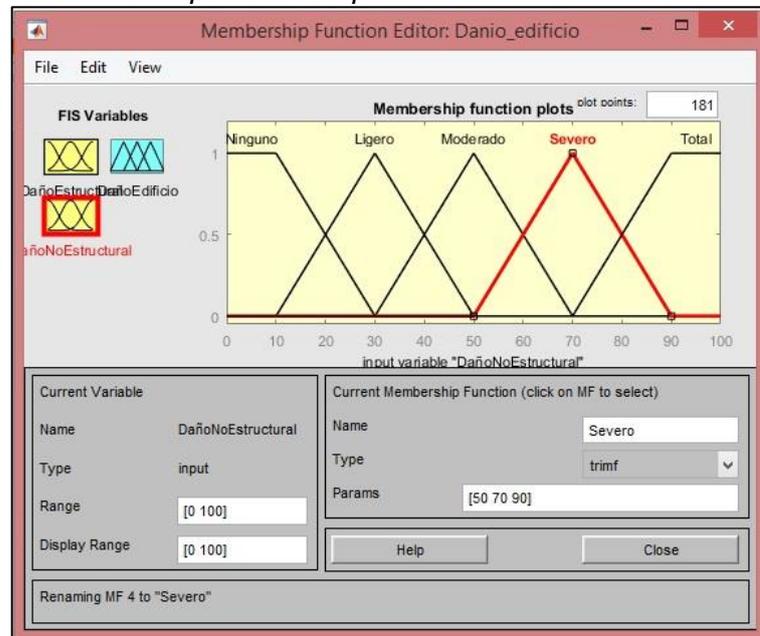


Gráfico 32

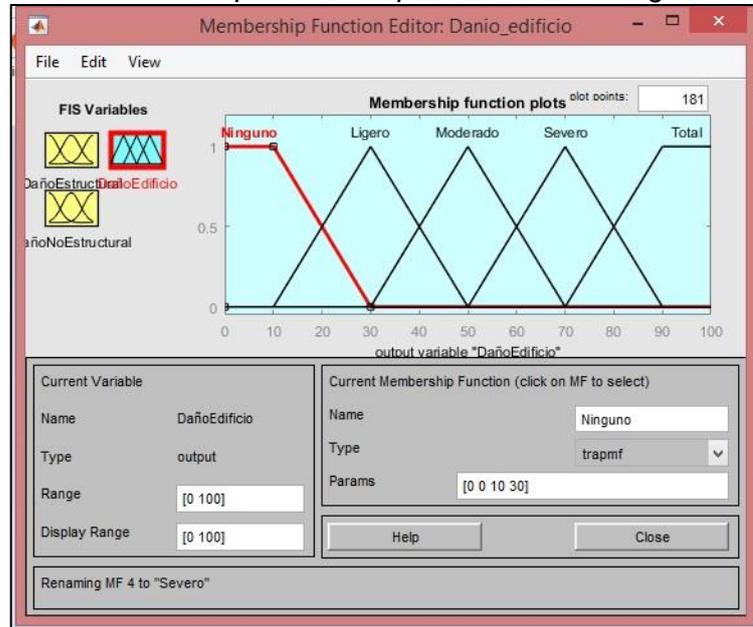
Funciones de pertenencia para nivel de daño no estructural



De la misma forma, posee una salida (nivel de daño global), para lo cual se definieron las siguientes funciones de pertenencia.

Gráfico 33

Funciones de pertenencia para nivel de daño global



A continuación, se ingresan las reglas difusas al controlador basado en la siguiente matriz:

Cuadro 80

Matriz de reglas difusas para daño global de edificio

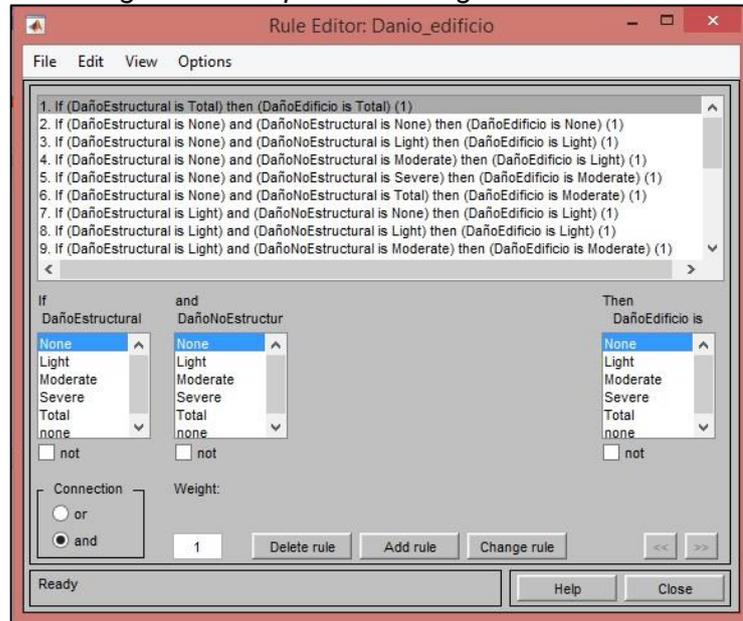
		No estructural				
		Ninguno	Ligero	Moderado	Severo	Total
Estructural						
Ninguno		N	L	L	M	M
Ligero		L	L	M	M	M
Moderado		M	M	M	S	S
Severo		S	S	S	T	T
Total		T	T	T	T	T

Elaboración: Moncayo Zully, Sarmiento Jesús

Fuente: Datos propios de la investigación.

Gráfico 34

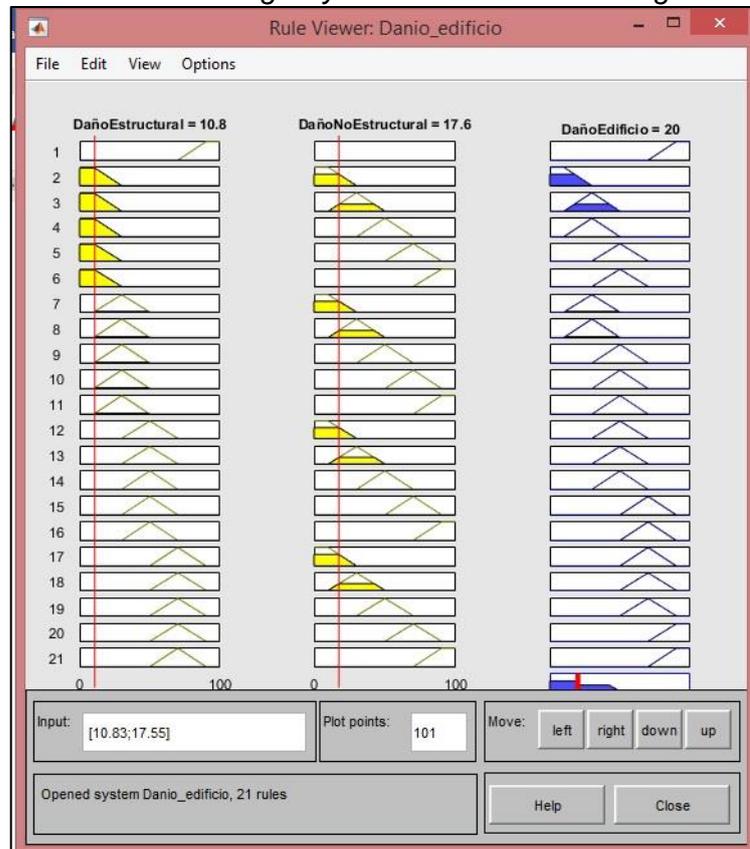
Reglas difusas para el daño global del edificio



Una vez realizado estos pasos, se procede a ingresar los datos para daño estructural (10.83) y daño no estructural (17.55) para que el controlador difuso determine el nivel de daño global, obteniendo el siguiente resultado:

Gráfico 35

Evaluación de reglas y determinación de daño global



El resultado obtenido para el daño del edificio fue de 20.

Control Difuso para Habitabilidad

Este control difuso recibe 2 valores de entrada (daño global edificio, nivel de condiciones de suelo) y realiza el proceso de fuzificación, evaluación de reglas, agregación de salidas y defuzificación para finalmente obtener el nivel de habitabilidad.

Los conjuntos difusos asociados al nivel de daño de edificio son: Ninguno, Ligero, Moderado, Severo, Total; mientras que los conjuntos asociados a las condiciones de suelo son: Muy buenas, Buenas, Medio, Malas, Muy malas.

A continuación, se detallan las funciones de pertenencia para ambas entradas.

Gráfico 36

Funciones de pertenencia para Daño global del edificio

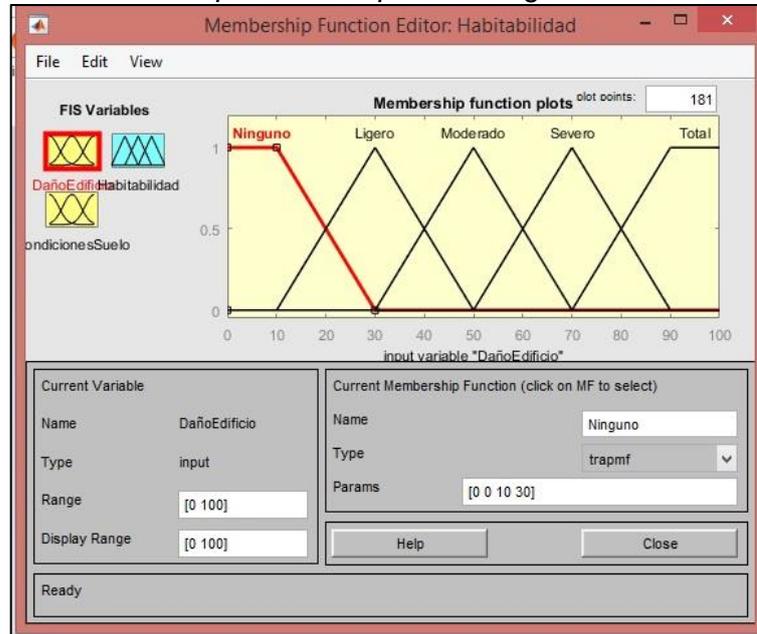
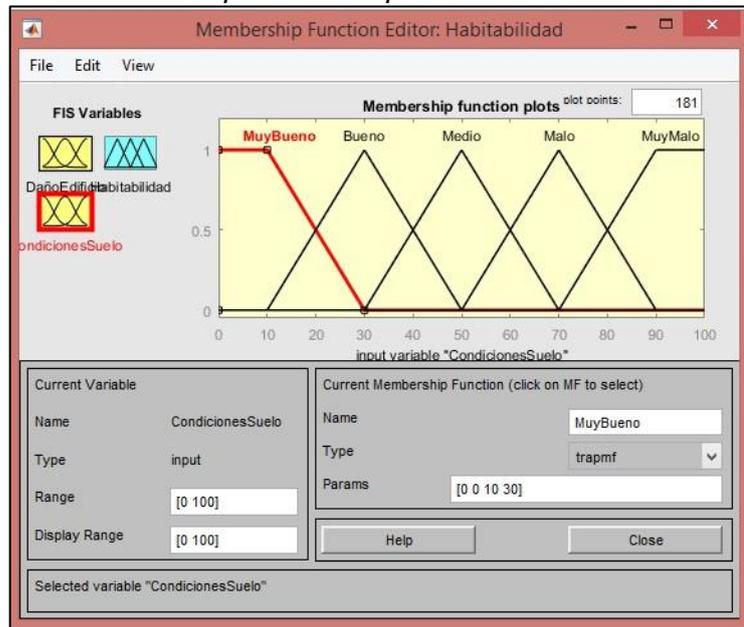


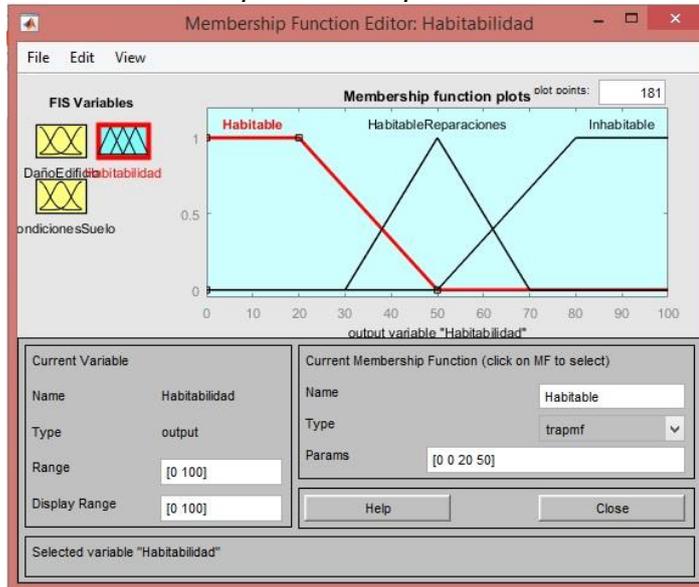
Gráfico 37

Funciones de pertenencia para condiciones de suelo



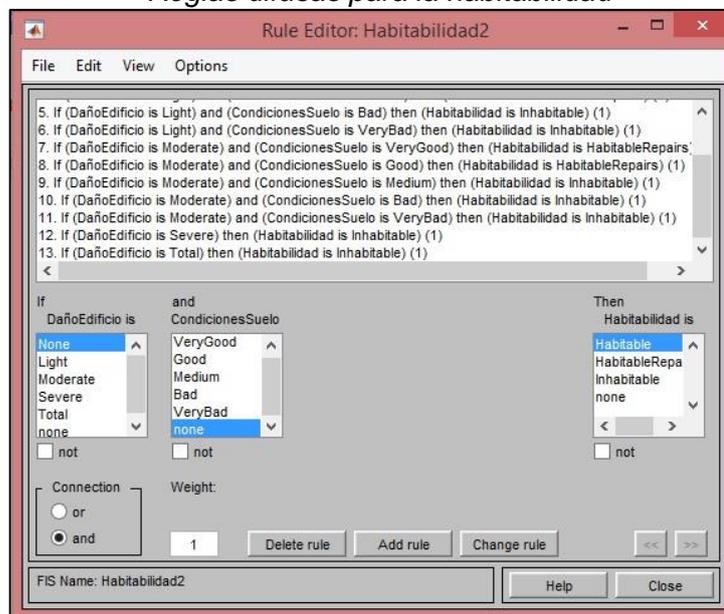
En cuanto a la habitabilidad, las funciones de pertenencia asociadas a esta variable se detallan en la siguiente figura:

Gráfico 38
Funciones de pertenencia para la habitabilidad



Luego de concluido la elaboración de las funciones de pertenencia, el siguiente paso es ingresar las reglas difusas para la habitabilidad.

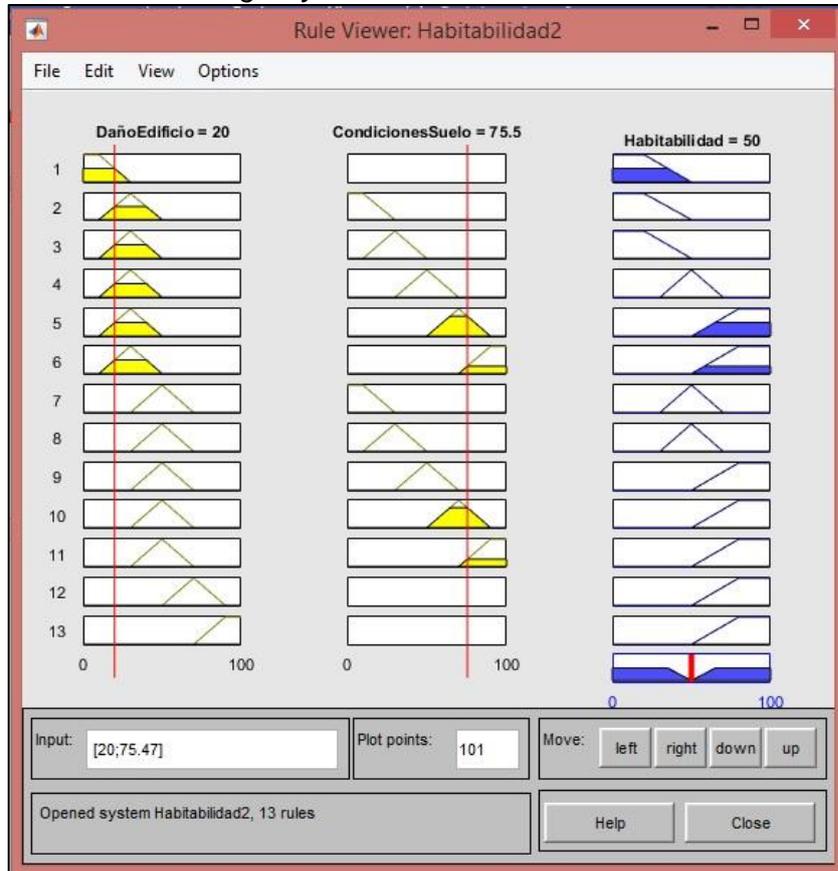
Gráfico 39
Reglas difusas para la habitabilidad



Una vez realizado estos pasos, se procede a ingresar los datos para daño global del edificio (20) y niveles en condiciones de suelo (75.47) para que el controlador difuso determine el nivel de habitabilidad, obteniendo el siguiente resultado:

Gráfico 40

Evaluación de reglas y determinación del nivel de habitabilidad



El resultado obtenido para el nivel de habitabilidad fue de 50, en donde, en base a las funciones de pertenencia para la variable de salida, se determinó que con ese valor, la variable tiene un grado de pertenencia de 1 (totalidad) al conjunto difuso de “Habitable con reparaciones”.

CAPITULO IV

RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El propósito de este capítulo es presentar los resultados obtenidos en base a la información obtenida en el capítulo II y lo realizado en el capítulo III. Se presentan los resultados por cada objetivo específico que se planteó en el capítulo I de esta investigación, las conclusiones del mismo modo y finalmente las recomendaciones que se tienen para impulsar que en un futuro se emprendan investigaciones similares o que puedan fortalecer la realizada en esta tesis de grado.

RESULTADOS

Mediante la aplicación del modelo híbrido heurístico difuso propuesto en esta investigación y con la ayuda de la herramienta de análisis de datos Matlab se realizó la evaluación de daños post sismo en el edificio de la facultad de filosofía y letras de la Universidad de Guayaquil y se obtuvo un porcentaje de habitabilidad del 50%, lo que indica que el edificio es habitable con reparaciones. Es decir, que se necesitan mejorar los sistemas de drenaje de aguas lluvias y de las máquinas acondicionadoras de aire para evitar que la humedad que esto provoca deteriore las estructuras del edificio de la facultad de filosofía y letras de la Universidad de Guayaquil con el paso del tiempo y debido a que el edificio presenta asentamiento de aproximadamente 80cm., se debe disminuir la carga muerta del edificio y no extender la cantidad de pisos del mismo.

- **Resultado del primero objetivo específico:** Se lo realizó con la revisión documental y la elaboración de un metaanálisis que permitió definir el diseño del modelo híbrido propuesto.

- **Resultado del segundo objetivo específico:** La preselección de las variables de evaluación y sus valores lingüísticos se la realizó mediante la revisión documental y la validación de esta pre-selección se llevó a cabo con la ayuda de un experto en el área, posterior a esto se realizaron ajustes

que permitieron obtener las variables que se utilizaron en esta investigación. Por otro lado, los pesos de cada variable se los obtuvieron mediante una encuesta a 9 expertos y aplicando el modelo AHP como la parte heurística del modelo.

- **Resultado del tercer objetivo específico:** Junto con un experto se realizó una evaluación visual que permitió determinar el porcentaje de daños de cada variable y esto junto con los pesos obtenidos previamente fue la entrada para el controlador difuso desarrollado en Matlab obteniendo una habitabilidad del 50%.

CONCLUSIONES

Se ha aplicado una metodología que combina la heurística con una rama de la inteligencia artificial que es la lógica difusa, obteniendo finalmente un modelo híbrido heurístico-difuso para determinar la habitabilidad de edificios después de ocurrido un sismo fuerte. Este modelo ayuda en la toma de decisiones de los expertos cuando de determinar habitabilidad se trata, es útil para los casos en que el evaluador cuenta con la experiencia suficiente en este tipo de evaluaciones.

Para el presente trabajo no se estableció una relación directa entre heurística y lógica difusa, más bien se dio una relación para un proceso posterior en donde las salidas de los resultados del método heurístico sirvieron como entrada para el cálculo de habitabilidad mediante lógica difusa, adicionalmente, el hecho de que la selección de las variables se haya sometido a un análisis posterior por el experto, nos permitió retroalimentar y mejorar esa selección, respecto a los valores lingüísticos, al obtenerla mediante documentación e investigaciones anteriores, permitió que se pueda asociar cada rango de valores en porcentaje con una descripción de daño específica para que haya mayor claridad al momento de evaluar la estructura.

El modelo que se desarrolló mediante la herramienta Matlab permitió automatizar los cálculos, permitiendo visualizar gráficamente toda la información numérica y lingüística de las variables. Finalmente, se concluyó que el edificio de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Guayaquil puede seguir siendo habitado, sin embargo, se debe prestar atención a los daños que se reflejaron durante la evaluación visual del experto en las paredes externas y en el asentamiento que presenta el edificio.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que se siga apoyando el desarrollo de los proyectos FCI en todas las facultades de la Universidad ya que, no solo benefician a las personas quienes harán uso del producto final de proyecto sino también a los estudiantes que están en proceso para obtener su título profesional.
- El modelo planteado en esta investigación es muy útil para ayudar a los evaluadores con poca experiencia a decidir sobre la habitabilidad de un edificio después de un sismo fuerte, por lo que se recomienda fomentar el uso del mismo mediante el desarrollo de un software de fácil uso para los evaluadores.
- El trabajo realizado en esta tesis de grado puede servir como guía para investigaciones posteriores relacionadas al tema puesto que, las herramientas utilizadas tienen mucho por ser exploradas aun y el tema central involucra el beneficio de todo el país.
- Esta tesis podría considerarse como la primera fase de un proyecto mucho más ambicioso que proponga mejorar las metodologías existentes actualmente para realizar las evaluaciones de daños post sismo, ya que es una realidad que viven muchos países en todo el mundo y ya no solo beneficiaría a un país.
- Se recomienda que a los docentes involucrados en los proyectos FCI aprobados, se les asigne una mayor cantidad de horas dedicadas a la investigación, de este modo la reunión con los estudiantes en proceso de titulación puede facilitarse y ayudaría a supervisar mucho mejor el avance del trabajo asignado.

BIBLIOGRAFÍA

- Abréu, D. (2013). *Sistema experto para la evaluación técnica de elementos verticales en edificaciones*. Santa Clara, Cuba.
- Aguilar, R., & Mieles, Y. (2016). *ANÁLISIS DE LOS EDIFICIOS QUE COLAPSARON*.
- Al-Humaidi, H., & Hadipriono Tan, F. (2014). A fuzzy logic approach to model delays in construction projects using rotational fuzzy fault tree models. *Taylor & Francis Group*, 24.
- Arenas, G., Canessa, L., Castro, C., & Peinado, O. (2013). *Inteligencia artificial y sistemas expertos*. Mendoza.
- Arias, F. G. (2012). *El Proyecto de Investigación Sexta edición*. Caracas: Episteme.
- Bonett, R. (2014). Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. *Researchgate*, 38.
- Bris Marino, P., Bendito Muñoz de Cuerva, F., & Ceano-Vivas, M. S.-S. (2016). *Planificación de la vivienda de emergencia en desastres naturales. Terremotos de Haití y España*.
- Cajamarca Palma, L. A., & García Lema, C. E. (2017). *Evaluación de la estructura de daños de un edificio post-sísmico aplicando técnicas de mapas cognitivos difusos y redes neuronales de la Universidad de Guayaquil*. Guayaquil.
- Cardenas, M., Medel, R., Castillo, J., Vazquez, J. C., & Casco, O. (2013). *Aplicación para la predicción de incendios forestales en la provincia de Córdoba*. Cordoba.
- Carreño Tibaduiza, M. L. (2015). Sistema experto para la evaluación del daño Post-sísmico en edificios. *ResearchGate*, 20.
- Carreño, M., Barbat, A., & Cardona, O. (2013). Método numérico para la evaluación holística del riesgo sísmico utilizando la teoría de conjuntos difusos. *Elsevier*, 10.
- Carreño, M., Cardona, O., & Barbat, A. (2011). *Evaluación de la habitabilidad de edificios afectados por sismo utilizando la teoría de conjuntos difusos y las redes neuronales artificiales*.
- Casas, J., Repullo, J., & Donado, J. (2013). *La encuesta como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos (I)*. Madrid.
- Cevallos, L. (2017). Evaluation of Vulnerability and Seismic Risk Parameters Through a Fuzzy Logic Approach. *Springer*, 18.
- De La Horra, J. (2015). *MODELOS DE PROBABILIDAD Y MUESTREO*.
- Duarte, O. (2014). Aplicaciones de la Lógica Difusa. *DialNet*, 8.
- Esqueda, J. J. (2015). *Matlab e Interfaces Gráficas*. Tijuana.

- Fernandez Murillo, W. W. (2017). *EVALUACIÓN DEL GRADO DE VULNERABILIDAD DEL SISTEMA*.
- Ferrer, J. (2017). *Métodos heurísticos para un problema multicriterio de distribución de ayuda humanitaria*. Madrid.
- Fortuna Lindao, J. M. (2014). *Introducción a los sistemas expertos en la empresa*.
- Fortuna, J. (2016). Una Introducción a los Sistemas en la Empresa. *DialNet*, 18.
- Gonzales, E., & Navarro, J. (2015). Modelo y sistema de apoyo a la decisión para problemas de cartera de proyectos con relevancia social. *Gestión y Política Pública, X*, 22.
- González Morcillo, C. (2012). *Lógica difusa, una introducción práctica*.
- Hao, Y. (2014). Fuzzy Control and modeling: Analytical foundations and applications. *IEEE Press Series on Biological Engineering*.
- Lario, G., & Bardaji, A. (2017). *Los datos globales tomados de la web USGS*.
- Lazcano Ponce, E., & Oropeza Abundez, C. (2018). *Terremotos, salud y sociedad: lecciones aprendidas*.
- López, N. S. (2012). *Métodos y técnicas de investigación cuantitativa y cualitativa*.
- Luger, G., & Stubblefield, W. (2016). *Inteligencia artificial y el diseño de sistemas expertos*.
- Medina, S. (2014). Modeling of Operative Risk Using Fuzzy Expert. *Springer*, 2.
- Mehdzadeh, E. (2016). Electrical fuzzy C-means: A new heuristic fuzzy clustering algorithm. *Taylor & Francis Group*, 15.
- Milan, J. (2018). A Heuristic Algorithm for the Allocation of Airport. *Taylor & Francis Group*, 21.
- Monsalve, M. C. (2016). *APLICACIÓN DEL MÉTODO DELPHI CON ENFOQUE DIFUSO PARA SELECCIONAR ALTERNATIVAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA - ESTUDIO DE CASO DE SEIS MUNICIPIOS NO INTERCONECTADOS DE COLOMBIA*. Bogotá.
- Mora de Labastida, N. (s.f.). *Introducción a la Investigación*.
- NEC. (2015). *Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015*.
- Organización Mundial de la Salud . (2017).
- Patel, A. V. (2014). Transformation Functions for Trapezoidal Membership Functions. *International Journal of Computational Cognition*, 2(3), 115-135.
- Pegaso, C. (2017). *El Gran Terremoto de Alaska en 1964*.

- Portal Inmobiliario. (2016). Cinturón de fuego del pacífico. *Portal Inmobiliario*.
- Quizhpilema, A. (2017). *EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL EDIFICIO DE AULAS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, UTILIZANDO LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN (NEC-SE-RE, 2015)*.
- Research, T. I. (2012). *GLOBAL CONFERENCE ON BUSINESS AND FINANCE PROCEEDINGS*. San José.
- Rodríguez Franco, J., Pierdant Rodríguez, A., & Rodríguez Jiménez, E. (2016). *Estadística para administración*. Grupo Editorial PATRIA. PATRIA.
- Romero, J. J., Dafonte, C., Gómez, Á., & Penousal, F. J. (2017). *Inteligencia artificial y computación avanzada*. Santiago de compostela: Fundación Alfredo Brañas.
- S. M. Seyedpoor, J. S. (2015). Optimum shape design of arch dams for earthquake loading using a fuzzy inference system and wavelet neural networks. *Taylor & Francis Group*, 22.
- Solomon, T. &. (2016). Seismic Risk Assessment of RC Buildings Using Fuzzy Synthetic Evaluation. *Taylor & Francis Group*, 29.
- Solomon, T., & Mauricio, S.-S. (2015). A model for earthquake risk management based on the life-cycle performance of structures. *Taylor & Francis Group*, 19.
- Somasundaram, D. S., & Trabia, M. B. (2017). Un algoritmo difuso de optimización Hooke-Jeeves. *Taylor Y Francis Group*, 21.
- Takeyas, B. L. (2017). *Introducción a la Inteligencia Artificial*. Nuevo Laredo.
- Tarback, E., & Lutgens, F. (2013). *Ciencias de la Tierra*.
- Tavera Huarache, H. (2014). *Evaluación del peligro asociado a los sismos y efectos secundarios en Perú*.
- Tibaduiza Carreño, M. L. (2015). Sistema experto para la evaluación del daño Post-sísmico en edificios. *ResearchGate*, 20.
- Vivienda, M. d. (2016). *Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras*. Quito.
- Vivienda, M. d. (s.f.). *Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- Yajure, C. A. (2015). *Comparación de los métodos multicriterio AHP y AHP Difuso en la selección de la mejor tecnología para la producción de energía eléctrica a partir del carbón mineral*. Sistema de Información Científica Redalyc.

ANEXOS

ANEXO 1: METAANALISIS CRITERIO DE INCLUSION:

No.	TITULO	AUTOR	COAUTORES	RESUMEN
1	Evaluación de la habitabilidad de edificios afectados por sismo utilizando la teoría de conjuntos difusos y las redes neuronales artificiales	M.L. Carreño	O.D. Cardona y A.H. Barbat	La teoría de conjuntos difusos y las redes neuronales son herramientas de inteligencia computacional que cada vez tienen un uso más extendido en la ingeniería Sísmica. En este artículo se desarrolla un método y una herramienta computacional que hace uso de estas técnicas para apoyar la evaluación del daño y de la seguridad de los edificios después de sismos fuertes. Se utiliza una red neuronal artificial de tres capas y un algoritmo de aprendizaje tipo Kohonen, así como conjuntos difusos para manipular información subjetiva como las calificaciones de los niveles de daño presentes en los edificios evaluados. También se aplica una base de reglas difusas para contribuir al proceso de toma de decisiones. Se ha desarrollado un programa de ordenador que utiliza estas técnicas, cuyos datos de entrada del programa corresponden a la información subjetiva e incompleta del estado del edificio obtenida por profesionales posiblemente inexpertos en el campo de la evaluación del comportamiento Sísmico de los edificios. El método propuesto ha sido implementado en una herramienta de especial utilidad durante la fase de respuesta a emergencias, que facilita las decisiones sobre habitabilidad y reparabilidad de los edificios. Para ilustrar su aplicación, se incluyen ejemplos de aplicación del programa para dos clases diferentes de edificios.

Método numérico para la
evaluación holística del
2 riesgo Sísmico utilizando la teoría de conjuntos
difusos M.L. Carreño O.D. Cardona y
A.H. Barbat

La teoría de conjuntos difusos ofrece un puente entre el procesamiento simbólico y el numérico que permite el uso de conceptos cualitativos útiles en el proceso de toma de decisiones relacionadas con la gestión del riesgo Sísmico y, en general, con la gestión del riesgo de desastres. Su utilización en la evaluación del riesgo Sísmico es necesaria en el caso en que los datos para aplicar un método de evaluación convencional del riesgo NO estén disponibles o sean insuficientes. Una posible solución, considerada en este artículo, consiste en sustituir la información que falta por la opinión de expertos y en procesar las variables cualitativas y las calificaciones lingüísticas que se obtengan de dichas opiniones en lugar de valores numéricos.

El procesamiento se realiza utilizando la teoría de conjuntos difusos. Para lograr una gestión eficaz, el riesgo se debe definir como las posibles consecuencias físicas, económicas, sociales y ambientales que pueden ocurrir en un período de tiempo determinado debido a fenómenos peligrosos. Desde esta perspectiva holística, y utilizando la teoría de conjuntos difusos, el método numérico propuesto calcula un nivel de riesgo físico y un nivel de agravamiento relacionado con las condiciones de fragilidad social y falta de resiliencia, para determinar un nivel de riesgo total. En el artículo se incluyen 2 ejemplos de aplicación del método propuesto y los resultados obtenidos se comparan con los correspondientes a un método convencional de evaluación holística

3 SISTEMA EXPERTO
PARA LA TOMA DE
DECISIONES DE
HABITABILIDAD Y
REPARABILIDAD EN
EDIFICIOS DESPUES
DE UN SISMO

Martha
Carreño T.

Omar Cardona A.
Ana Campos G.

Cuando ocurre un terremoto los edificios son afectados en mayor o menor grado dependiendo de sus características y del tipo de movimiento ocurrido. Para un sismo más fuerte se tienen daños más graves, así como un mayor número de edificios dañados. Esto hace que sea urgente identificar los edificios que puedan ser inseguros para sus ocupantes, y los que pueden servir de refugio para personas que han sido evacuadas. El modelo aquí planteado sirve para apoyar el proceso de evaluación de daños luego de ocurrir un terremoto, teniendo en cuenta los diferentes tipos de daños que pueden presentarse, en elementos estructurales y NO estructurales, y el eventual efecto que puede tener un sismo en el suelo alrededor y donde está localizada la edificación. Se tienen en cuenta, también, las condiciones preexistentes que pueden hacer más vulnerables los edificios, tales como la calidad de los materiales utilizados en la construcción, las irregularidades en planta y altura y la configuración estructural. Para el procesamiento de esta información se diseñó una red neuronal de tres capas de aprendizaje NO supervisado, usando el algoritmo de aprendizaje de Kohonen. Para el aprendizaje o calibración de la red se utilizó información del sismo de enero de 1999 en el Eje Cafetero, y para facilitar el manejo de las valoraciones lingüísticas cualitativas se utilizó la teoría de los conjuntos difusos. El modelo ha sido programado en Visual Basic y corresponde a una aplicación de computador a la que se le ha denominado "Evaluación del Daño Sísmico en Edificios, EDE".

4 Sistema experto para la
evaluación técnica de
elementos
verticales en
edificaciones

Dailén Abreu
Rodriguez

El rápido desarrollo de la tecnología ha contribuido a que la industria de la construcción adopte cada vez más estrategias de automatización para realizar los procesos de evaluación técnica de las edificaciones. El presente trabajo implementa un sistema para la evaluación técnica de elementos verticales (muros, columnas y arcos) de una edificación, ETEV 1.0. Se desarrollan tres sistemas de inferencia borrosa para realizar una evaluación detallada de lesiones superficiales y estructurales para una posterior evaluación general de cada elemento previamente identificado, todo lo cual se logra a partir de las distintas etapas de la ingeniería del conocimiento. El conocimiento necesario para concebir cada una de las bases de reglas fue el resultado de la experiencia acumulada por profesores e investigadores de la facultad de Construcciones de la UCLV. El software Xfuzzy 3.0 fue empleado para la construcción de estas bases. Posteriormente las bases se integran a una interfaz desarrollada con el IDENetBeans 7.1.1 que responden a los requerimientos del usuario. ETEV constituye un módulo del sistema para el diagnóstico patológico de edificaciones y se encuentra en fase de validación.

5	A Heuristic Algorithm for the Allocation of Airport Runway System Capacity	MILAN JANIC	<p>Este documento desarrolla un algoritmo heurístico para la asignación de la capacidad de la pista del aeropuerto para minimizar el costo de los retrasos en la llegada y salida de los aviones / vuelos. El algoritmo se desarrolla como una alternativa potencial a los modelos de optimización basados en programación lineal y entera. El algoritmo se basa en criterios heurísticos ('codiciosos') que reflejan de cerca las 'reglas generales' utilizadas por los controladores de tráfico aéreo. Utilizando insumos como la demanda de llegada y salida, sobrecapacidad del sistema de pistas aeroportuarias y el costo de demoras de aeronaves / vuelos, el rendimiento principal minimiza el costo de los retrasos de llegada y salida, así como la correspondiente asignación de capacidad de llegada y salida del sistema de pista interdependiente. El algoritmo se aplica a escenarios de tráfico en tres aeropuertos estadounidenses ocupados. Los resultados se utilizan para validar el rendimiento del algoritmo heurístico propuesto frente a los resultados de la optimización de evaluación comparativa seleccionada modelos.</p>	
6	Optimum shape design of arch dams for earthquake loading using a fuzzy inference system and wavelet neural networks	S. M. Seyedpoor	J. Salajegheh , E. Salajegheh & S. Gholizadeh	<p>Se propone una metodología eficiente para encontrar la forma óptima de las presas de arco considerando la estructura fluida interacción sujeta a la carga del terremoto. La carga Sísmica se considera por variante de tiempo aplicación aplicada en la dirección aguas arriba y aguas abajo de la presa del arco. La optimización se lleva a cabo por optimización de enjambre de partículas, empleando valores reales de variables de diseño. Para reducir el costo computacional del proceso de optimización, se adoptan dos estrategias. En la primera estrategia, las variaciones de diseño más influyentes Las respuestas en arco-presa de las variables originales se seleccionan usando una inferencia neuro-difusa adaptativa sistema. En el segundo, la respuesta de arco-dique es predicha por una función de base radial de wavelet adecuadamente entrenada red neuronal que emplea las variables de diseño influyentes como las entradas. Para evaluar la efectividad de la metodología sugerida, una presa de arco real se considera como un ejemplo de prueba. Los resultados numéricos demostrar las ventajas computacionales de la metodología propuesta para el diseño óptimo del arco presas.</p>

<p>7 A new application area of ANN and ANFIS: determination of earthquake load reduction factor of prefabricated industrial buildings</p>	<p>M. Ceylan</p>	<p>M. H. Arslan , R. Ceylan , M. Y. Kaltakci & Y. Ozbay</p>	<p>El factor de reducción de la carga Sísmica, R , es uno de los parámetros más importantes en la etapa de diseño de un edificio. Se experimentaron daños y fallas significativas en el concreto reforzado prefabricado estructuras durante los últimos terremotos en Turquía y los expertos estuvieron de acuerdo en que fueron el resultado principalmente de la el factor de reducción de la carga Sísmica seleccionado incorrectamente, R. En este estudio, se intentó estimar el coeficiente R para estructuras industriales prefabricadas de una sola planta, una y dos bahías, que son comúnmente construido para la fabricación y operación de almacén con dimensiones variables. De acuerdo a las dimensiones variables seleccionadas, 280 muestras (140 muestras para una bahía (S-1) y 140 muestras para dos bahías (S-2)) las relaciones de carga-desplazamiento de los cuadros se calcularon usando el análisis de pushover y la carga Sísmica factor de reducción, R , se calculó para cada cuadro. Entonces, formuló una red neuronal artificial de tres capas métodos (RNA) y el sistema de inferencia neuro-difusa adaptativa (ANFIS) se entrenaron utilizando 214 de los 280 marcos de muestra. Luego, los métodos fueron probados con los otros 66 marcos de muestra. Las tasas de precisión fueron se encontró que era aproximadamente 94% y 96% para ANN y ANFIS, respectivamente. El uso de ANN y ANFIS proporcionado una forma alternativa para estimar la R y también mostró que ANFIS estimó R con más éxito que ANA.</p>
---	------------------	---	--

8 C-means eléctricos
difusos: un nuevo
algoritmo de
agrupamiento fuzzy
heurístico

Esmail
Mehdizadeh

Amir Golabzae

Muchos algoritmos heurísticos y metaheurísticos se han aplicado con éxito en la literatura para resolver los problemas de agrupamiento. Los algoritmos se han creado para dividir y clasificar un conjunto de datos debido a dos propósitos principales: primero, para los clústeres más compactos, y en segundo lugar, para la separación máxima entre los clústeres. En este artículo, proponemos un nuevo algoritmo de agrupamiento difuso heurístico basado en reglas eléctricas. Las leyes de atracción y repulsión de las cargas eléctricas en un campo eléctrico se llevan a cabo de la misma manera que el objetivo de la agrupación. El algoritmo eléctrico difuso C-means (EFCM) propuesto en este artículo utiliza las reglas eléctricas en campos eléctricos y la ley de Coulomb para obtener la mejor y la más real partición, teniendo en cuenta la máxima separación de clusters y la máxima compacidad dentro de los clusters. Los resultados computacionales muestran que nuestro algoritmo propuesto en comparación con el algoritmo C-means difuso (FCM) como un conocido algoritmo de agrupamiento difuso tiene un buen rendimiento.

9 Un enfoque de la lógica difusa para modelar retrasos en los proyectos de construcción utilizando modelos de rotación del árbol de fallos difusa

HM Al-Humaidi

F. Hadipriyono Tan

Los retrasos en los proyectos de construcción son inevitables y, como resultado, surgen los reclamos y disputas. Diferentes causas de retraso pueden entrar en juego y por lo tanto la necesidad de identificar y clasificar las diferentes causas del retraso surge del proyecto. Diferentes factores que contribuyen al retraso del proyecto afectan a la probabilidad de retraso de proyectos en diferentes grados de efectividad. El análisis del árbol de fallas difusa (TLC) es sugerido por esta investigación para estimar la probabilidad de retraso proyecto. Probabilidad de función de pertenencia de retardo es más edificios utilizando el método de cationes desfusificación promedio ponderado. Dos modelos de lógica difusa se implementan en el difusa TLC, utilizando el software de Visual Basic: los modelos analizados en esta investigación son el modelo de rotación de Baldwin y el modelo angular. Comparación entre los dos modelos de lógica difusa se ha llevado a cabo. se lleva a cabo la validación del modelo difuso equipo TLC. La validación del modelo se realizó para adecuación y aplicabilidad del modelo. En promedio, la validación realizada por ingenieros de la construcción independientes y expertos en lógica difusa produce resultados satisfactorios. El software sugerido por este estudio es un intento de evaluar la probabilidad de que el retraso del proyecto, lo que ayuda a reducir los retrasos en los proyectos de construcción que pueden causar pérdida de tiempo.

10 Evaluación de la efectividad de tres sistemas difusos y tres métodos de extracción de textura para construir detección de daños desde datos LiDAR posteriores al evento

Milad Janalipour

Ali Mohammadzadeh

La construcción de mapas de daños después de un desastre puede ayudar a manejar mejor las operaciones de rescate. Los investigadores han utilizado Datos de Luz y Rango (LiDAR) para extraer los mapas de daños del edificio. Para producir mapas de daños a partir de datos LiDAR de manera rápida, es necesario comprender la efectividad de las características y clasificadores. Sin embargo, NO existe un estudio exhaustivo sobre el rendimiento de características y clasificadores en la identificación de áreas dañadas. En este estudio, la eficacia de tres métodos de extracción de textura y tres difusos se investigaron para producir los mapas de daño al edificio. En el método propuesto, en primer lugar, se utilizó una etapa de procesamiento previo para aplicar procesos esenciales en los datos LiDAR posteriores al evento. Segundo, las características texturales se extrajeron de los datos LiDAR preprocesados. Tercero, los sistemas de inferencia borrosos se generaron para establecer una relación entre las características de textura de los edificios y sus extensiones de daño. El método propuesto fue probado en tres áreas durante el terremoto de Haití en 2010. Tres mapas de daños del edificio con precisiones generales de 75.0%, 78.1% y 61.4% fueron logrados. En función de los resultados, los sistemas de inferencia difusa fueron más fuertes que los bosques aleatorios, ensacar, impulsar y admitir clasificadores de máquinas vectoriales para detectar edificios dañados.

11 Un algoritmo de
optimización Hooke-
Jeeves difusa controlado

Deepak
Sankar Mohamed B.
Somasundara Trabia
m

Este artículo presenta una aproximación para mejorar el algoritmo de optimización Hooke-Jeeves a través del uso de la lógica difusa. El algoritmo de Hooke-Jeeves, similar a muchos otros algoritmos de optimización, utiliza parámetros fijos predeterminados. Estos parámetros NO dependen de los valores de la función objetivo en la región de búsqueda actual. En el algoritmo propuesto, varios controladores de lógica difusa se integran en las diferentes etapas del algoritmo para crear un nuevo algoritmo de optimización: algoritmo de Hooke-Jeeves-Fuzzy controlada. Los resultados de este trabajo muestran que la incorporación de la lógica difusa en theHooke-Jeeves algorithmcan mejorar la capacidad del algoritmo para llegar a un valor extremo en diferentes casos de prueba típica de optimización y problemas de diseño. también se considera un análisis de sensibilidad de las variables del algoritmo.

<p>12 Usando algoritmos heurísticos para cuestiones de arrendamiento de la capacidad y la asignación de tareas en las redes de telecomunicaciones en virtud de la calidad difusa de las restricciones de servicio</p>	<p>Hasan Huseyin Turan</p>	<p>Nihat Kasap y Huseyin Savran</p>	<p>Hoy en día, cada empresa utiliza las redes de telecomunicaciones en diferentes cantidades y formas con el fin de completar sus operaciones diarias. En este artículo, se investiga un problema de optimización que una empresa se enfrenta a la hora de adquirir capacidad de la red de un mercado en el que existen varios proveedores de la red que ofrecen diferentes precios y calidad de servicio (QoS) los planes. El nivel de calidad de servicio garantizada por proveedores de la red y el nivel mínimo de calidad de servicio, que se necesita para llevar a cabo las operaciones se indican como números borrosos con el fin de manejar la naturaleza NO determinista del entorno de red de telecomunicaciones. Curiosamente, la formulación matemática del problema antes mencionado conduce al caso especial de un problema de embalaje bin bidimensional bien conocido, que es famoso por su complejidad computacional. Proponemos dos procedimientos heurísticos diferentes soluciones que tienen la capacidad de resolver el modelo de programación lineal entera mixta resultante con restricciones difusas. En conclusión, la eficiencia de cada algoritmo se prueba en varios casos de prueba para demostrar la aplicabilidad de la metodología.</p>
<p>13 Fuzzy codiciosos heurística búsqueda de optimización combinatoria con aplicación específica a la programación de la máquina</p>	<p>kaveh Sheibani</p>		<p>Este artículo presenta las matemáticas de una heurística de tiempo polinómico constructiva de dos fases que se pueden integrar en los enfoques para problemas de optimización combinatoria duros. El método propuesto evalúa objetos de una manera que combina razonamiento difuso con un mecanismo de codiciosos, explotando de esta manera un espacio de solución difusa utilizando métodos codiciosos. La eficacia y la eficiencia del método propuesto se ponen de manifiesto en la permutación de flujo-tienda de programación como uno de los problemas de optimización combinatoria duros más ampliamente estudiados en las áreas de investigación operativa y gestión de la ciencia.</p>

14	Respuesta Sísmica estructural Mitigación utilizando Optimizado Vibroaparatos de efectos NO lineales de energía Fregaderos	Mostafa Ahmadi	Nader KA Attari y Mohsen Shahrouzi	<p>Un mecanismo NO lineal específica de transferencia de energía llamada Vibro-efectos NO lineales de Energía fregadero (VI NES) se estudia en el presente trabajo para la mitigación Sísmica de estructuras de edificios. Para mejores sintonizar VI parámetros NES incluyendo aclaramiento y la relación de la rigidez, se formula el problema a través de un marco de optimización. Para formar la función objetivo y rastrear el comportamiento estructural, se emplean varios índices de rendimiento Sísmica desarrollado en trabajos anteriores. La realización de historial de tiempo dinámico NO lineal analiza en un número de momento bajo y de altura media de acero de marcos con el adjuntas VI NES y la realización de análisis de Fourier de las respuestas estructurales obtenidos, revelan un corto tiempo de reacción y de disipación de energía de banda ancha en la estructura pasiva controlada a través de la adjunta VI NES. parámetros VI NES también se determinan a través del proceso de optimización bajo el registro del historial de tiempo de terremoto en escala que tiene el espectro más cercana al espectro objetivo.</p>
15	Predicción de series temporales FUZZY en un modelo de alto orden HEURÍSTICO	Chung-Ming	Pao-Ta Yu	<p>Chen propuso por primera vez el alto orden modelo de series de tiempo difusa para superar el inconveniente de los modelos de predicción de primer orden difusos existentes. Su modelo implicó cálculos sencillos y proNosticó con mayor precisión que los otros modelos. Este estudio propone un modelo mejorado en tiempo difusa serie, llamada heurística de orden tiempo difusa modelo de serie, para hacer frente a los problemas de previsión. El modelo propuesto tiene como objetivo superar la deficiencia del modelo de Chen, que depende en gran medida de la serie de tiempo difuso de más alto a fin de eliminar ambigüedades en la predicción y requiere una gran memoria para el almacenamiento de datos. El análisis empírico revela que el modelo propuesto produce pronósticos más precisos.</p>

16	<p>sistema de apoyo a las decisiones de asignación de presupuesto multi-estrategia para la rehabilitación Sísmica de la infraestructura vial</p>	<p>Mohammadreza Yadollahi</p>	<p>Rosli Mohamad Zin</p>	<p>Ciencia económica es un factor importante en la rehabilitación Sísmica de las infraestructuras viarias. Un inventario de las estructuras se criba para identificar las partes Sísmicamente de fi ciente y darles prioridad en el orden de necesidad con fines de rehabilitación. En la mayoría de los casos, los recursos financieros para proyectos de rehabilitación de infraestructura vial son limitadas. Por lo tanto, hay una necesidad de e fi cientemente asignar recursos para varios proyectos. En este artículo se presenta un sistema de apoyo a las decisiones de estrategias múltiples (DSS) para la asignación del presupuesto de rehabilitación Sísmica a través de infraestructuras de carreteras existentes. Este DSS emplea un módulo de evaluación multicriterio, que tenga en cuenta los criterios de di ff Erent para estimar las necesidades financieras para la rehabilitación y para establecer una metodología de asignación en función del presupuesto disponible en un año fiscal. Para seleccionar el paquete óptimo de los proyectos, se desarrolló un módulo de optimización del algoritmo genético (GA). la toma de decisiones multi-objetivo se lleva a cabo bajo una estrategia de decisión específico (DS) mediante la resolución de un problema (0-1) de la mochila. Para demostrar la aplicabilidad del enfoque basado en el GA, se presenta un hipotético problema de toma de decisiones. Los resultados revelan que el paquete óptimo es más sensible al presupuesto disponible y DS que a los pesos de los criterios y las puntuaciones del proyecto. Usando este sistema, los gerentes pueden comparar sus decisiones para las estrategias Erent di ff y signi fi cativamente mejorar la gestión e fi ciencia. Los resultados revelan que el paquete óptimo es más sensible al presupuesto disponible y DS que a los pesos de los criterios y las puntuaciones del proyecto. Usando este sistema, los gerentes pueden comparar sus decisiones para las estrategias Erent di ff y signi fi cativamente mejorar la gestión e fi ciencia. Los resultados revelan que el paquete óptimo es más sensible al presupuesto disponible y DS que a los pesos de los criterios y las puntuaciones del proyecto. Usando este sistema, los gerentes pueden comparar sus decisiones para las estrategias Erent di ff y signi fi cativamente mejorar la gestión e fi ciencia.</p>
----	--	-------------------------------	--------------------------	--

17 Evaluación del riesgo Sísmico de edificios RC utilizando la evaluación sintética difusa Solomon Tesfamariam Murat Saatcioglu

La resistencia Sísmica del nuevo edificio ha mejorado con la implementación de códigos de diseño recientes y una calidad de construcción estricta. Sin embargo, la vulnerabilidad de los edificios existentes es evidente a partir de terremotos recientes como resultado de códigos de diseño más antiguos junto con un área inherente de debilidades. Por lo tanto, existe la necesidad de un procedimiento simple para identificar estructuras críticas para la implementación de reparación y actualización. Sin embargo, el desafío inminente sigue siendo encontrar el financiamiento requerido de un recurso limitado. En este artículo, se propone una técnica de evaluación basada en el riesgo para cuantificar la vulnerabilidad del edificio y, en consecuencia, clasificar el edificio crítico. El peligro Sísmico, la vulnerabilidad del edificio y las consecuencias de la falla se manejan a través de estructuras jerárquicas y la importancia relativa entre cada parámetro se calcula utilizando el proceso analítico jerárquico.

Los parámetros de entrada se recopilan a través de una encuesta simple, que es propensa a la incertidumbre de tipo subjetivo (vaguedad). Por lo tanto, la incertidumbre de la vaguedad se maneja usando técnicas basadas en fuzzy y agregada a través de una evaluación sintética difusa. La eficacia del método propuesto se ilustra con los datos del terremoto de Bino de 2003 y los de 1994 de Northridge.

18 Un modelo para la gestión del riesgo de terremotos basado en el rendimiento del ciclo de vida de las estructuras

Solomon
Tsfamariam

Mauricio Sanchez-
Silva

Más de 50 años de vida de diseño, los edificios están expuestos a diferentes magnitudes y frecuencias de terremotos que requieren la consideración del costo del ciclo de vida (LCC). El LCC implica cuantificar el rendimiento del edificio bajo riesgo Sísmico e inversiones a lo largo de la vida de las estructuras. El LCC tradicional utiliza probabilidades de estar en diferentes estados de daño. Sin embargo, para edificios con irregularidades inherentes (por ejemplo, irregularidad vertical e irregularidad del plan), estas probabilidades NO están fácilmente disponibles. En este trabajo, un enfoque basado en el sistema, que utiliza la teoría de conjuntos difusos, se utiliza para cuantificar la posibilidad de estar en diferentes estados de daño. El análisis se limita a estudiar el efecto de la exposición Sísmica en el edificio LCC. El método propuesto se ilustra con dos estudios de caso, un edificio de hormigón armado de seis pisos ubicado en Vancouver, Canadá, y la vulnerabilidad de un centro urbano con 1000 edificios de RC. Además, se lleva a cabo un análisis de sensibilidad para resaltar el impacto de los diferentes modificadores del rendimiento del edificio en el LCC.

19 Evaluación de riesgos y confiabilidad de los sistemas de conectores de gas usando teoría difusa y juicio de expertos Richard Olawayin

Los conectores de gas están instalados en casi todos los hogares en los Estados Unidos y en todo el mundo. La fiabilidad de estos conectores es la quinta esencia en la protección de las personas, la propiedad y el medio ambiente. El modelo de análisis heurístico crítico presentado en este estudio evaluó la confiabilidad de los conectores de gas combustible (FGC), la probabilidad de falla de FGC, los riesgos potenciales, las causas y las consecuencias en una perspectiva común. El método "Pajarita" se introdujo para integrar el análisis de árbol de fallas (FTA) y el análisis de árbol de eventos (ETA). Se determinaron 31 series de corte mínimo y 33 eventos básicos (BE) del TLC a partir del análisis cualitativo, mientras que los análisis de medidas importantes de BE y la probabilidad de fracaso del evento principal Pr (TE) se analizaron cuantitativamente. Las técnicas tradicionales de evaluación de riesgos (RAT) consideraron las probabilidades de los eventos básicos (BE) como valores precisos sin tener en cuenta la incertidumbre y la impresión con algunos BE. Este estudio mejoró la RAT tradicional al integrar la técnica de elicitación experta y las teorías de conjuntos difusos (Fzz) para la evaluación de estos eventos. FST minimizó la incertidumbre y la falta de claridad de los eventos, el Pr (TE) = 5.138×10^{-2} y se determinó que los conectores de gas flexibles son más seguros para su uso y tienen el menor riesgo de falla en comparación con el tubo de hierro negro. El enfoque utilizado en este estudio consideró el enfoque multidimensional para analizar de manera efectiva los eventos confusos y los resultados son útiles para que los profesionales tomen decisiones sobre las acciones preventivas, protectoras y correctivas necesarias en el proceso de gestión de riesgos.

20	Redes Recurrentes neuro difusas e Híbridos neuronal difusos: Una Revisión	B. Subathra	T. K. Radhakrishnan	Se intenta proporcionar una encuesta exhaustiva de las tendencias actuales en estructuras recurrentes híbridas de lógica difusa (FL) y redes neuronales (NN) para resolver problemas temporales. Sus aplicaciones que se extienden a aproximaciones universales también se discuten con la literatura informada disponible sobre redes neuronales recurrentes (RNFN) y redes neuronales difusas recurrentes (RFNN).
21	Programación de producción usando lógica difusa adaptable con algoritmos genéticos	J. D. Tedford	C. Lowe	La programación de producción para un entorno de fabricación flexible debe satisfacer múltiples criterios contradictorios. Si bien la estimación y el modelado de la capacidad se ven facilitados por las herramientas disponibles en el mercado, la estrategia de lanzamiento real de los pedidos en el sistema todavía está sujeta a considerable investigación ya que se buscan soluciones mejoradas sobre la heurística de despacho convencional. Se propone un mecanismo de liberación de pedidos que incorpora un sistema de lógica difusa adaptable mejorado mediante algoritmos genéticos. Mediante el uso de lógica difusa, el sistema puede considerar múltiples criterios y determinar rápidamente soluciones de alta calidad consistentemente. La adaptabilidad garantiza que la calidad de la solución se mantenga durante toda la vida útil del sistema. La aplicación posterior de un algoritmo genético sigue una ruta de optimización eficiente, ya que se sabe que la solución inicial derivada a través de la lógica difusa es buena. El sistema desarrollado, utilizando la metodología combinada, se probó en un modelo de simulación de eventos discretos y mostró beneficios medibles en el rendimiento del cronograma frente a la heurística de despacho comúnmente implementada.

22	Problema de carga de máquina de FMS un enfoque heurístico basado en fuzzy	N. K. Vidyarthi	M. K. Tiwari	<p>Se ha formulado una metodología de solución difusa para abordar el problema de la carga de la máquina en un sistema de fabricación flexible. Los objetivos considerados son la minimización del desequilibrio del sistema y la maximización del rendimiento, mientras que las limitaciones tecnológicas del sistema se plantean por la disponibilidad de tiempo de mecanizado y ranuras para herramientas. La determinación del orden de trabajo / secuencia de trabajo antes de la carga se lleva a cabo evaluando la contribución de miembro de cada trabajo a sus características tales como el tamaño de lote, el tiempo de procesamiento de operación esencial y el tiempo de procesamiento de operación opcional. Las decisiones de asignación de máquina de operación se basan en la evaluación de la contribución de miembro del vector de asignación de máquina de operación. La formulación de la función de miembro se basa en derivaciones lógicas y cuenta con un apoyo analítico razonable. La heurística propuesta se prueba sobre 10 problemas adoptados de la literatura y los resultados revelan una mejora sustancial en la calidad de la solución, algunos de los enfoques basados en la heurística existentes.</p>
23	PRONOSTICO DE LA SERIE TIEMPO FUZZY EN UN HEURISTIC MODELO DE ALTA POTENCIA	Chung-Ming Own	Pao-Ta Yu	<p>Chen propuso por primera vez el modelo de serie de tiempo difuso de alto orden para superar el inconveniente de los modelos de pronóstico difusos de primer orden existentes. Su modelo involucró cálculos fáciles y pronosticados con mayor precisión que los otros modelos. Este estudio propone un modelo mejorado de series de tiempo difuso, llamado modelo heurístico de series de tiempo difuso de alto orden, para tratar problemas de previsión. El modelo propuesto tiene como objetivo superar la deficiencia del modelo de Chen, que depende en gran medida de la serie de tiempo difuso de mayor orden para eliminar las ambigüedades en la previsión y requiere una gran memoria para el almacenamiento de datos. El análisis empírico revela que el modelo propuesto arroja pronósticos más precisos.</p>

24 Un modelo de lógica
difusa de programación
dinámica en FMS

P. SriNOi

E. Shayan &
F. Ghotb

Este documento se refiere a la programación en sistemas de fabricación flexibles (FMS) utilizando un enfoque de lógica difusa (FL). Se definen cuatro variables de entrada difusa: tiempo de procesamiento asignado a la máquina, prioridad de la máquina, prioridad de la fecha de vencimiento y prioridad del tiempo de configuración. La prioridad del trabajo es la variable difusa de salida, que muestra el estado de prioridad de un trabajo que se seleccionará para la siguiente operación en una máquina. El modelo primero seleccionará las máquinas y luego asignará las operaciones en base a un esquema de programación multicriterio. El rendimiento del enfoque se compara con los métodos establecidos informados en la literatura. Las medidas de rendimiento consideran la utilización promedio de la máquina, las fechas de vencimiento de las reuniones, los tiempos de preparación, el trabajo en proceso y los tiempos de flujo promedio. Los resultados de la prueba demuestran la superioridad del enfoque de lógica difusa en la mayoría de las medidas de rendimiento.

25	<p>Diseño de forma óptima de presas de arco para la carga de un terremoto utilizando un sistema de inferencia difusa y redes neuronales wavelet</p>	<p>S. M. Seyedpoor</p>	<p>J. Salajegheh , E. Salajegheh & S. Gholizadeh</p>	<p>Se propone una metodología eficiente para encontrar la forma óptima de las presas de arco considerando la interacción fluido-estructura sujeta a la carga Sísmica. La carga Sísmica se considera mediante la aceleración del suelo variante de tiempo aplicada en la dirección aguas arriba corriente abajo de la presa del arco. La optimización se lleva a cabo mediante optimización de enjambre de partículas, empleando valores reales de variables de diseño. Para reducir el costo computacional del proceso de optimización, se adoptan dos estrategias. En la primera estrategia, las variables de diseño más influyentes en la respuesta de arco-dique de las variables originales se seleccionan usando un sistema de inferencia neuro-difusa adaptativa. En el segundo, la respuesta de arco-dique es predicha por una red neuronal de función de base de wavelet radial adecuadamente entrenada que emplea las variables de diseño influyentes como entradas. Con el fin de evaluar la efectividad de la metodología sugerida, se considera que una presa de arco real es un ejemplo de prueba. Los resultados numéricos demuestran las ventajas computacionales de la metodología propuesta para el diseño óptimo de las presas de arco.</p>
----	---	------------------------	--	---

26 Selección de
herramientas esbeltas
en una unidad de
fundición a presión una
heurística de apoyo
basada en decisiones
borrosas

R. K. Singh

S. Kumar ,
A. K. Choudhury &
M. K. Tiwari

La filosofía de fabricación ajustada pide la eliminación de desechos ocultos en el sistema de fabricación al enfocarse en el flujo de valor del producto y eliminar actividades que NO agregan valor a través de esfuerzos de mejora continua. La metodología de mapeo de flujos de valor está sujeta a los principios de mejora continua para mejorar la productividad del proceso y la calidad del producto. Proporciona diversas herramientas para la recopilación y el análisis de datos, e identifica los desechos que se producen en las diferentes etapas del proceso de fabricación. El papel del mapeo del flujo de valor es muy importante en la identificación y posterior reducción de los desechos. Seleccionar las herramientas de mapeo detalladas para la identificación de desechos a nivel micro es un problema complejo de toma de decisiones. En este documento, se ha tomado un estudio de caso relacionado con una unidad de fundición a presión. Se ha desarrollado una jerarquía relacionada con el problema de decisión para seleccionar las herramientas de mapeo de flujo de valor. Aquí, se ha desarrollado una lógica heurística basada en lógica difusa basada en múltiples preferencias, multicriterios y múltiples personas para resolver un problema relacionado con el estudio de caso anterior. La metodología propuesta cuenta con el apoyo lógico de las herramientas de toma de decisiones existentes y mapas pertinentes de los detalles interNOs del problema subyacente.

27 Una propuesta para la
evaluación del riesgo del
proyecto de construcción
usando lógica difusa J. H. M. Tah V. Carr

La industria de la construcción está plagada de riesgos y, a menudo, ha sufrido un rendimiento deficiente como resultado. Hay una serie de técnicas de gestión de riesgos disponibles para ayudar a aliviar esto, pero generalmente estas se basan en técnicas de investigación operativa desarrolladas en la década de 1960, y en su mayoría NO han cumplido con las necesidades de los gerentes de proyecto. En este trabajo, se utiliza una representación de estructura de desglose de riesgos jerárquica para desarrollar un modelo formal de evaluación de riesgos cualitativa. Se presenta un lenguaje común para describir los riesgos que incluye términos para cuantificar las probabilidades y los impactos a fin de lograr una cuantificación constante. Las relaciones entre los factores de riesgo, los riesgos y sus consecuencias se representan en diagramas de causa y efecto.

Estos diagramas y los conceptos de asociación fuzzy y composición difusa se aplican para identificar las relaciones entre las fuentes de riesgo y las consecuencias para las medidas de rendimiento del proyecto. Se presenta una metodología para evaluar la exposición al riesgo, considerando las consecuencias en términos de tiempo, costo, calidad y medidas de desempeño de seguridad de un proyecto basadas en estimaciones difusas de los componentes de riesgo.

28 Precarga del mosaico
adaptativo del conjunto
utilizando lógica difusa

Mehmet Fatih
Uluat Veysi İşler

La captura previa es un proceso en el que la porción necesaria de datos se predice y se carga en la memoria de antenaNO. El uso creciente de datos geográficos en diferentes tipos de aplicaciones ha motivado el desarrollo de diferentes técnicas de captación previa. Cada técnica de captación previa sirve un tipo específico de aplicación, como los sistemas de información geográfica bidimensional o la visualización tridimensional, y cada uno está diseñado para los patrones de navegación correspondientes. Sin embargo, a medida que se difumina el límite entre estos tipos de aplicaciones, estas técnicas se vuelven insuficientes para las aplicaciones híbridas (como los mapas móviles digitales), que incorporan varias capacidades y patrones de navegación. Por lo tanto, se debe usar un conjunto de técnicas en combinación para manejar diferentes requisitos de captación previa. En este estudio, se propone un enfoque de captación previa de mosaicos basado en prioridad, que permite el uso conjunto de varias técnicas al mismo tiempo. El enfoque propuesto gestiona estas técnicas dinámicamente a través de un motor de inferencia basado en lógica difusa para aumentar el rendimiento de captación previa y adaptarse a diversos comportamientos exhibidos. Este motor realiza decisiones adaptativas sobre las ventajas de cada técnica de acuerdo con su precisión individual y nivel de actividad utilizando lógica difusa para determinar cómo funciona cada técnica de captación previa. Los resultados obtenidos de los experimentos mostraron que se logra un aumento de hasta un 25% en el rendimiento de captación previa con el uso del conjunto propuesto sobre el uso individual. También se desarrolló y usó un modelo genérico para técnicas de captación previa para describir el enfoque dado. Finalmente, se desarrolló un marco de software multiplataforma con cuatro técnicas diferentes de captación previa para permitir que otros usuarios utilizaran el enfoque propuesto.

29 Sistemas inteligentes
aplicados: combinación
de lógica difusa con
control convencional

Dimitar Filev Fazal U. Syed

El objetivo de este documento es mostrar que el diseño de los sistemas de control inteligente aplicados requiere diferentes tipos de combinación entre la lógica difusa y los sistemas de control convencionales. Se revisan dos aplicaciones automotrices alternativas, un problema de control del proceso de fabricación y un sistema de asesoramiento para una conducción eficiente en combustible, que se benefician tanto de teorías difusas como de control y se discuten diferentes niveles de priorización de ambos enfoques en función de la especificidad de las aplicaciones.

30 El análisis cuantitativo
riesgo de deslizamientos
en la zona
Hashtchin (NW-Irán)

Reza Talaei

Sardar Samadov

Se obtuvieron modelos de riesgo cuantitativos para cada elemento mediante la integración del peligro de deslizamientos y modelos de vulnerabilidad en la zona Hashtchin (NW-Irán). peligro de deslizamiento, se ha analizado en dos etapas. En el fi etapa primera, la magnitud de los deslizamientos de tierra ha sido estimado por su volumen y velocidades. Con la ayuda de factores causales y basado en píxeles de deslizamientos, que se han producido o se han reactivado al meNOs una vez en los últimos 50 años, un modelo de peligro de deslizamiento se construyó utilizando enfoque de modelo de regresión logística. valores de vulnerabilidad (0 - 1) se obtuvieron mediante la comparación de los daños experimentados en los últimos 50 años por cada tipo de elemento. los valores de riesgo obtenidos NO son predicciones precisas de las pérdidas futuras, siNO más bien un medio para identificar áreas en las que los daños son propensos a ser mayor y que requieren prioridad para las acciones de mitigación. los fi resultado final es un mapa de riesgo que combina todos los daños por píxel para un período de 50 años en el área de Hashtchin. Mediante el estudio de los mapas de riesgo de deslizamiento de tierra y zonificación del riesgo en esta región, la posibilidad de que éstos se produzcan en los llamados taludes estables en regiones similares se puede predecir, y las mejores acciones para la estabilización de las regiones y la reducción de los daños puede ser determinado. Los métodos propuestos permiten la identi fi cación de las áreas en las que mayores daños son de esperar y los esfuerzos de prevención tendría un mejor beneficio fi relaciones t / coste.

31 Técnicas de inteligencia computacional para sistemas HVAC una revisión

Muhammad Waseem Ahmad

Monjur Mourshed, Baris Yuce, Yacine Rezgui

Los edificios son responsables del 40% del uso de energía global y contribuyen al 30% de las emisiones totales de CO₂. El impulso para reducir el uso de energía y las emisiones asociadas de gases de efecto invernadero de los edificios ha actuado como un catalizador en el desarrollo de métodos computacionales avanzados para el diseño, la gestión y el control de edificios y sistemas con eficiencia energética. Los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) son la principal fuente de consumo de energía en los edificios y los candidatos ideales para reducciones sustanciales en la demanda de energía. En las últimas décadas se han logrado avances significativos en la aplicación de técnicas de inteligencia computacional (CI) para el diseño, control, gestión, optimización y detección y diagnóstico de fallas de HVAC. Este artículo presenta una revisión exhaustiva y crítica sobre la teoría y aplicaciones de las técnicas de CI para predicción, optimización, control y diagnóstico de sistemas de HVAC. El análisis de tendencias revela que la minimización del consumo de energía fue el objetivo clave de optimización en la investigación revisada, seguido de cerca por la optimización del confort térmico, la calidad del aire interior y las preferencias de los ocupantes. El programa Hardcoded Matlab fue la herramienta de simulación más utilizada, seguida de TRNSYS, EnergyPlus, DOE-2, HVACSim + y ESP-r. Los algoritmos metaheurísticos fueron el método de IC preferido para resolver HVAC relacionados problemas y, en particular, los algoritmos genéticos se aplicaron en la mayoría de los estudios. A pesar del bajo número de estudios centrados en sistemas de agentes múltiples (MAS), en comparación con las otras técnicas de CI, el interés en la técnica está aumentando debido a su capacidad de dividir y conquistar un problema de optimización de HVAC con un rendimiento general mejorado. El documento también identifica posibles avances futuros y direcciones de investigación.

32 Enfoque de consolidación de máquinas virtuales basado en heurística, lógica difusa y control de la migración

Mohammad Alaul Haque Monil

and Rashedur M. Rahman

Para satisfacer la creciente demanda de potencia computacional, en la actualidad los proveedores de servicios de TI deben elegir servicios basados en la nube por su flexibilidad, confiabilidad y escalabilidad. Cada vez se construyen más centros de datos para satisfacer las necesidades de los clientes. Sin embargo, los centros de datos consumen grandes cantidades de energía, y esto llama la atención negativa. Para abordar estos problemas, los investigadores proponen algoritmos de eficiencia energética que pueden minimizar el consumo de energía mientras mantienen la calidad del servicio (QoS) en un nivel satisfactorio. La consolidación de máquinas virtuales es una de esas técnicas para garantizar el equilibrio entre la energía y la calidad de servicio. En esta investigación, exploramos la lógica difusa y el enfoque de consolidación de máquina virtual basado en heurística para lograr el equilibrio energía-QoS. En esta investigación se propone un método de selección Fuzzy VM. Selecciona VM de un host sobrecargado. Además, incorporamos control de migración en el método de selección Fuzzy VM que mejorará el rendimiento de la estrategia de selección. También se ha propuesto un nuevo algoritmo de detección de sobrecarga basado en la media, la mediana y la desviación estándar de la utilización de máquinas virtuales. Hemos utilizado CloudSim toolkit para simular nuestro experimento y evaluar el rendimiento del algoritmo propuesto en los trazados de carga de trabajo del mundo real de las máquinas virtuales de Planet Lab. Los resultados de simulación demuestran que el método propuesto es más eficiente energéticamente en comparación con otros.

No.	TIPO DE INVESTIGACION	PORTALES BIBLIOGRAFICOS	AÑO	PAIS	AUTOR MAS CITADO	CANTIDAD DE CITAS DEL AUTOR MAS CITADO	CANTIDAD DE REFERENCIAS
1	Aplicada	DialNet	2014	Colombia	M.L. CarreNO	8	25
2	Aplicada	DialNet	2013	Colombia	YJ. Park, A. Ang, Y.Wen	3	38
3	Aplicada	ResearchGate	2015	Colombia	García H.	5	33
4	Experimental	Taylor & Francis	2013	Cuba	BELLO, D. R.	9	22
5	Aplicada	Taylor & Francis	2007	Irán	Salajegheh, E	13	22
6	Explorativa	Taylor & Francis	2008	Irán	Gholizadeh, S.	9	29
7	Explorativa	Taylor & Francis	2007	Turquia	Jang, J.-SR	6	30
8	Aplicada	Taylor & Francis	2016	Iran	Bezdek, J	19	50
9	Explorativa	Taylor & Francis	2010	EE.UU	Blockley	2	3
10	Evaluativa	Taylor & Francis	2017	Iran	Haralick, Robert M	25	62
11	Explicativa	Taylor & Francis	2010	Las Vegas	Lewis R	8	24
12	Aplicada	Taylor & Francis	2012	Turquia	Wang, R.C.	12	33
13	Evaluativa	Taylor & Francis	2017	Canadá	Korte B	12	27
14	Explicativa	Taylor & Francis	2014	Iran	Engleder, T	9	21
15	Aplicada	Taylor & Francis	2015	China	Hwang, JR	5	8
16	Aplicada	Taylor & Francis	2012	Malasia	Chan, W.T	23	40
17	Aplicada	Taylor & Francis	2008	USA	Gu'ikan, P.	5	45
18	Aplicada	Taylor & Francis	2011		Sánchez-Silva	3	35

19	Aplicada	Taylor & Francis	2017	USA	Huang, D., Chen	2	45
20	Explicativa	Taylor & Francis	2011		Lin F. J	13	118
21	Aplicada	Taylor & Francis	2010		Jain, A. K. and ElMaraghy	2	19
22	Aplicada	Taylor & Francis	2010		SAWIK, T. J	5	52
23	Aplicada	Taylor & Francis	2007		Chen, S.-M.	6	10
24	Aplicada	Taylor & Francis	2007		Chan, F.T.S.,	3	32
25	Aplicada	Taylor & Francis	2009		Topcu, I.E	2	33
26	Aplicada	Taylor & Francis	2007		Hines, P.	11	45
27	Aplicada	Taylor & Francis	2010		Kangari, R.	2	18
28	Aplicada	Taylor & Francis	2015		Kang, Y.K.,	3	23
29	Explorativa	Taylor & Francis	2010		Filev, D.,	8	32
30	Explorativa	Taylor & Francis	2016	Iran	Akgun, A.	16	72
31	Teórica	Springer	2016	ReuNO Unido	Wang S,	44	190
32	Aplicada	Springer	2016	Bangladesh	Beloglazov	5	28

PALABRAS CLAVES

No.	Lógica Difusa	Heurística	Daños Sísmicos	Habitabilidad de Edificios	Evaluación post sísmica	Toma de decisiones	Vulnerabilidad sísmica
1	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO
2	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI
3	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO
4	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO
5	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO
6	SI	SI	NO	NO	NO	SI	NO
7	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI
8	SI	SI	NO	NO	NO	SI	NO
9	SI	NO	NO	NO	NO	SI	NO
10	SI	NO	NO	NO	NO	SI	NO
11	SI	NO	NO	NO	NO	SI	NO
12	SI	SI	NO	NO	NO	SI	NO
13	SI	SI	NO	NO	NO	SI	NO
14	SI	SI	NO	NO	NO	SI	NO
15	SI	SI	NO	NO	NO	SI	NO
16	SI	SI	NO	NO	NO	SI	NO
17	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI
18	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI
19	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO
20	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO
21	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO
22	SI	SI	NO	NO	NO	SI	NO
23	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO

24	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO
25	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO
26	SI	SI	NO	NO	NO	SI	NO
27	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO
28	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO
29	SI	SI	NO	NO	NO	SI	NO
30	SI	NO	NO	NO	NO	SI	SI
31	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO
32	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO

ANEXO 2: ENCUESTA A EXPERTOS

ENCUESTA

PESOS DE ELEMENTOS PARA ÍNDICE DE DAÑO GLOBAL

Sección para elementos estructurales

1. Del 1 al 9, indique el nivel de importancia que tiene la evaluación del estado de las columnas versus la evaluación del estado de las vigas.

- 1: Absolutamente menos importante.
- 2: Mucho menos importante.
- 3: Menos importante
- 4: Ligeramente menos importante
- 5: Igual importancia
- 6: Importancia moderada
- 7: Esencial importancia
- 8: Fuerte importancia
- 9: Extrema importancia

2. Del 1 al 9 indique el nivel de importancia que tiene la evaluación del estado de las columnas versus la evaluación de la correcta distribución de las mismas.

- 1: Absolutamente menos importante.
- 2: Mucho menos importante.
- 3: Menos importante
- 4: Ligeramente menos importante
- 5: Igual importancia
- 6: Importancia moderada
- 7: Fuerte o esencial importancia
- 8: Fuerte importancia
- 9: Extrema importancia

3. Del 1 al 9, la evaluación de las columnas versus la evaluación de las conexiones viga-columna es:

- 1: Absolutamente menos importante.
- 2: Mucho menos importante.
- 3: Menos importante
- 4: Ligeramente menos importante
- 5: Igual importancia
- 6: Importancia moderada
- 7: Fuerte o esencial importancia
- 8: Fuerte importancia
- 9: Extrema importancia

4. Del 1 al 9, indique el nivel de importancia que tiene la evaluación de las columnas versus la evaluación de la distribución de masa.

- 1: Absolutamente menos importante.
- 2: Mucho menos importante.
- 3: Menos importante
- 4: Ligeramente menos importante
- 5: Igual importancia
- 6: Importancia moderada
- 7: Fuerte o esencial importancia
- 8: Fuerte importancia
- 9: Extrema importancia

5. Del 1 al 9, indique el nivel de importancia de la evaluación de las columnas versus la evaluación de las escaleras (considerando que las escaleras forman parte de la estructura del edificio).

- 1: Absolutamente menos importante.
- 2: Mucho menos importante.
- 3: Menos importante
- 4: Ligeramente menos importante
- 5: Igual importancia
- 6: Importancia moderada
- 7: Fuerte o esencial importancia
- 8: Fuerte importancia
- 9: Extrema importancia

6. Del 1 al 9, indique el nivel de importancia de la evaluación del estado de las vigas versus la evaluación de la correcta distribución de columnas.

- 1: Absolutamente menos importante.
- 2: Mucho menos importante.
- 3: Menos importante
- 4: Ligeramente menos importante
- 5: Igual importancia
- 6: Importancia moderada
- 7: Fuerte o esencial importancia
- 8: Fuerte importancia
- 9: Extrema importancia

7. Del 1 al 9, indique el nivel de importancia de la evaluación de las vigas versus la evaluación de viga-columna.

- 1: Absolutamente menos importante.
- 2: Mucho menos importante.
- 3: Menos importante
- 4: Ligeramente menos importante
- 5: Igual importancia
- 6: Importancia moderada
- 8: Fuerte o esencial importancia
- 8: Fuerte importancia
- 9: Extrema importancia

8. Del 1 al 9, indique el nivel de importancia de la evaluación de las vigas versus la evaluación de la distribución de masa.

- 1: Absolutamente menos importante.
- 2: Mucho menos importante.
- 3: Menos importante
- 4: Ligeramente menos importante
- 5: Igual importancia
- 6: Importancia moderada
- 7: Fuerte o esencial importancia
- 8: Fuerte importancia
- 9: Extrema importancia

9. Del 1 al 9, indique el nivel de importancia de la evaluación de las vigas versus la evaluación de las escaleras (considerando que las escaleras forman parte de la estructura del edificio).

- 1: Absolutamente menos importante.
- 2: Mucho menos importante.
- 3: Menos importante
- 4: Ligeramente menos importante
- 5: Igual importancia
- 6: Importancia moderada
- 7: Fuerte o esencial importancia
- 8: Fuerte importancia
- 9: Extrema importancia

10. La evaluación de las conexiones vigas-columnas versus la evaluación de la correcta distribución de columnas es:

- 1: Absolutamente menos importante.
- 2: Mucho menos importante.
- 3: Menos importante
- 4: Ligeramente menos importante
- 5: Igual importancia
- 6: Importancia moderada
- 7: Fuerte o esencial importancia
- 8: Fuerte importancia
- 9: Extrema importancia

11. La evaluación de las conexiones viga-columna versus la evaluación de la distribución de masa es:

- 1: Absolutamente menos importante.
- 2: Mucho menos importante.
- 3: Menos importante
- 4: Ligeramente menos importante
- 5: Igual importancia
- 6: Importancia moderada
- 7: Fuerte o esencial importancia
- 8: Fuerte importancia
- 9: Extrema importancia

12. La evaluación del estado de las conexiones viga-columna versus la evaluación del estado de las escaleras (considerando que las escaleras forman parte de la estructura del edificio) es:

- 1: Absolutamente menos importante.
- 2: Mucho menos importante.
- 3: Menos importante
- 4: Ligeramente menos importante
- 5: Igual importancia
- 6: Importancia moderada
- 7: Fuerte o esencial importancia
- 8: Fuerte importancia
- 9: Extrema importancia

13. La evaluación de la correcta distribución de columnas versus la evaluación de la distribución de masa es:

- 1: Absolutamente menos importante.
- 2: Mucho menos importante.
- 3: Menos importante
- 4: Ligeramente menos importante
- 5: Igual importancia
- 6: Importancia moderada
- 7: Fuerte o esencial importancia
- 8: Fuerte importancia
- 9: Extrema importancia

14. La evaluación de la distribución de masa versus la evaluación del estado de las escaleras (considerando que las escaleras forman parte de la estructura del edificio) es:

- 1: Absolutamente menos importante.
- 2: Mucho menos importante.
- 3: Menos importante
- 4: Ligeramente menos importante
- 5: Igual importancia
- 6: Importancia moderada
- 7: Fuerte o esencial importancia
- 8: Fuerte importancia
- 9: Extrema importancia

15. La evaluación de la correcta distribución de las columnas versus el estado de las escaleras (considerando que las escaleras forman parte de la estructura del edificio) es:

- 1: Absolutamente menos importante.
- 2: Mucho menos importante.
- 3: Menos importante
- 4: Ligeramente menos importante
- 5: Igual importancia
- 6: Importancia moderada
- 7: Fuerte o esencial importancia
- 8: Fuerte importancia
- 9: Extrema importancia

SECCIÓN PARA ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

1. Del 1 al 9, indique el nivel de importancia de la evaluación del estado de las paredes internas versus la evaluación del estado de la fachada (paredes externas).

- 1: Absolutamente menos importante.
- 2: Mucho menos importante.
- 3: Menos importante
- 4: Ligeramente menos importante
- 5: Igual importancia
- 6: Importancia moderada
- 7: Fuerte o esencial importancia
- 8: Fuerte importancia
- 9: Extrema importancia

SECCIÓN PARA CONDICIONES DEL SUELO

1. En una evaluación post-sismo, la presencia de asentamientos versus el tipo de suelo es:

- 1: Absolutamente menos importante.
- 2: Mucho menos importante.
- 3: Menos importante
- 4: Ligeramente menos importante
- 5: Igual importancia
- 6: Importancia moderada
- 7: Fuerte o esencial importancia
- 8: Fuerte importancia
- 9: Extrema importancia

SECCIÓN DE REGLAS PARA DAÑO EN EL EDIFICIO

De acuerdo con su experiencia, llene el siguiente cuadro para determinar el daño global de un edificio considerando los daños estructurales y no estructurales.

No estructural / Estructural	Ninguno	Ligero	Moderado	Severo	Total
Ninguno					
Ligero					
Moderado					
Severo					
Total					

Llenar con los siguientes niveles.

- N:** Ninguno
- L:** Ligero
- M:** Moderado
- S:** Severo
- T:** Total

SECCIÓN DE REGLAS PARA HABITABILIDAD.

De acuerdo con su experiencia, llene el siguiente cuadro para determinar la habitabilidad de un edificio considerando el daño en el edificio y las condiciones del suelo.

Condiciones del suelo / Daño en el edificio	Muy buenas	Buenas	Medio	Malas	Muy Malas
Ninguno					
Ligero					
Moderado					
Severo					
Total					

Llenar con los siguientes niveles.

- H:** Habitable
- HR:** Habitable con reparaciones
- N** No habitable

ANEXO 3: OFICIO PARA EVALUACION VISUAL

Oficio No 001 – 2018

02 de agosto del 2018

Ing. Vicente Paúl León Toledo, Msc.

Docente

Investigador Proyecto FCI

Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas.

De mis consideraciones.

Por medio de la presente reciba un cordial saludo y a su vez tengo a bien comunicarle que, como es de su conocimiento, usted forma parte del proyecto FCI titulado “**Modelo gerencial de toma de decisiones para establecer nivel de daños estructurales post-sismo**”; y en virtud de ello, le solicito lo siguiente:

- I. Con la finalidad de poder cumplir con lo planteado al alcance del proyecto FCI, le solicitamos que: como experto en Evaluación de habitabilidad de edificios afectados por sismo, ayude a los alumnos no titulados, a realizar un reconocimiento visual, de las estructuras de la **Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación**, a realizarse el día viernes 03 de agosto del 2018 desde las 8:00 hasta las 11:00 AM, con el objeto de poder observar el tipo de daño estructural que provocó el sismo ocurrido en abril del 2016.
- II. Además, le solicitamos, que nos proporcione un informe detallado de las reuniones y actividades hechas con los alumnos vinculados de proyecto FCI, con la finalidad de poder justificar sus horas de investigación.

De antemano Ing. León, le agradezco por su aportación al avance de este proyecto, particular que informo para los fines pertinentes.

Atentamente

Lorenzo Cevallos



Ing. Lorenzo Cevallos Torres, Msc.

Director de Proyecto FCI

Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas

ANEXO 4: EVALUACION VISUAL DEL EDIFICIO

Imagen 9
Fachada del Edificio



Imagen 10
Columnas de Fachada



Imagen 11
Daños en el Volado



Imagen 12
Deterioro por Humedad



Imagen 13

Mal sistema de Drenaje de agua



Imagen 14
Daños en la Fachada por Humedad



Imagen 15
Presencia de Fisuras



Imagen 16
Planta Baja del Edificio – Interior



Imagen 17
Columnas de un Laboratorio en la PB del Edificio



Imagen 18
Vigas con Humedad (1)



Imagen 19
Vigas con Humedad (2)



Imagen 20
Fisura en Pared Interna

