

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTE**

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA PARA LA  
CIUDAD DE AZOGUES**

**TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO  
MAGÍSTER EN ESTRUCTURAS**

**ANTONIO NEPTALI ROMERO AVECILLAS**  
[uneptali@hotmail.com](mailto:uneptali@hotmail.com)

**DIRECTOR: Ing. JUAN CARLOS SINGAUCHO A. M.Sc.**  
[jcsingaucho@igepn.edu.ec](mailto:jcsingaucho@igepn.edu.ec)

**Quito, Febrero 2016**

## DECLARACIÓN

Yo, Antonio Neptalí Romero Avecillas, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado ni calificación profesional y que he consultado las referencias bibliográficas presentadas en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Antonio Neptali Romero Avecillas

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado en su totalidad por el Ing. Antonio Neptali Romero Avecillas bajo mi supervisión.

---

**ING. J C SINGAUCHO A. M.SC.**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, mi agradecimiento muy especial al Ingeniero Juan Carlos Singaicho A., por su acertada dirección al proyecto, pero sobre todo por su paciencia, tolerancia y ayuda en la aclaración de conceptos en esta fabulosa ciencia, como es la sismología.

De igual manera quiero expresar mi agradecimiento:

A la Ilustre Municipalidad de Azogues en la persona del Ing. Zhuber Carangui por su colaboración con datos catastrales para la elaboración de este proyecto.

Al Ingeniero en Sistemas, Sebastián Quevedo por su asesoramiento en el manejo de información geográfica computacional.

A los Arquitectos; Fernando Idrovo C, Diego Romero B., a los Ingenieros; Marcelo Urgiles, Lenin Romero C, por su colaboración en la información de datos y procedimientos constructivos realizados en la Ciudad de Azogues.

## **DEDICATORIA**

A mi esposa, apoyo fundamental en mis logros

A mis hijos, para que sea objeto de ejemplo

A mi Padre, mi Madre y Hermanos por su confianza y cariño

## CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	II
CERTIFICACIÓN .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
DEDICATORIA.....	V
CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICES DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICES DE ANEXOS.....	XXII
RESUMEN .....	XXIII
ABSTRACT .....	XXIV
PRESENTACIÓN .....	XXV
CAPÍTULO 1 .....	1
GENERALIDADES.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN Y MOTIVACIÓN.....	1
1.1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.1.2 VULNERABILIDAD DEBIDO A SISMOS.....	3
1.2 OBJETIVOS .....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	4

2	METODOLOGÍAS .....	6
2.1	ANTECEDENTES.....	6
2.2	REVISIÓN DE METODOLOGÍAS.....	8
2.2.1	METODOLOGÍAS MÁS USADAS .....	8
2.2.1.1	Métodos Cualitativos .....	9
2.2.1.2	Métodos Analíticos.....	14
2.2.1.3	Evaluación de las metodologías cualitativos/analíticos.....	19
2.3	METODOLOGÍA MACROSÍSMICA EUROPEA (EMS-98). DESCRIPCIÓN .....	20
2.3.1	CONCEPTOS NECESARIOS.....	20
2.3.2	RESUMEN DE LA METODOLOGÍA EMS 98 .....	22
2.3.3	CLASIFICACIÓN DEL DAÑO .....	37
2.4	METODOLOGÍA DE GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO.....	40
2.4.1	FUNDAMENTO DE LA METODOLOGÍA MACROSÍSMICA DE GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO .....	40
2.4.2	EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SEGÚN GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO .....	47
2.4.2.1	El índice de vulnerabilidad tipológica.....	49
2.4.2.2	Índice de modificadores de comportamiento sísmico.....	52
2.4.2.3	Índice de vulnerabilidad regional.....	56
2.4.3	GRADO DE DAÑO DEFINIDO POR GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO .....	57
2.5	ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA USADA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	58
3	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	59
3.1	INTRODUCCIÓN.....	59
3.2	UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	61
3.3	HISTORIAL DE SISMOS.....	63

3.3.1	SISMICIDAD EN LA ZONA .....	63
3.3.2	PELIGROSIDAD SÍSMICA DE LA REGIÓN.....	65
3.3.2.1	Sismicidad en la Ciudad de Azogues .....	66
4	LEVANTAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN .....	71
4.1	INTRODUCCIÓN.....	71
4.2	UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE IDCT PARA EL LEVANTAMIENTO DE DATOS .....	72
4.2.1	DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN DEL SOFTWARE IDCT .....	72
4.3	CONVALIDACIÓN DE DATOS CON EL CATASTRO MUNICIPAL DE AZOGUES. ....	79
4.3.1	DATOS DEL CATASTRO MUNICIPAL. ....	79
4.3.2	DATOS OBTENIDOS DEL LEVANTAMIENTO DE CAMPO .....	83
4.3.3	DISCUSIÓN DE LA CONVALIDACIÓN DE DATOS.....	84
4.4	IDENTIFICACIÓN DE TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS.....	85
4.4.1	TIPOLOGÍAS EXISTENTES.....	85
5	EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA .....	97
5.1	INTRODUCCIÓN.....	97
5.2	CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE VULNERABILIDAD SEGÚN GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO. ....	97
5.2.1	SISTEMAS TIPOLÓGICOS DE MAMPOSTERÍA.....	98
5.2.2	SISTEMAS TIPOLÓGICOS DE HORMIGÓN ARMADO .....	115
5.2.3	TIPOLOGÍA DE ESTRUCTURA DE ACERO (T1AC).....	132
5.2.4	RESULTADOS OBTENIDOS .....	135
5.3	SIMULACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA PARA DIFERENTES ESCENARIOS.....	138
5.4	APROXIMACIÓN DE DAÑO SÍSMICO UTILIZANDO UN ESCENARIO DE VULNERABILIDAD .....	141



6	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	145
6.1	INTRODUCCIÓN.....	145
6.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA CIUDAD DE AZOGUES.....	145
6.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS POSIBLES ESCENARIOS DE DAÑO DE LA CIUDAD DE AZOGUES.....	151
6.4	ANÁLISIS DE RESULTADO COMPARADO CON EL SISMO DEL 15 DE OCTUBRE DEL 2015 EN CAÑAR.....	153
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	157
7.1	CONCLUSIONES.....	157
7.2	RECOMENDACIONES.....	163
8	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	165
	ANEXOS .....	169

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 2.1</b> CLASIFICACIÓN DE EDIFICIOS SEGÚN LA ESCALA MSK-64.....	23
<b>TABLA 2.2</b> TIPOS DE EDIFICIOS Y CLASES DE VULNERABILIDAD SEGÚN LA ESCALA EMS-98. ....	25
<b>TABLA 2.3</b> CLASIFICACIÓN DE DAÑO EN LOS EDIFICIOS DE MAMPOSTERÍA.....	38
<b>TABLA 2.4</b> CLASIFICACIÓN DEL DAÑO EN EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO .....	39
<b>TABLA 2.5</b> MATRIZ DE DAÑO PARA LA CLASE DE VULNERABILIDAD B.....	41
<b>TABLA 2.6</b> VALORES MEDIOS DE DAÑO RELACIONADOS CON LOS PORCENTAJES DE DAÑO EN LOS LÍMITES SUPERIOR E INFERIOR .....	45
<b>TABLA 2.7</b> DESIGNACIÓN DE LA VULNERABILIDAD A LAS DIFERENTES TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS. ....	48
<b>TABLA 2.8</b> VALORES DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA LAS TIPOLOGÍAS DE EDIFICIOS.....	51
<b>TABLA 2.9</b> FACTORES MODIFICADORES SÍSMICOS PARA EDIFICIOS DE MAMPOSTERÍA Y HORMIGÓN ARMADO.....	52
<b>TABLA 3.1</b> REGISTRO SÍSMICOS EN LA CIUDAD DE AZOGUES DESDE 1990.....	67
<b>TABLA 4.1</b> ABREVIATURAS DEL ARCHIVO DEL CATASTRO MUNICIPAL.....	80

<b>TABLA 5.1</b> TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS ENCONTRADAS EN LA CIUDAD DE AZOGUES.....	98
<b>TABLA 5.2</b> VALORES DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD TIPOLÓGICO PARA ADOBE.....	100
<b>TABLA 5.3</b> CUANTIFICACIÓN DE LA INTENSIDAD SÍSMICA DEBIDO A TERREMOTOS HISTÓRICOS.....	101
<b>TABLA 5.4</b> CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD Y VULNERABILIDAD REGIONAL.....	102
<b>TABLA 5.5</b> CUANTIFICACIÓN DE LOS MODIFICADORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA MAMPOSTERÍA.....	103
<b>TABLA 5.6</b> CLASES DE VULNERABILIDADES SEGÚN GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO CLASE DE VULNERABILIDAD PARA ADOBE EN BUEN ESTADO.....	105
<b>TABLA 5.7</b> CUANTIFICACIÓN DE LOS MODIFICADORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD.....	106
<b>TABLA 5.7</b> CONTINUACIÓN.....	107
<b>TABLA 5.8</b> VULNERABILIDADES SEGÚN GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO. CLASE DE VULNERABILIDAD DE ADOBE EN MAL ESTADO.....	108
<b>TABLA 5.9</b> VALORES DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA LAS TIPOLOGÍAS DE EDIFICIOS. TIPOLOGÍA M4.....	109
<b>TABLA 5.10</b> CUANTIFICACIÓN DE LOS MODIFICADORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD.....	110

<b>TABLA 5.11</b> CLASES DE VULNERABILIDADES SEGÚN GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO VULNERABILIDAD DE ROCA MASIVA .....	111
<b>TABLA 5.12</b> VALORES DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA LAS TIPOLOGÍAS DE EDIFICIOS. TIPOLOGÍA M6.....	113
<b>TABLA 5.13</b> CUANTIFICACIÓN DE LOS MODIFICADORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD .....	114
<b>TABLA 5.14</b> CLASES DE VULNERABILIDADES SEGÚN GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO, VULNERABILIDAD DE LADRILLO NO REFORZADO CON PISO DE HORMIGÓN ARMADO .....	115
<b>TABLA 5.15</b> VALORES DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA LAS TIPOLOGÍAS DE EDIFICIOS. TIPOLOGÍA RC1. ....	116
<b>TABLA 5.16</b> CUANTIFICACIÓN DE LOS MODIFICADORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD .....	117
<b>TABLA 5.17</b> RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN DEL INDICE DE VULNERABILIDAD REGIONAL .....	120
<b>TABLA 5.18</b> CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD E ÍNDICE DE VULNERABILIDAD REGIONAL .....	121
<b>TABLA 5.19</b> CLASES DE VULNERABILIDADES SEGÚN GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO, VULNERABILIDAD DE ARMazón DE HORMIGÓN ARMADO EDIFICACIONES DE 2 PISOS .....	122
<b>TABLA 5.20</b> VALORES DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA LAS TIPOLOGÍAS DE EDIFICIOS HORMIGÓN ARMADO .....	123
<b>TABLA 5.21</b> CUANTIFICACIÓN DE LOS MODIFICADORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD .....	124

<b>TABLA 5.22</b> VULNERABILIDADES SEGÚN GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO ARMAZÓN DE HORMIGÓN ARMADO, EDIFICACIONES DE 3 A 5 PISOS.....	125
<b>TABLA 5.23</b> VALORES DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA LAS TIPOLOGÍAS DE EDIFICIOS.....	126
<b>TABLA 5.24</b> CUANTIFICACIÓN DE LOS MODIFICADORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD .....	127
<b>TABLA 5.24</b> CONTINUACIÓN.....	128
<b>TABLA 5.25</b> CLASES DE VULNERABILIDADES SEGÚN GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO, ARMAZÓN DE HORMIGÓN ARMADO, EDIFICACIONES DE MÁS DE 5 PISOS .....	129
<b>TABLA 5.26</b> VALORES DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA LAS TIPOLOGÍAS DE EDIFICIOS.....	130
<b>TABLA 5.27</b> CUANTIFICACIÓN DE LOS MODIFICADORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD .....	131
<b>TABLA 5.28</b> VULNERABILIDADES SEGÚN GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO, ARMAZÓN DE HORMIGÓN ARMADO, CON DISEÑO MODERADO SISMORESISTENTE .....	132
<b>TABLA 5.29</b> VALORES DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA LAS TIPOLOGÍAS DE EDIFICIOS. TIPOLOGÍA S .....	133
<b>TABLA 5.30</b> VULNERABILIDADES SEGÚN GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO, ESTRUCTURAS DE ACERO. ....	134
<b>TABLA 5.31</b> RESUMEN DEL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD .....	136

<b>TABLA 5.32</b> CÁLCULO DE DAÑO DE LAS DIFERENTES TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS PARA UNA INTENSIDAD DE 7 .....	142
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

<b>TABLA 6.1</b> CÁLCULO DEL DAÑO PARA UNA INTENSIDAD DE 4 EN LA ESCALA EMS-98 .....	155
-----------------------------------------------------------------------------------------	-----

## ÍNDICES DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.1</b> FENÓMENO DE SUBDUCCIÓN PLACA DE NAZCA Y PLACA SUDAMERICANA. ....	2
<b>FIGURA 2.1</b> ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA JAPONESA.....	11
<b>FIGURA 2.2</b> FORMULARIO PARA LA EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD DE LAS EDIFICACIONES. ....	12
<b>FIGURA 2.3</b> ESCALAS DE VULNERABILIDADES DEL METODO ITALIANO .....	13
<b>FIGURA 2.4</b> ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA ITALIANA .....	14
<b>FIGURA 2.5</b> ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA HAZUS.....	16
<b>FIGURA 2.6</b> SIMULADOR DE UN SISTEMA SIMPLE .....	17
<b>FIGURA 2.7</b> ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA DE DESPLAZAMIENTO .....	19
<b>FIGURA 2.8</b> DETALLE DE TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA DE ADOBE.....	26
<b>FIGURA 2.9</b> TIPOLOGÍA ROCA SIMPLE, EDIFICACIÓN PARA VIVIENDA.....	27
<b>FIGURA 2.10</b> TIPOLOGÍA ROCA MASIVA, IGLESIA DE SAN FRANCISCO AZOGUES .....	28
<b>FIGURA 2.11</b> TIPOLOGÍA DE LADRILLO O BLOQUE NO REFORZADO.....	29
<b>FIGURA 2.12</b> TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA DE LADRILLO NO REFORZADO CON PISO DE HORMIGÓN ARMADO.....	30
<b>FIGURA 2.13</b> MAMPOSTERÍA REFORZADA .....	31

<b>FIGURA 2.14</b> DETALLE DE TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA DE HORMIGÓN ARMADO.....	32
<b>FIGURA. 2.15</b> EDIFICIO DE ESTRUCTURA DE ACERO .....	35
<b>FIGURA. 2.16</b> EDIFICACIÓN DE MADERA .....	37
<b>FIGURA 2.17</b> FUNCIONES DE PERTENENCIA DE UN EDIFICIO A LAS CLASES DE VULNERABILIDAD .....	45
<b>FIGURA 2.18</b> CURVAS DE INTENSIDAD MACROSÍSMICA Y DAÑO PARA CLASES DE VULNERABILIDAD B Y C. ....	46
<b>FIGURA 2.19</b> ÍNDICES DE VULNERABILIDAD Y FUNCIÓN DE PERTENENCIA PARA LAS CLASES DE VULNERABILIDAD SEGÚN EMS 98.....	47
<b>FIGURA 2.20</b> VALORES DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA LA FUNCIÓN DE PERTENENCIA DE LA TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA ROCA MASIVA .....	50
<b>FIGURA 2.21</b> ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA LA LAS FUNCIONES DE PERTENENCIAS DE LAS CLASES DE VULNERABILIDAD .....	51
<b>FIGURA 2.22</b> CURVA DE VULNERABILIDAD PARA MAMPOSTERIA, .....	57
<b>FIGURA 2.23</b> ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO. ....	58
<b>FIGURA 3.1</b> ÁREA URBANA DE AZOGUES CON SUS MANZANAS DEFINIDAS IRREGULARES.....	60
<b>FIGURA 3.2</b> DIVISIÓN ZONAL DE LA CIUDAD DE AZOGUES.....	61
<b>FIGURA. 3.3</b> UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL LUGAR DE ESTUDIO .....	62



<b>FIGURA 3.4</b> MAPA DE INTENSIDADES SÍSMICAS DEL ECUADOR .....	64
<b>FIGURA 3.5</b> CURVAS DE PELIGRO SISMICO PARA AZOGUES.....	66
<b>FIGURA 4.1</b> PRESENTACIÓN DE LA PANTALLA CUANDO SE ABRE IDCT .....	74
<b>FIGURA 4.2</b> PRESENTACIÓN DEL INTERFACE DE INICIO .....	74
<b>FIGURA 4.3</b> PANTALLAS DONDE SE PRESENTA MAPAS DE LA LOCALIZACIÓN DEL INSTRUMENTO.....	75
<b>FIGURA 4.4</b> PUNTO DE LOCALIZACIÓN EXACTO DEL INSTRUMENTO O DE LA PERSONA QUE HACE EL INVENTARIO .....	75
<b>FIGURA 4.5</b> INVENTARIADO DEL MATERIAL DEL QUE ESTA CONSTRUIDO EL EDIFICIO .....	76
<b>FIGURA 4.6</b> PANTALLA DE AYUDA PARA CONSULTAR SOBRE LA TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA.....	76
<b>FIGURA 4.7</b> EVALUACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE POR CARGA LATERAL (LLRS) Y DUCTILIDAD. ....	77
<b>FIGURA 4.8</b> EVALUACIÓN DE LA IRREGULARIDAD EN PLANTA Y EN VERTICAL.....	78
<b>FIGURA 4.9</b> DATOS DEL CATASTRO DE EDIFICACIONES DE AZOGUES....	80
<b>FIGURA 4.10A</b> LÍMITE URBANO DE AZOGUES.....	81
<b>FIGURA 4.10B</b> EDIFICACIONES, VÍAS Y PREDIOS DE LA CIUDAD DE AZOGUES.....	82

<b>FIGURA 4.11A</b> BASE DE DATOS UTILIZANDO QGIS PARA SABER CARACTERÍSTICAS Y NOMBRE DE LAS VÍAS.....	82
<b>FIGURA 4.11B</b> FIGURA QUE PRESENTA LA INFORMACIÓN DE LA EDIFICACIÓN COMO: NÚMERO DE PISOS, ÁREA, NÚMERO DE BLOQUES, PERÍMETRO, CLAVE CATASTRAL.....	83
<b>FIGURA 4.12</b> BASE DE QGIS EN EL QUE SE PUEDE VER EL PROPIETARIO DEL PREDIO.....	83
<b>FIGURA 4.13</b> VISTA DE LA CIUDAD ANTIGUA Y CONTEMPORÁNEA.....	86
<b>FIGURA 4.13</b> CONTINUACIÓN.....	86
<b>FIGURA 4.14</b> ZONAS URBANAS EN LAS PERIFERIAS DE AZOGUES TIPOLOGÍAS SIMILARES.....	87
<b>FIGURA 4.15</b> URBANIZACIÓN EN LAS PERIFERIAS DE AZOGUES TIPOLOGÍAS SIMILARES.....	87
<b>FIGURA 4.16</b> EDIFICACIONES CON TIPOLOGÍAS DE ADOBE Y BAHAREQUE.....	88
<b>FIGURA 4.16</b> CONTINUACIÓN.....	89
<b>FIGURA 4.17</b> EDIFICACIONES DE ROCA MASIVA.....	90
<b>FIGURA 4.18</b> EDIFICACIONES CON TIPOLOGÍA DE LADRILLO NO REFORZADO CON PISO DE HORMIGÓN ARMADO.....	91
<b>FIGURA 4.19</b> EDIFICACIONES DE ARMAZÓN DE HORMIGÓN ARMADO. ....	92
<b>FIGURA 4.20</b> EDIFICACIONES DE DOS A CINCO PISOS CONSTRUIDO CON HORMIGÓN ARMADO.....	93

<b>FIGURA 4.21</b> EDIFICACIONES DE MÁS DE CINCO PISOS EN HORMIGÓN ARMADO. ....	94
<b>FIGURA 4.22</b> EDIFICACIONES DE ALMACÉN DE ACERO. ....	95
<b>FIGURA 5.1</b> EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA DE ADOBE EN BUEN ESTADO.....	99
<b>FIGURA 5.2</b> CLASIFICACIÓN DE DAÑO EN EDIFICIOS DE MAMPOSTERÍA.....	102
<b>FIGURA 5.3</b> ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA LAS FUNCIONES DE PERTENENCIAS DE LAS CLASES DE VULNERABILIDAD .....	104
<b>FIGURA 5.4</b> EDIFICACIÓN DE MAMPOSTERÍA DE ADOBE EN MAL ESTADO PERO HABITADA.....	105
<b>FIGURA 5.5</b> EDIFICACIÓN DE MAMPOSTERÍA DE ROCA MASIVA .....	108
<b>FIGURA 5.6</b> EDIFICACIÓN DE MAMPOSTERÍA DE LADRILLO NO REFORZADO Y PISO DE HORMIGÓN ARMADO .....	112
<b>FIGURA 5.7</b> EDIFICACIÓN HORMIGÓN ARMADO SIN DISEÑO SISMORESISTENTE .....	116
<b>FIGURA 5.8</b> INTENSIDAD DE BAEZA VIEJA, PROVINCIA DE NAPO, SISMO DE 1987.....	118
<b>FIGURA 5.9</b> CLASIFICACIÓN DEL DAÑO EN EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO .....	119
<b>FIGURA 5.10</b> CURVA DE VULNERABILIDAD PARA ALMACÉN DE H.A SIN DISEÑO SISMORESISTENTE.....	120

<b>FIGURA 5.11</b> CLASES DE VULNERABILIDAD PARA LAS FUNCIONES DE PERTENENCIAS DE LOS INDICES DE VULNERABILIDAD .....	121
<b>FIGURA 5.12</b> EDIFICACIÓN HORMIGÓN ARMADO SIN DISEÑO SISMORESISTENTE .....	122
<b>FIGURA 5.13</b> TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA DE HORMIGÓN ARMADO SIN DISEÑO SISMORESISTENTE, EDIFICIO DE MÁS DE 5 PISOS.....	126
<b>FIGURA 5.14</b> EDIFICACIÓN DE HORMIGÓN ARMADO CON DISEÑO MEDIO SISMORESISTENTE.....	129
<b>FIGURA 5.15</b> EDIFICACIÓN DE ESTRUCTURA DE ACERO.....	133
<b>FIGURA 5.16</b> RESULTADO DEL ESCENARIO DE VULNERABILIDAD EXISTENTE EN LA CIUDAD DE AZOGUES.....	137
<b>FIGURA 5.17</b> ESCENARIO DE VULNERABILIDAD SIN ÍNDICE DE VULNERABILIDAD REGIONAL .....	139
<b>FIGURA 5.18</b> EDIFICACIONES DEL CENTRO URBANO CON MAYOR DENSIDAD.....	140
<b>FIGURA 5.19</b> EDIFICACIONES CON MENOS DENSIDAD ALREDEDOR DEL CENTRO URBANO .....	141
<b>FIGURA 5.20</b> CIUDAD DE AZOGUES GRADO DE DAÑO PARA UNA INTENSIDAD DE 7.....	144
<b>FIGURA 6.1</b> CANTIDAD DE EDIFICACIONES EVALUADAS Y SU ÍNDICE DE VULNERABILIDAD .....	146
<b>FIGURA 6.2</b> CLASES DE VULNERABILIDADES SEGÚN FUNCIÓN DE PERTENENCIA E ÍNDICE DE VULNERABILIDAD.....	147

<b>FIGURA 6.3</b> CLASES DE VULNERABILIDADES SEGÚN EMS-98 .....	147
<b>FIGURA 6.4</b> CURVAS DE INTENSIDAD VS GRADO DE DAÑO PARA MAMPOSTRÍA .....	152
<b>FIGURA 6.5</b> SISMO DE LA PROVINCIA DEL CAÑAR.....	153
<b>FIGURA 6.6</b> CURVAS DE INTENSIDA VS GRADO DE DAÑO, TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS DE AZOGUES, I = 4.....	155
<b>FIGURA 6.6</b> CONTINUACIÓN .....	156

## ÍNDICES DE ANEXOS

ANEXOS No. 1.....	170
Fotos de tipologías constructivas de Azogues .....	170
ANEXOS No. 2.....	175
División urbana de la ciudad de Azogues .....	175
ANEXOS No. 3.....	177
Resumen de los datos obtenidos en campo por el software IDCT .....	177

## RESUMEN

En el presente trabajo, se realizó el estudio de la vulnerabilidad sísmica para la Ciudad de Azogues, empleando la metodología idónea para realizar estudios macro sísmicos urbanos; siendo esta, la del índice de vulnerabilidad definida y probada por Sonia Giovinazzi y Sergio Lagomarsino. Esta metodología se basa en la Escala Macrosísmica Europea EMS-98; pero con la variedad que cuantifica la tipología constructiva como base de su evaluación.

Para la evaluación de la vulnerabilidad de las edificaciones de la Ciudad de Azogues, se procedió: al levantamiento en campo de la información constructiva de las edificaciones, y a la adquisición de la información del catastro Municipal; con esto, se puede identificar las tipologías constructivas en la Ciudad. Luego, se procede a evaluar el Índice de vulnerabilidad aplicando las definiciones de Giovinazzi y Lagomarsino, que implica, el cálculo del índice de vulnerabilidad tipológica, regional y de modificadores sísmicos. Los valores obtenidos del índice de vulnerabilidad se relacionan con las seis clases de vulnerabilidad representados por las letras de la A hasta la F, de mayor a menor vulnerabilidad respectivamente, que calificará la vulnerabilidad de cada edificación.

Los datos obtenidos y tabulados se llevan a un sistema de información geográfica (GIS), para este estudio se utilizó el software QGIS, con el fin de presentar las clases de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones; utilizando el mismo software se representa escenarios de daño sísmico determinista para la ciudad. Luego de lo cual se realizó un análisis de la aplicabilidad del método, sus ventajas, desventajas y limitaciones.

## ABSTRACT

The present work covers the seismic vulnerability study in the city of Azogues by means of the suitable methodology for urban macro seismic surveys; this being the vulnerability index defined and tested by Sonia Giovinazzi and Sergio Lagomarsino. This methodology is based on the European macro seismic scale EMS-98; but with the variation that quantifies the constructive typology as the basis for its assessment.

For the evaluation of the vulnerability of the buildings in the city of Azogues, it proceeded: gathering of the field data of buildings constructive information, and the acquisition of information of municipal cadaster, with this, it could identify the different types of construction in the city. Then, it was proceeded to evaluate the vulnerability index applying Giovinazzi and Lagomarsino, which involves calculating the index typological, regional seismic vulnerability and seismic modifiers. The values of the vulnerability index relate the six classes of vulnerability represented by the letters A through F, from the highest to the lowest vulnerability respectively, and so assess the vulnerability of each building.

The data results were carried a geographic information system (GIS) – with the use of the QGIS software - in order to present the kinds of seismic vulnerability of buildings; Using the same software it were represented the different damages deterministic seismic scenarios for the city. After which an analysis of the applicability of the method was performed, its advantages, disadvantages and limitations.



## PRESENTACIÓN

Si bien la Ciudad de Azogues se encuentra en una zona de mediana intensidad sísmica según el mapa de intensidades sísmicas del Ecuador, provisto por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional; con este estudio “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica para la Ciudad de Azogues” se tendrá, una referencia de la aplicabilidad de la metodología de evaluación macro sísmica de la vulnerabilidad, para ser aplicadas en otras ciudades del Ecuador.

El tema de la vulnerabilidad estructural en las edificaciones, se viene utilizando en los últimos años, debido a la amenaza sísmica que se encuentra latente en nuestro planeta, más aun, cuando el Ecuador se encuentra en una zona de alta sismicidad debido a los efectos de subducción entre la placa de Nazca y la Sudamericana; y como consecuencia, se tiene un sistema montañoso volcánico en actividad. Por lo tanto, con la evaluación de la vulnerabilidad de las edificaciones se puede determinar el daño sísmico, que puede, servir de ayuda en la elaboración de un plan de contingencia contra desastres de esta naturaleza.

Se conoce de investigaciones hechas sobre el tema, que en el Ecuador no se tiene un estudio de vulnerabilidad macrosísmica a nivel de urbes aplicando la metodología de Giovinazzi y Lagomarsino, solo se puede hallar información de estudios de vulnerabilidad de edificaciones importantes, como: Iglesias, edificios, puentes, etc.; aplicando metodologías de evaluación puntual.

La metodología seguida en esta investigación será sencilla y de fácil entendimiento, para que sirva de guía para futuras investigaciones sobre el tema o como base en el estudio de planes de contingencia en posibles escenarios de daño sísmico en la Ciudad de Azogues.

Zonificando los diferentes sectores de la Ciudad, se puede lograr: un mapa que represente la variación de la vulnerabilidad de las edificaciones en la urbe, y una base de datos de las edificaciones; esta información será de gran ayuda para las

instituciones de Gestión de Riesgo, en la identificación de las zonas más propensas a sufrir daños luego de un sismo.

Por lo expuesto, se realiza un estudio macrosísmico urbano para la Ciudad de Azogues, que en el límite urbano tiene 10742 edificaciones aproximadamente, pero que en el centro urbano posee el 50% de las edificaciones; teniendo 6 clases de tipologías constructivas, se aplica la Metodología de Giovinazzi y Lagomarsino para valorar el nivel estructural de la Ciudad de Azogues. Finalmente, con la ayuda de un sistema geográfico (QGIS) se podrá visualizar con mayor facilidad los resultados obtenidos.

# **CAPÍTULO 1**

## **GENERALIDADES**

### **1.1 INTRODUCCIÓN Y MOTIVACIÓN**

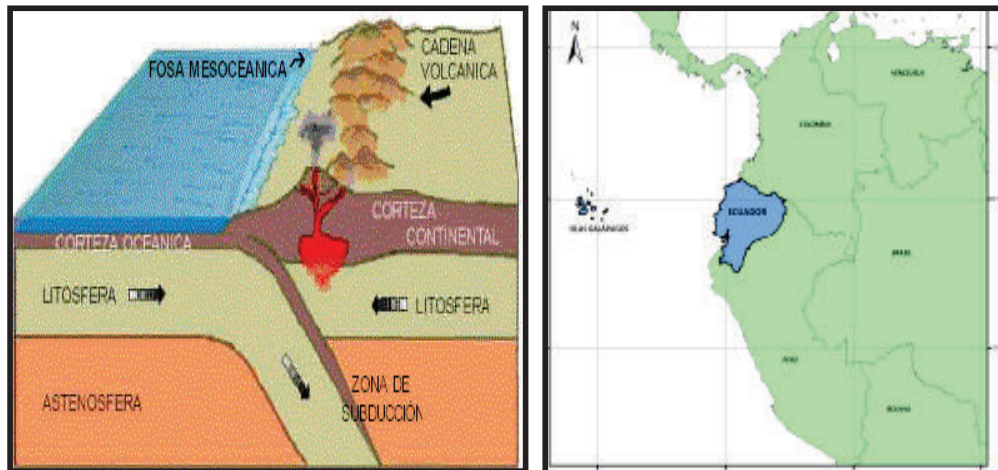
#### **1.1.1 ANTECEDENTES**

El Ecuador, se encuentra en una zona del planeta que presenta alta sismicidad, por estar afectada por la placa de Nazca, con fenómenos de subducción en toda América del Sur (ver figura 1.1). La subducción, es el resultado del movimiento convergente de placas tectónicas; este movimiento, se caracteriza por la introducción de la placa oceánica bajo la continental; la placa que subduce se curva produciéndose las mayores profundidades oceánicas, y al mismo tiempo generando alta fricción entre ellas, que cuando superan dicha fricción, liberan energía, produciéndose sismos de gran magnitud.

Se pueden dar dos modalidades de subducción según el tipo de placa que están en contacto, éstas son: corteza oceánica-corteza oceánica y corteza continental- corteza oceánica. La subducción presente entre la placa de Nazca y la Sudamericana, es del tipo corteza continental- corteza oceánica; caracterizado por una zona continental de cordilleras y volcanes paralela a la fosa oceánica.

Por encontrarse el Ecuador en una zona sísmicamente activa, ha presentado a lo largo de la historia sismos de intensidades significativas, producto de esto, ha existido pérdidas humanas y económicas.

**FIGURA 1.1** FENÓMENO DE SUBDUCCIÓN PLACA DE NAZCA Y PLACA SUDAMERICANA.



Fuente: <http://tectonicaplacas4.blogspot.com>

El Ecuador últimamente no se ha visto afectado por sismos de gran magnitud o la falta de concientización por parte de las autoridades locales en la necesidad de evaluar la vulnerabilidad de las edificaciones, no se conoce de estudios de vulnerabilidad en las diferentes ciudades. A pesar de que el Instituto Geofísico de Escuela Politécnica Nacional ha propuesto mapas de intensidades máximas en todo el país.

En la región se puede encontrar algunas tipologías constructivas, como son: construcciones de vivienda hechas de piedra maciza, adobe, bahareque, mampostería de ladrillo con pisos de madera o de hormigón armado, mampostería de bloque con piso de madera o de hormigón armado, edificaciones aporticadas de hormigón armado con losas macizas o alivianadas, edificaciones de acero con rellenos de mampostería, etc. Lo que hace pensar en la variabilidad de la vulnerabilidad estructural.

Adicionalmente, el no tener certeza en la aplicación del código de la construcción en el diseño y construcción de las edificaciones, valida la aplicación de metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica para edificaciones en el país.

Por lo expuesto, en este trabajo se realiza un estudio de la vulnerabilidad sísmica para la ciudad de Azogues, convirtiéndose el mismo en un proyecto preliminar, que dará las pautas para futuros estudios en el resto del País.

### **1.1.2 VULNERABILIDAD DEBIDO A SISMOS.**

La vulnerabilidad sísmica es una propiedad intrínseca de la estructura, una característica de su comportamiento ante la ocurrencia de un sismo, y descrito a través de una ley causa – efecto, donde la causa es el sismo y el efecto es el daño (Sandi, 1986).

El concepto de vulnerabilidad puede utilizarse no sólo para describir aspectos estructurales, sino también aspectos no estructurales, funcionales y operativos, entre otros. Cabe mencionar que la vulnerabilidad por si sola tiene una variedad de aplicaciones dependiendo de a que se refiere. Pueden ser vulnerables los niños, a diferentes actores como las enfermedades, pueden ser vulnerables los pueblos a inundaciones, etc. de ahí la necesidad de aclarar el término de vulnerabilidad estructural debido a sismos.

Las edificaciones son estructuras de diferentes materiales, por lo que se comportan de diferente manera según fuerzas externas, si estas fuerzas externas sobrepasan la capacidad de disipación de energía de la estructura, se obtendrá una secuencia de deformaciones, fracturas de material y colapso de la estructura.

Hay que aclarar que no se sabe el lugar, fecha y hora cuando un sismo se presente, y la cantidad de energía que liberan, por lo que está claro que todas las edificaciones son vulnerables, teniendo una mayor o menor vulnerabilidad según la tipología de construcción y la aplicación de códigos vigentes.

## 1.2 OBJETIVOS

La realidad mundial indica la presencia de una amenaza sísmica, y no se tiene certeza del día y el lugar en el que se presente un sismo de condiciones catastróficas, para Ecuador como caso particular, se ve la necesidad de estimar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de las diferentes urbes. Esto lleva a plantearse una serie de objetivos, siendo el general: hacer un estudio de la “Estimación de la Vulnerabilidad Sísmica de la Ciudad de Azogues, utilizando una metodología probada y verificada como es la de Giovinazzi y Lagomarsino (2004)”.

Se tiene como objetivos específicos:

- Recopilar la información en el campo y la información existente en la Municipalidad de Azogues, con el propósito de analizar y convalidar.
- Implementar sobre el plano catastral de la ciudad, las clases de vulnerabilidad obtenidas según la metodología de Giovinazzi y Lagomarsino, se utiliza un escenario GIS.
- Evaluar diferentes escenarios sísmicos, para validar el mapa de vulnerabilidades sísmicas.
- Realizar una aproximación a la evaluación del daño sísmico, utilizando información macrosísmica

## 1.3 JUSTIFICACIÓN

En los países vecinos (Perú, Chile), se han presentado eventos sísmicos que han dejado grandes pérdidas humanas y económicas en los últimos años. Ecuador se encuentra en la misma zona (afectada por la placa de Nazca), y por registros históricos se conoce de sismos que han dejado grandes daños (terremotos de Esmeraldas de 1979, Bahía de Caraquez de 1998, Ambato de 1949, Riobamba de 1797); una forma de prever y enfrentar dichos eventos sin tener consecuencias a nivel de desastres, es tener un plan de contingencia.

Para aplicar dicho plan de contingencia amerita evaluar cuáles son las zonas de mayor vulnerabilidad en la ciudad, según la intensidad del evento. Esto implica hacer un levantamiento tipológico de las edificaciones de la ciudad y cuantificar según un método de evaluación la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones.

Zonificando los diferentes sectores de la urbe se puede lograr un mapa que represente la variación geográfica de la vulnerabilidad de las edificaciones en la ciudad. Hay que aclarar que en el Ecuador, solo en la ciudad de Quito se ha realizado la evaluación de vulnerabilidad sísmica de ciertas edificaciones emblemáticas.

Por lo dicho, se pretende realizar un estudio que puede servir como proyecto preliminar en una ciudad pequeña, para verificar las ventajas y limitaciones de la metodología aplicada.

## **CAPÍTULO 2**

### **METODOLOGÍAS**

#### **2.1 ANTECEDENTES**

En este capítulo se presenta algunas de las metodologías más usadas en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica urbanas. Además, se justifica las razones para la utilización de la metodología Giovinazzi y Lagomarsino (2004) y su aplicabilidad para el caso de Azogues.

Se debe tener presente que, metodologías capaces de estimar las pérdidas en futuros terremotos basados en la evaluación de la vulnerabilidad macrosísmica, son de fundamental importancia para planificadores de emergencias y para las industrias de seguros y reaseguros.

En las últimas décadas se ha presentado algunas metodologías para evaluar la vulnerabilidad estructural de las edificaciones, entre las más relevantes tenemos:

- La metodología HAZUS (FEMA (2000) /NIBS, 1999) metodología aplicada en EEUU para evaluar la vulnerabilidad estructural de edificaciones; metodología que se orienta a la evaluación puntual de edificaciones utilizando modelación matemática basados en espectros de capacidad.
- La Metodología de Detección Rápida o Método Japonés de Índice Sísmico, emplea un modelo determinístico para evaluar la vulnerabilidad de las edificaciones.



Estas metodologías son un tanto laboriosas, ya que se emplean en la evaluación determinística de edificios, modelos mecánicos de respuesta estructural, por lo tanto, no sería económicamente factible en la evaluación macro urbana.

Para la evaluación de la vulnerabilidad en zonas urbanas, se utiliza las Escalas Macrosísmicas, entre las más relevantes tenemos:

- La Escala Macrosísmica Europea EMS 98, es una metodología que ha venido actualizándose debido a las necesidades de tratar de minimizar los daños por sismos. Antecesoras a esta escala está la MSK en todas sus versiones y la EMS-92, estas escalas fueron revisadas debido a los avances realizados en el campo de la sismología.

La Escala Macrosísmica Europea (EMS 98) se utilizada en todo el mundo por su fácil adaptación a los diferentes tipos de construcción por ser probada y comparada con terremotos ocurridos.

- La metodología propuesta por Giovinazzi – Lagomarsino (2004), basada en la Escala Macrosísmica Europea EMS-98 y en estudios realizados separadamente, por Sonia Giovinazzi y Sergio Lagomarsino, trata de simplificar el tiempo que llevaría la evaluación de la vulnerabilidad en extensas zonas urbana. Para lo cual, introducen en la propuesta la homogeneidad tipológica de las edificaciones, realizadas con o sin códigos de diseño sísmico consolidados; para ello, utiliza los índices de vulnerabilidad y las curvas de vulnerabilidad.

A su vez, los índices de vulnerabilidad están afectados por diferentes factores, estos son: factores tipológicos, factores modificadores regionales y factores modificadores de comportamiento, que cuantificarán de mejor manera la vulnerabilidad de las edificaciones.

En este trabajo, se aplicará la metodología de Giovinazzi – Lagomarsino (2004), para evaluar la vulnerabilidad de las edificaciones de la ciudad de Azogues frente a eventuales sismos. Se requiere un estudio basado de trabajo

en campo para identificar las tipologías de las viviendas de la zona urbana de la ciudad.

En los apartados siguientes, se presenta de una forma clara la metodología usada en la tesis, además se resumen las metodologías de análisis de vulnerabilidad sísmica existentes y el por qué no son aplicables.

## **2.2 REVISIÓN DE METODOLOGÍAS**

### **2.2.1 METODOLOGÍAS MÁS USADAS**

La prioridad de encontrar métodos para la evaluación de las vulnerabilidades de las edificaciones en sectores poblados, es de relevante importancia para evitar consecuencias catastróficas al presentarse un terremoto.

Lo que se busca es un algoritmo preciso, transparente y conceptualmente sólido para evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones urbanas, es por lo que se ha venido desarrollando metodologías y herramientas durante los últimos años.

Al revisar las metodologías propuestas en el campo de la evaluación de la vulnerabilidad, se va a identificar las principales ventajas y desventajas de estos procedimientos, con el fin de distinguir las características principales de una metodología ideal.

En los siguientes apartados se describen la evolución de los procedimientos de evaluación de la vulnerabilidad, tanto para edificios individuales como para construcciones urbanas; en el que se reportan las aplicaciones y referencias más importantes de los acontecimientos relativos a cada metodología. Con mayor énfasis en la evaluación de la vulnerabilidad del entorno construido a una escala urbana.

Se tiene dos grupos de métodos para la evaluación de la vulnerabilidad. Estos son: Los métodos cualitativos y los métodos analíticos.

### **2.2.1.1 Métodos Cualitativos**

En los años 70 según Calvi, G. et al (2006), se promueve por primera vez la utilización de los métodos cualitativos para la evaluación de la vulnerabilidad a gran escala. Los intentos de relacionar la intensidad con cantidades físicas, tales como las aceleraciones pico del suelo (PGA), llevó a inaceptables grados de dispersión en la medida de la vulnerabilidad.

Al utilizar los métodos cualitativos desarrollados y calibrados según la intensidad macrosísmica, constituyen las únicas aproximaciones razonables y posibles que podrían ser empleados inicialmente en análisis de daño sísmico a gran escala.

A continuación se hará una revisión de los métodos utilizados para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica.

#### **a) Método Japonés**

Conocido también como el método de detección rápida propuesto por Hirosawa 1992, utilizado para edificios de hormigón armado de por lo menos 6 plantas.

Su procedimiento consiste en la determinación de un índice de desempeño sísmico (Is) que representa el comportamiento global de un entrepiso y depende de subíndices que caracterizan el comportamiento estructural de la edificación, el movimiento del terreno, la distribución de masas y rigideces, el deterioro con el tiempo, la importancia, edad y uso de la estructura.(Cardona, 1990).

El método recomienda tres niveles de evaluación, que van de lo simple a lo detallado, y se basa en el análisis del comportamiento sísmico de cada piso del edificio en las direcciones principales de la planta.

La vulnerabilidad se establece considerando:

Si  $I_s \geq I_{so}$  se puede considerar que el edificio tiene un comportamiento sísmico seguro frente a un evento sísmico.

Si  $I_s < I_{so}$  se puede considerar que el edificio tiene un comportamiento incierto frente a un evento sísmico, y por lo tanto se considera como inseguro.

El cálculo del índice  $I_s$ , depende de cuatro factores que se evalúan a partir de las características de la estructura, mediante la siguiente ecuación:

$$I_s = E_o * S_D * T * G \quad (\text{Ec.2.6})$$

Dónde:

$E_o$  = Subíndice sísmico básico de comportamiento estructural.

$S_D$  = Subíndice de configuración estructural.

$T$  = Subíndice del deterioro de la edificación.

$G$  = Subíndice sísmico del movimiento del terreno.

Para el índice  $I_{so}$ , representa un umbral de resistencia, el cual se evalúa mediante la siguiente ecuación:

$$I_{so} = E_{so} * Z * G * U \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Dónde:

$E_{so}$  = Resistencia básica requerida.

$Z$  = Factor de zona sísmica, el valor depende del peligro sísmico donde se encuentra la estructura.

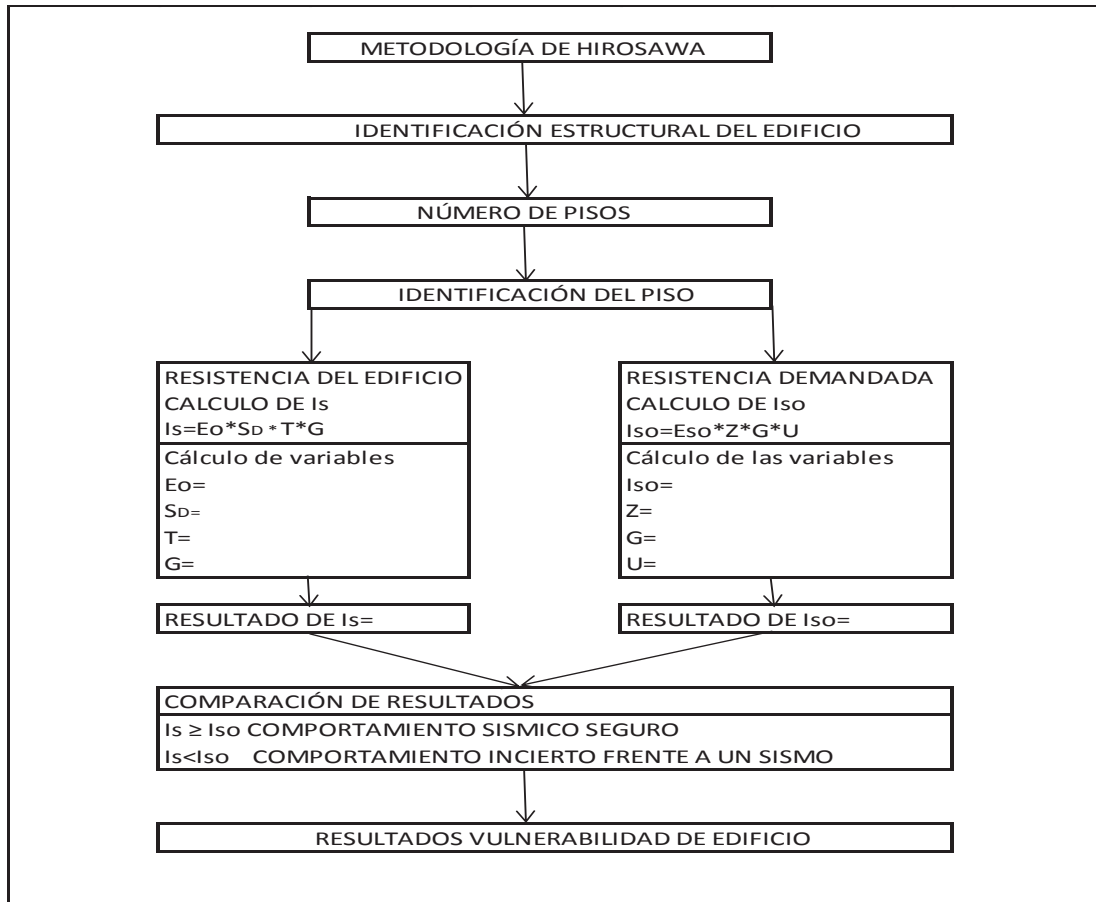
$G$  = Factor de influencia de las condiciones topográficas y geotécnicas.

$U$  = Factor de importancia del edificio por el uso.

La evaluación de la seguridad se realiza a partir de los resultados obtenidos para  $I_s$  e  $I_{so}$ , estos índices con ciertos parámetros se comparan e indican si una estructura es vulnerable o segura frente a un evento sísmico.

El uso de métodos de detección rápida tiene un papel importante en el desempeño de las prioridades de edificios para la adecuación sísmica, pero el uso de estos métodos en los modelos de vulnerabilidad sísmica a gran escala es limitado debido a la necesidad de considerar edificios individualmente de una manera determinista, y por lo tanto, esto no sería económicamente factible. Además este método solo evalúa tipologías constructivas en hormigón armado y no hace referencias a las demás tipologías constructivas.

**FIGURA 2.1** ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA JAPONESA



Elaboración: Neptalí Romero



$$I_v = \sum_{i=1}^{11} K_i W_i \quad (\text{Ec.2.8})$$

El rango del índice vulnerabilidad va desde 0 a 382.5. Pero se encuentra normalizado de 0 a 100. Donde 0 representa a los edificios de menos vulnerables y 100 a los más vulnerables. Véase figura 2.3.

**FIGURA 2.3** ESCALAS DE VULNERABILIDADES DEL METODO ITALIANO

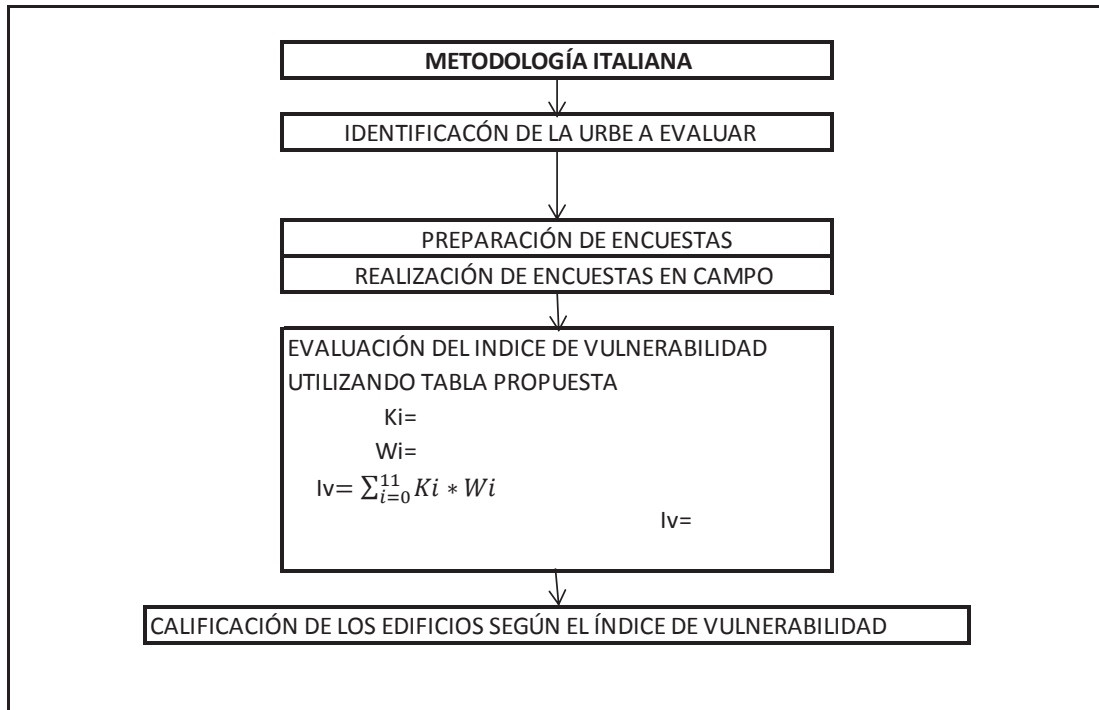
Parámetros	Clase ( $K_i$ )				Peso ( $W_i$ )
	A	B	C	D	
1.- Organización del sistema resistente	0	5	20	45	1.00
2.- Calidad del sistema resistente	0	5	25	45	0.25
3.- Resistencia convencional	0	5	25	45	1.50
4.- Posición del edificio y fundaciones	0	5	25	45	0.75
5.- Diafragma horizontal	0	5	25	45	1.00
6.- Configuración en planta	0	5	25	45	0.50
7.- Configuración en elevación	0	5	25	45	1.00
8.- Distancia máxima entre los muros	0	5	25	45	0.25
9.- Tipo de cubierta	0	15	25	45	1.00
10.- Elementos no estructurales	0	0	25	45	0.25
11.- Estado de conservación	0	5	25	45	1.00

Fuente: Benedetti, D., Petri, V., (1984)

Este índice de vulnerabilidad es relacionado con “factores de daño” de los edificios de la misma tipología constructiva; esta relación está calibrada con terremotos pasados para la misma intensidad macrosísmica o aceleraciones pico del suelo (PGA).

La desventaja de esta metodología, es la necesidad de juicios de expertos para la calificación de los once parámetros de calidad. Además que presenta un grado de incertidumbre en el cálculo del índice de vulnerabilidad. Esta metodología combina datos de campo con datos de censos, en lugares donde no se tiene encuestados censos sobre las tipologías constructivas, requerirá de mayor tiempo para la aplicación de esta metodología.

La metodología de Giovinazzi y Lagomarsino para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica se basa en esta metodología en el desarrollo.

**FIGURA 2.4** ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA ITALIANA

Elaboración: Neptalí Romero

### 2.2.1.2 Métodos Analíticos.

Estos métodos se basan en modelos matemáticos, como son: la aplicación de análisis dinámico inelástico, la deriva máxima entre pisos en el estudio de la vulnerabilidad de los edificios. Estos análisis presentan resultados de plastificación paso a paso y el posterior colapso de la estructura. Los modelos utilizados presentan una alta complejidad y laboriosidad en la evaluación de las edificaciones según la característica y la magnitud del sismo.

Entre los más representativos y usados son los siguientes:

- Metodología Hazus



Esta metodología fue creada y desarrollada, por un acuerdo de cooperación entre dos instituciones americanas, la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA) y el Instituto Nacional de la Construcción y Ciencia (NIBS). La metodología Hazus que viene de la abreviatura de HazardUS, fue desarrollada como un proyecto para estimar las pérdidas potenciales debido a los terremotos (NIBS, 1999; FEMA, 2003). Esta metodología originalmente incluye seis diferentes módulos como son:

- Estimación de la peligrosidad sísmica;
- Realización de un inventario de edificios y su clasificación;
- Evaluación de la vulnerabilidad, es decir, cálculo del daño físico directo para cada clase de edificio y para cada nivel de peligrosidad,
- Daño físico por inundaciones,
- Las pérdidas directas económicas/sociales debido a víctimas
- Pérdidas económicas indirectas, evaluación de largo plazo.

En la metodología de la evaluación de la vulnerabilidad aplica directamente el espectro de capacidad propuesto por la ATC-40 a cada edificio; este método se basa, en hallar el punto de capacidad por demanda de un tipo de edificio que se encuentra sujeto a un sismo particular, este punto se define como la intersección de un espectro de aceleración o de desplazamiento, que representa el movimiento del suelo, y un espectro de capacidad (curva paso a paso) que representa el desplazamiento horizontal de la estructura bajo influencia de la carga lateral.

La metodología Hazus ha desarrollado para cada edificio un espectro de capacidad, diseñado para diferentes prácticas de diseños de edificios en EE UU.

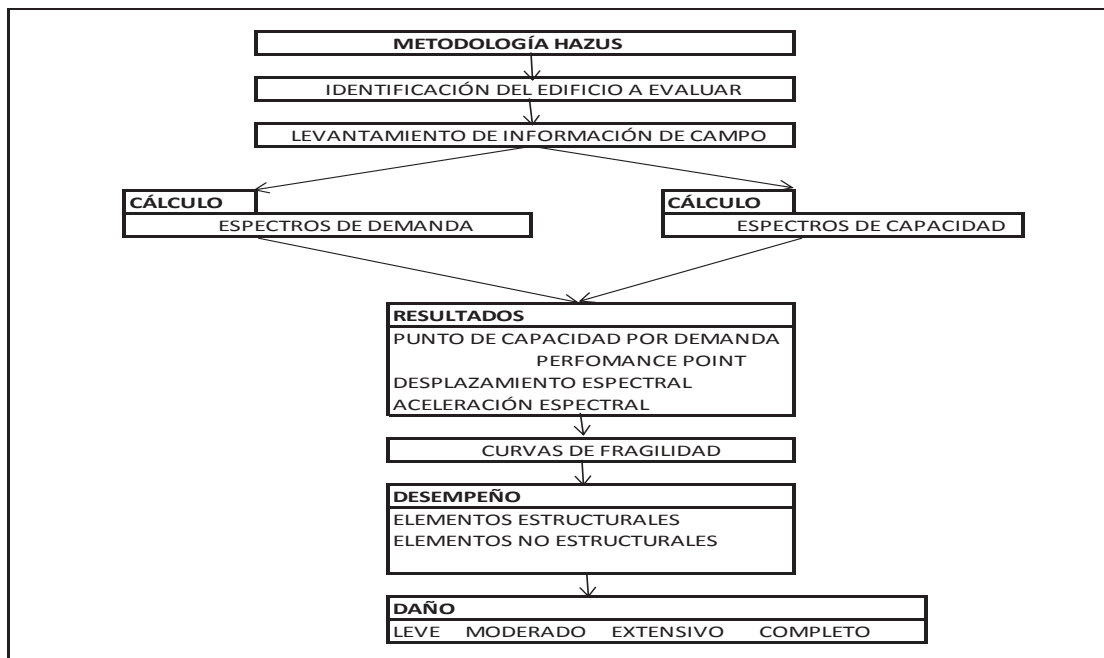
En las publicaciones del manual de la Hazus provee de una variedad de curvas que relaciona el espectro de capacidad y el espectro de aceleración o desplazamiento para una variedad de edificios, identificando el punto de capacidad por demanda (performance point).

Una de las desventajas del método es que las curvas de capacidad y funciones de vulnerabilidad publicadas en el manual de HAZUS se han derivado de estudios de los edificios en los EE.UU, que tienen una variedad limitada de alturas de piso; por tanto, la aplicación de este método para otras partes del mundo requiere investigación adicional para llevar a cabo. Otra de las desventajas de este método es la información requerida del edificio a examinar, como por ejemplo los detalles de refuerzo del edificio, que es poco probable que se tenga de un edificio grande.

Para que este método sea aplicado a otras urbes que no sea EEUU, se requiere de la investigación de funciones de fragilidad y curvas de capacidad, que sean calibradas para el parque inmobiliario que se estudie.

Es evidente que para realizar un estudio de vulnerabilidad regional aplicando esta metodología, llevaría un tiempo considerable en realizar todo este análisis matemático y su adaptación, sin tomar en cuenta el levantamiento de información puntual de cada edificio, lo que no le hace idóneo ni rentable en la aplicación.

**FIGURA 2.5** ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA HAZUS

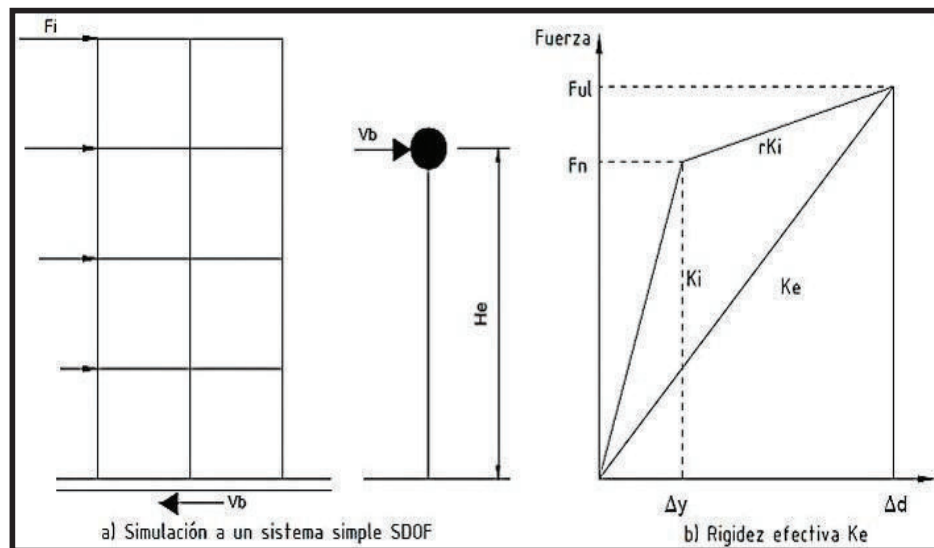


Elaboración: Neptalí Romero

b) Método basado en desplazamiento.

Conocido también como método directo de diseño basado en el desplazamiento propuesto por Priestley en 1993 y desarrollado por Priestley (1997), Calvi (2006). Este método propone emplear el desplazamiento como indicador fundamental del daño y una representación espectral de la demanda sísmica, donde la respuesta de una estructura de múltiples grados de libertad, se representa mediante un sistema de un grado de libertad equivalente a un oscilador con una masa efectiva. Véase figura 2.6.

**FIGURA 2.6** SIMULADOR DE UN SISTEMA SIMPLE



Fuente: Herrera, G., Vielma, J., Barbat, A., Pujades, LL., (2010).

La evaluación del índice de vulnerabilidad toma en cuenta los diferentes estados de desplazamiento, y contabiliza según el mecanismo de fallo o perfil de desplazamiento un estado límite dado; tomando en cuenta la geometría y los materiales del edificio evaluado.

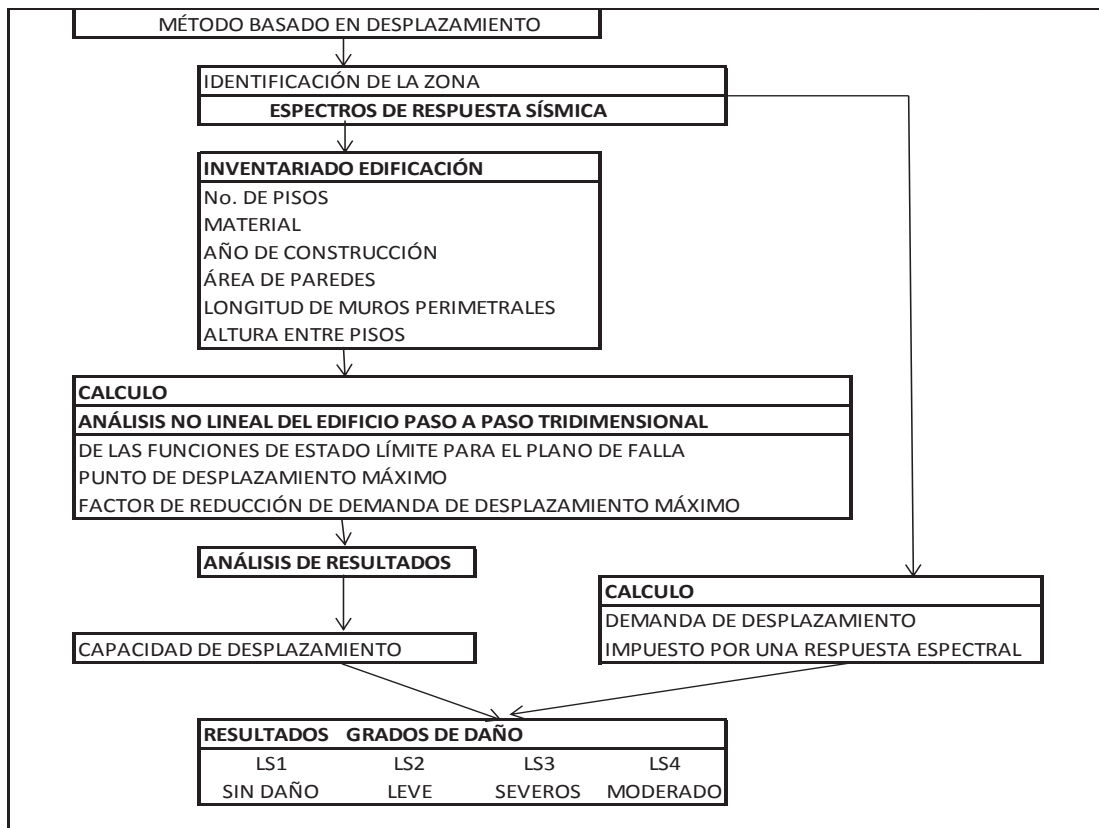
Para marcos de hormigón armado, la influencia de la capacidad de desplazamiento de las columnas en pisos blandos y de las vigas, en la distribución del daño, son considerados en los mecanismos de fallo. Mientras que en las estructuras de mampostería se identifican diferentes planos y modos

de fallo. Cabe mencionar, que se necesita estudios por separado para evaluar cada tipología.

Este enfoque, es particularmente adecuado para los estudios de estimación de pérdida, ya que además de la individualización directa de cualquier característica de valores de construcción dados, es computacionalmente muy eficiente, de este modo permite un ahorro de extensos estudios paramétricos y repetitivos.

El método utiliza pocos parámetros como son: el período de la construcción, el número de niveles y el tipo de material. Considera cuatro estados de daño: LS1 o sin daño, LS2 o con daños estructurales leves y daños no estructurales moderados, LS3 corresponde a daños estructurales significativos y daños no estructurales severos y, LS4 se considera el colapso. Para cada tipo de estructura y cada estado de daño se define un modelo estructural, en términos de una rigidez secante en el punto de desplazamiento máximo y un factor de reducción de demanda de desplazamiento, que depende de la energía disipada por la estructura (ver figura 2.6). La fiabilidad de estos dos parámetros, derivados a partir de un número muy reducido de datos es pequeña y, por tanto, se proporcionan intervalos, en vez de utilizar intervalos continuos.

Los dos intervalos definen un rectángulo en el plano del espectro de desplazamiento y la probabilidad de ocurrencia de un cierto estado límite se obtiene integrando una función de densidad de probabilidad en el área bajo la línea de espectro de respuesta de desplazamiento (Calvi, 1999).

**FIGURA 2.7 ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA DE DESPLAZAMIENTO**

Elaboración: Neptalí Romero

### 2.2.1.3 Evaluación de las metodologías cualitativos/analíticos.

Vale aclarar que las metodologías que se han revisado, no son todas las que están vigentes, sino que se ha escogido las más representativas de los últimos años. Hay una gran contribución en el campo de evaluación de la vulnerabilidad con metodologías y procedimientos variados que distan mucho de los aquí planteados, se pueden encontrar metodologías que entran en un campo híbrido que mezcla los cualitativos y analíticos.

En la revisión sobre metodologías de evaluación de vulnerabilidad Calvi et al. (2006) concluye, que una metodología de evaluación de vulnerabilidad óptima o ideal debería tener las siguientes características principales:

- i) Deben incorporarse los acontecimientos más recientes en el campo de la evaluación de los daños sísmicos,
- ii) Todas las fuentes de incertidumbre deben calcularse de forma explícita,
- iii) El modelo debe ser fácilmente adaptable a las prácticas de construcción de cualquier país y considerar la inclusión de nuevos tipos de edificaciones,
- iv) Debe lograrse un equilibrio entre las exigencias computacionales y la cantidad de datos detallados que se requiere y el consiguiente grado de confianza en los resultados. Sin embargo, es improbable que se pueda producir una metodología única capaz de cumplir con todos estos requisitos.

De lo expuesto, la metodología presentada por Giovinazzi y Lagomarsino cumple con la mayoría de los requerimientos expuestos por Calvi (2006), que permite emprender una evaluación para predecir con buen grado de veracidad los resultados.

## **2.3 METODOLOGÍA MACROSÍSMICA EUROPEA (EMS-98). DESCRIPCIÓN**

### **2.3.1 CONCEPTOS NECESARIOS**

- **Escala de Intensidad.**- La escala de intensidades EMS-98 es una actualización de la escala MSK-64, y en referencia a las edificaciones, quizás la aportación más novedosa es la inclusión de un mayor número de tipologías constructivas y el concepto de “clase de vulnerabilidad”. Se observa como diferentes tipos de edificios pueden pertenecer a una misma clase de vulnerabilidad y edificios con la misma

tipología puede presentar respuestas sísmicas diferentes (Barbat y Pujades, 2004).

La escala macrosísmica EMS-98 (European Macroseismic Scale 1998), define diferentes niveles de intensidad sísmica en función de los principales daños y efectos, ocasionados por un movimiento sísmico en las personas, en los objetos, en la naturaleza y en los edificios de un lugar. Por tal razón, en la EMS 98 se refieren al término de intensidad macrosísmica para indicar la severidad del movimiento sísmico (Aguilar, 2011).

- **Intensidad sísmica.-** Es una medida subjetiva de los efectos y daños causados por un sismo en las personas y en las edificaciones. Por lo tanto, no es una medida única para un sismo, dado que los efectos producidos en diferentes lugares por el mismo sismo es distinto y, a medida que el lugar se encuentre más alejado de la zona epicentral menores serán los efectos (García, 1998). No requiere instrumentos para ser medidos.
- **Magnitud sísmica.-** Es la medida de la energía liberada por un sismo, que no varía con la distancia al epicentro, y se determina, conociendo los registros de las ondas sísmicas en un sismógrafo situado a una distancia determinada del epicentro (García, 1998). La escala de magnitud fue originada en 1931 por K. Wadati, en Japón, y desarrollada por Richter en 1935 en California, debido a que las fuentes sísmicas se encuentran a cualquier distancia de una estación sismográfica, Richter también desarrollo un método para tener la atenuación de una onda sísmica en el cálculo de la magnitud (Bolt, 2000). Es una escala logarítmica y por lo tanto, pasar de un grado a otro significa un cambio considerable de energía liberada (Llanos, Vidal, 2003).
- **Vulnerabilidad sísmica.-** La vulnerabilidad sísmica de un edificio, grupo de edificios o de una zona urbana completa, se define, como su

predisposición intrínseca a sufrir daños ante la ocurrencia de un movimiento sísmico de una severidad determinada (Barbat et al, 1998).

El término “intensidad macro sísmica” se usa aquí totalmente en el sentido de una clasificación de la severidad del movimiento del suelo en función de los efectos observados en un área limitada (Grüntal, 2009).

- **Vulnerabilidad estructural.-** Esta componente de la vulnerabilidad también se conoce como vulnerabilidad física, hace referencia al grado de afectación que pueden sufrir los elementos estructurales de una edificación, y está relacionada con la capacidad que tiene una estructura para soportar las sollicitaciones a las que se ve sometido al momento de un sismo (Llanos, Vidal, 2003).
- **Vulnerabilidad no estructural.-** Está asociado a los daños que pueden tener los sistemas arquitectónicos de una edificación que, en términos económicos y de vidas humanas, puede ser tan importante como los daños estructurales (Llanos, Vidal, 2003).
- **Vulnerabilidad funcional.-** Se define en los términos de los efectos de un desastre en el buen funcionamiento de una edificación y desempeño de una edificación de acuerdo a su función (Wong et al, 1997).
- **Riesgo sísmico.-** Se define como la probabilidad esperada de las pérdidas de vidas y la posibilidad de que se presenten efectos económicos, sociales, físicos-técnicos y ambientales, como consecuencia de materialización de la amenaza y del contexto social y ambiental que facilitan la ocurrencia de los desastres (Llanos, Vidal, 2003).

### 2.3.2 RESUMEN DE LA METODOLOGÍA EMS 98



Podemos considerar la escala de intensidad Medvedev-Sponheuer-Karnik (MSK-64) como precursora del concepto de vulnerabilidad. La Escala MSK-64 no habla de vulnerabilidad pero clasifica los edificios en base a sus características resistentes. La Tabla 2.1 muestra la descripción de las tres clases que van de menor a mayor resistencia sísmica. Mañà (1997) utiliza la escala MSK-64 para clasificar la resistencia sísmica de los edificios de los distritos de Ciutat Vella y de l'Eixample en Barcelona (Lantada, 2007).

**TABLA 2.1** CLASIFICACIÓN DE EDIFICIOS SEGÚN LA ESCALA MSK-64.

TIPO	DESCRIPCIÓN
A	Con muros de mampostería en seco o con barro, el adobe, de tapial.
B	Con muros de fábrica de ladrillo, de bloque de mortero, de mampostería con mortero, de sillarejo, de sillería, entramados de madera.
C	Con estructura metálica o de hormigón armado.

Fuente: Lantada, 2007

La escala MSK-64 es revisada y actualizada mediante la Escala Macrosísmica Europea, dando lugar a una versión preliminar publicada en 1992 (EMS-92). Esta primera versión se publica en su forma definitiva (EMS-98) en 1998 (Grünthal, 1998), incorporando sugerencias de la comunidad sismológica internacional. La Escala EMS-98 mantiene la clasificación de los edificios, pero incorpora, de forma explícita el concepto de vulnerabilidad. La Tabla 2.2, muestra los tipos de edificios y las clases de vulnerabilidad.

Se observa cómo la nueva escala establece clases de vulnerabilidad, aunque son características más probables para los principales tipos de edificios, admiten diversos rangos de pertenencia definidos como: rangos probables y posibles.

Chávez (1998) utilizó clases de vulnerabilidad basadas en la escala EMS-98 para efectuar un estudio del riesgo sísmico de edificios de Cataluña. Este

estudio se utilizó para elaborar el plan de emergencia sísmica de la comunidad Europea.

Esta escala es netamente diseñada y orientada para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en Europa, ya que fue idealizada y concebida por la Comisión Sismológica Europea. Pero la similitud de las tipologías constructivas con América Latina hace factible su aplicación.

Es claro que se ha venido aplicando en los diferentes continentes, pero para el caso de estudio, en América Latina se ha utilizado para la evaluación sísmica de diferentes ciudades de Colombia, Venezuela, Chile y México.

Esta escala está dividida en seis clases de vulnerabilidad de la A hasta la F, siendo las edificaciones más vulnerables las calificadas con A y menos vulnerables las B, C, D, E y F en ese orden.

Como se puede observar en la Tabla 2.2, se representa con una circunferencia (O) el caso de vulnerabilidad más probable, con una línea continua corta (—) el rango probable y con una línea entrecortada (- - -) el caso menos probable.

Los casos de más probable, probable y menos probable se refieren algunos factores tipológicos y constructivos que se discutirá después.

La tabla 2.2 que presenta los tipos de Estructuras y las clases de vulnerabilidad se puede adaptar fácilmente al caso del estudio presente; tomando como sugerencia los comentarios de la EMS-98. De tal manera que la tabla se modificará con las tipologías constructivas que encontramos en Ecuador y se puede tratar como equivalentes a las presentadas por la EMS-98.

Como ejemplo tenemos: El tipo de vivienda que se encuentra en algunas regiones de Europa, conocido como “wattle and daub”, donde el armazón de madera se rellena con listones de madera cubiertos con barro es similar a la construcción de adobe en América Latina (esta técnica se conoce como “bahareque”). :(Grünthal, 2009).

**TABLA 2.2** TIPOS DE EDIFICIOS Y CLASES DE VULNERABILIDAD SEGÚN LA ESCALA EMS-98.

Tipo de Estructura		Clases de vulnerabilidad					
		A	B	C	D	E	F
<b>MAMPOSTERIA</b>	Paredes de peña viva/roca de cantera	O					
	Adobe (ladrillo de tierra)	O——					
	Roca simple	-----O					
	Roca masiva		——O-----				
	Unidades de roca manufacturada		-----O-----				
	Ladrillo no reforzado, piso de HA		———O-----				
	Reforzado o confinado			-----O——			
<b>HORMIGÓN ARMADO</b>	Armazón sin diseño sismoresistente (DSR)		-----O-----				
	Armazón con un nivel moderado de DSR			-----O——			
	Armazón con alto nivel de DSR				-----O——		
	Paredes sin DSR		-----O——				
	Paredes con un nivel moderado de DSR			-----O——			
	Paredes con un nivel alto de DSR				-----O——		
<b>ACERO</b>	Estructuras de acero			-----O-----			
<b>MADERA</b>	Estructuras de madera		-----O——				

O Clase de vulnerabilidad más probable      —— Rango probable  
 ----- Rango de clases excepcionales , menos probables

Fuente:(Grünthal, 2009).

### Análisis de la tabla de Vulnerabilidades

#### Tipos de estructuras

- Paredes de peña viva/ Roca de cantera.

#### Características:

- Son rocas extraídas de cantera sin trabajo previo.
- Las estructuras son típicas de roca con mortero de tierra, edificadas con una calidad pobre.
- Estas no poseen ningún material de refuerzo y no soportan cargas laterales, además suelen tener pisos de madera.

- Se encuentra en gran variedad en las zonas rurales del Ecuador.
- Adobe / Ladrillo de tierra.

Características:

- Dentro de este tipo de estructura se puede considerar las edificaciones de bahareque, que presenta mejor comportamiento a solicitaciones de cargas laterales por su entramado de madera, que las compuestas solo de tierra.
- Las cubiertas son de madera con techo de teja lo que le hace demasiado pesado, siendo un factor importante en la evaluación de la vulnerabilidad.
- Las viviendas de ladrillo de tierra se comportan de mejor manera ante vibraciones que las viviendas netamente construidas de adobe.
- Se puede mencionar que este tipo de construcción se encuentran en diferentes zonas del Ecuador, su mayoría en las zonas rurales.

**FIGURA 2.8** DETALLE DE TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA DE ADOBE



Fuente: Archivo particular

- Roca simple.

Características:

- Estas edificaciones son hechas de rocas labradas, siendo colocadas de manera que mejoran la resistencia lateral.
- En las construcciones se utilizan técnicas de enlace entre rocas, sobre todo en las esquinas.
- La vulnerabilidad probable de estas edificaciones es la B, pero en casos de estar en mal estado la estructura se recomienda A.
- En el Ecuador se tiene gran variedad de edificaciones con estas características, sobre todo en el sector urbano.
- 

**FIGURA 2.9** TIPOLOGÍA ROCA SIMPLE, EDIFICACIÓN PARA VIVIENDA



Fuente: Archivo particular

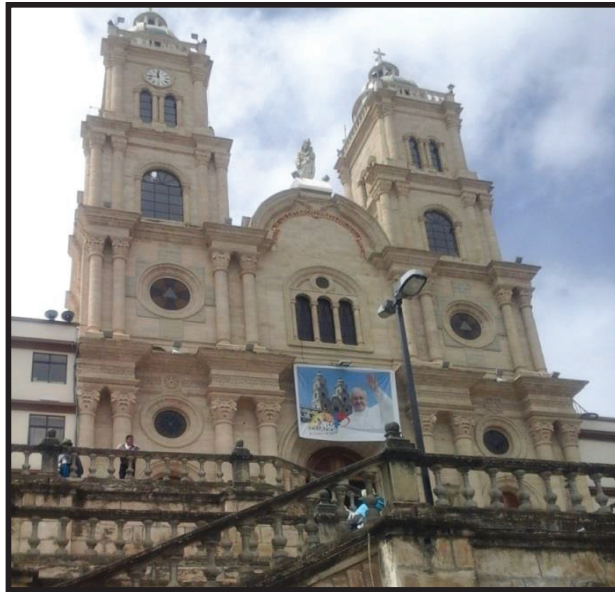
- Roca masiva

Características:

- Material usado en la construcción de edificaciones emblemáticas como monumentos, iglesias, castillos, puentes, etc. Este tipo de edificaciones no suele tomarse como base para cuantificar la vulnerabilidad debido a su importancia, los autores los estudian como casos especiales.

- Las edificaciones con este método constructivo, se puede calificar su vulnerabilidad, con clase C o D en casos excepcionales.
- La mayoría de este tipo de edificaciones se encuentran en los centros históricos de las ciudades.

**FIGURA 2.10** TIPOLOGÍA ROCA MASIVA, IGLESIA DE SAN FRANCISCO AZOGUES



Fuente: Colección particular

- Ladrillo no reforzado / bloques de hormigón

Características:

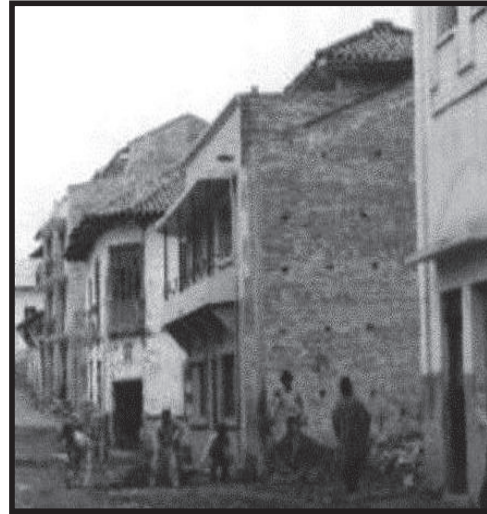
- Los bloques de hormigón, son elementos constructivos de mayor utilización en el Ecuador por su costo frente al ladrillo.
- Los bloques de hormigón, tienen menor resistencia que los ladrillos.
- Las construcciones con este tipo de elementos no soportan cargas laterales, debido a la falta de refuerzos transversales y longitudinales.

- Las edificaciones encontradas en barrios de bajos recursos económicos por su bajo costo en la construcción; suele calificarse con vulnerabilidad B.
- Cuando se tiene elementos manufacturados de buena calidad y procedimientos constructivos que mejoren su resistencia podrían calificarse como C, este tipo de construcciones se encuentran en sectores de niveles económicos más solventes.
- Los pisos y techos, suelen ser de madera, por lo que presentan cierta flexibilidad.
- En el Ecuador tenemos una gran variedad de ladrillos y bloques con acabados de: buena calidad, regular y mala calidad, teniendo como resultados: buena resistencia mecánica, regular resistencia mecánica y mala resistencia mecánica.

**FIGURA 2.11** TIPOLOGÍA DE LADRILLO O BLOQUE NO REFORZADO



Fuente: Colección particular



Fuente: Biblioteca Histórica Municipal

- Ladrillo no reforzado con pisos de hormigón armado.

Características:

- Cuando las paredes laterales de ladrillo de las edificaciones están muy bien conectadas, con una viga perimetral en el piso, esto

evidencia una estructura tipo cajón que eleva el nivel de resistencia a cargas laterales. Las edificaciones que presentan esta característica pueden calificarse con vulnerabilidad C; pero no suele ser el caso en la mayoría de las veces, siendo calificada como A.

- En el Ecuador, se encuentra edificaciones con paredes de ladrillo no reforzado o bloque no reforzado, y en la mayoría de los casos la losa de piso, a pesar que posee una cadena perimetral, no presenta ningún sistema de unión de pared con losa de piso, es decir, es simplemente asentada; lo que nos llevaría a evaluarse con una vulnerabilidad A.

**FIGURA 2.12** TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA DE LADRILLO NO REFORZADO CON PISO DE HORMIGÓN ARMADO



Fuente: Colección particular

- Ladrillo reforzado y mampostería confinada.

Características:

- En Ecuador, no es una práctica común la construcción ladrillo reforzado o mampostería confinada, solo se conoce a nivel ingenieril dicha técnica constructiva.



- La presencia de refuerzos en la mampostería crea una especie de muro que eleva la resistencia y la ductilidad.
- La clase de vulnerabilidad con la que se calificará sería D; si se emplea normas constructivas que garantice su eficiencia.

**FIGURA 2.13** MAMPOSTERÍA REFORZADA



Fuente: [www.Detaca.unad.edu.co](http://www.Detaca.unad.edu.co)

- Estructuras de hormigón armado (H.A).

Características:

- Este tipo de construcción, tan común en las ciudades modernas, varía extremadamente en apariencia, diseño y resistencia, lo que hace difícil presentar una guía simple para tratar tales estructuras. Se ha llevado a cabo una división en la Tabla de Vulnerabilidad en base al nivel de diseño sísmoresistente (Grünthal, 2009).
- Las estructuras de HA, son edificaciones que están compuestas de vigas y columnas unidas monolíticamente, se encuentran, en mayor cantidad en las zonas urbanas con formas y diseños muy variados.

- Se pueden encontrar estructuras con diferente grado de diseño sismoresistente.
- En las edificaciones de hormigón armado, se puede hablar de patologías constructivas, que afectan en la evaluación de la vulnerabilidad, entre las más conocidas tenemos:

Columnas cortas, piso débil, piso frágil, columna débil-viga fuerte, irregularidad en planta e irregularidad vertical.

**FIGURA 2.14** DETALLE DE TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA DE HORMIGÓN ARMADO.



Fuente: Archivo particular

- Estructuras de armazón de hormigón armado sin diseño sismoresistente.

Características:

- Son estructuras en las que no se ha aplicado en su diseño y construcción, ningún concepto de sismoresistencia o no se ha regido por el capítulo de sismoresistencia del código de la construcción vigente.

- La vulnerabilidad más probable es C, pero por defectos en el método constructivos puede redundar en una calificación de mayor vulnerabilidad, siendo esta B.
  - En casos excepcionales se puede calificar con D, cuando se conoce que estas edificaciones se realizaron con una mejor técnica en su construcción.
  - Por lo general estas edificaciones soportan momentos y esfuerzos de corte.
- Estructuras de armazón de hormigón armado con nivel moderado de diseño sismoresistente.

Características:

- Al hablar de un nivel moderado de diseño sismoresistente de las estructuras, se entiende que se diseñó con códigos de la construcción no vigentes o antiguos.
  - Son edificios construidos con técnicas mejoradas de diseño ingenieril y armado de sus estructuras para favorecer su ductilidad.
  - Un factor importante para la calificación de la vulnerabilidad es reconocer los niveles de sismicidad de la zona, en la que se emplaza la edificación.
  - Las edificaciones al tener un nivel moderado de diseño sismoresistente en una zona de alta sismicidad, se calificaría con una vulnerabilidad de clase C.
  - Para estos edificios, las clases probables de vulnerabilidades es D y E, siendo la clase D la más probable.
- Estructuras de armazón de hormigón armado con un alto nivel de diseño sismoresistente.

Características:

- Son edificaciones que se han diseñado en base al código de la construcción vigente, con referencia al diseño sismoresistente.
  - Esta clase de edificaciones se pueden encontrar en zonas donde se tiene elevada sismicidad.
  - Son estructuras calculadas teniendo en cuenta las cargas dinámicas.
  - Se aplica en estas edificaciones, métodos constructivos que aseguran la disipación de energía, formando rotulas plásticas.
  - Este tipo de edificaciones, son calificados con clase de vulnerabilidad E y F, siendo la más probable la E.
- Estructuras de armazón de hormigón armado, con paredes de hormigón armado y con diferentes grado de diseño sismoresistente.

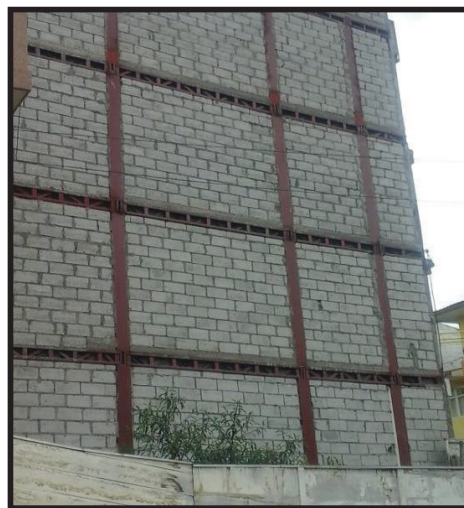
#### Características:

- La implementación de paredes (muros) de hormigón armado, se emplea, ya en el diseño y construcción de edificaciones con un elevado diseño sismoresistente, dispuesto en los códigos vigentes de construcción. La finalidad de los muros acoplados a las vigas, es la de disipar energía. La clase de vulnerabilidad aplicada a este tipo de edificaciones, la más probable es E, siendo la probable F y en casos excepcionales D.
  - La ubicación de los muros pueden ser perjudiciales según su disposición en planta, puede producir torsión; la práctica constructiva también aumenta la vulnerabilidad; a este tipo de estructuras se puede considerar muros sin diseño sismoresistente. Las discontinuidades u orificios en los muros también aumentan la vulnerabilidad de las estructuras; siendo la clase de vulnerabilidad más probable en este tipo de edificaciones la C, pudiendo ser probablemente B y en casos excepcionales D.
- Estructuras de Acero.

### Características:

- Son edificaciones con estructura o armazón de acero. Como el acero presenta alta ductilidad, esta se clasifica con un elevado grado de sismoresistencia.
- La elección de la clase de vulnerabilidad debe ser calificado según su estado de rigidez y la calidad de sus uniones.
- La ductilidad del sistema en conjunto se evalúa según la rigidez lateral, que involucra tipo de armazón y tipo de arrostramiento.
- Para edificios sin tomar en cuenta el diseño sismoresistente se puede clasificar como D.
- En los casos de estructuras de acero resistentes a momentos, con armazones arriostrados o con muros, que aseguren la ductilidad conjunta, se puede calificar a la vulnerabilidad como clase E, siempre cuidando los procesos constructivos mecánicos.
- A las edificaciones que han sido aplicadas un diseño con normas sísmicas, se puede considerar la vulnerabilidad probable la clase F, siempre teniendo en cuenta los procesos constructivos de soldadura y normas de construcciones metálicas.

**FIGURA. 2.15** EDIFICIO DE ESTRUCTURA DE ACERO



Fuente: Archivo particular.

- Estructuras de Madera.

Características:

- Son estructuras compuestas con una variedad de elementos de madera.
- Las edificaciones debe ser completamente de madera.
- Este tipo de edificaciones no se encuentran con facilidad en el Ecuador.
- Las edificaciones de este tipo soportan fuerzas laterales debido a la flexibilidad innata de la madera, pero cuando su funcionamiento es en conjunto.
- En las construcciones de madera deben realizarse un buen mantenimiento y buenas condiciones en las conexiones para que puedan soportar fuerzas laterales o que acepten deformaciones sin terminar en el colapso.
- A este tipo de edificaciones se les califica como D su vulnerabilidad más probable.

La Escala Macrosísmica Europea sugiere: “En el futuro deberían efectuarse algunas mejoras con relación a como se consideran las estructuras de madera en la escala. Se debería incluir la creación de subdivisiones de estructuras de madera en grupos distintos, así como la descripción con detalles de las etapas de daños a los edificios de madera, que no están descritos en las definiciones de grados de daño en la escala; de la misma manera que para las estructuras de mampostería y H A”.

**FIGURA. 2.16** EDIFICACIÓN DE MADERA








Fuente: Archivo particular

### **2.3.3 CLASIFICACIÓN DEL DAÑO**

La metodología EMS-98, divide en dos grupos la tipología constructiva de edificios, que son: mampostería y hormigón armado. Cada tabla clasifica en 5 grados de daño, cada grado de daño está caracterizado por el deterioro de la edificación. La metodología trata de dar una guía clara de los daños para la posible identificación de averías en un edificio frente a un sismo.

En la ciudad de Azogues la mayoría de las edificaciones son de mampostería y hormigón armado, lo que hace factible y fácil la aplicación de las tablas 2.3 y 2.4. A más de la explicación de cada daño, la metodología EMS-98 presenta una serie de ejemplos ilustrativos de la clasificación de daños en diferentes tipos de edificios.

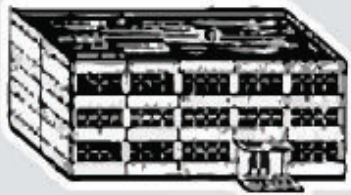




**TABLA 2.3** CLASIFICACIÓN DE DAÑO EN LOS EDIFICIOS DE MAMPOSTERÍA

<p><b>Grado 1:</b> Daños de despreciables a ligeros (ningún daño estructural, daños no-estructurales ligeros)</p> <p>Fisuras en muy pocos muros. Caída sólo de pequeños trozos de revestimiento. Caída de piedras sueltas de las partes altas de los edificios en muy pocos casos.</p>	
<p><b>Grado 2:</b> Daños moderados (daños estructurales ligeros, daños no-estructurales moderados)</p> <p>Grietas en muchos muros. Caída de trozos bastante grandes de revestimiento. Colapso parcial de chimeneas.</p>	
<p><b>Grado 3:</b> Daños de importantes a graves (daños estructurales moderados, daños no-estructurales graves)</p> <p>Grietas grandes y generalizadas en la mayoría de los muros. Se sueltan tejas del tejado. Rotura de chimeneas por la línea del tejado. Se dañan elementos individuales no-estructurales (tabiques, hastiales y tejados).</p>	
<p><b>Grado 4:</b> Daños muy graves (daños estructurales graves, daños no-estructurales muy graves)</p> <p>Se dañan seriamente los muros. Se dañan parcialmente los tejados y forjados.</p>	
<p><b>Grado 5:</b> Destrucción (daños estructurales muy graves)</p> <p>Colapso total o casi total.</p>	

Fuente: Escala Macrosísmica Europea EMS 98



**TABLA 2.4** CLASIFICACIÓN DEL DAÑO EN EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO

<p><b>Grado 1: Daños de despreciables a ligeros</b> (ningún daño estructural, daños no-estructurales ligeros)</p> <p>Fisuras en el revestimiento de pórticos o en la base de los muros. Fisuras en tabiques y particiones.</p>	
<p><b>Grado 2: Daños moderados</b> (daños estructurales ligeros, daños no-estructurales moderados)</p> <p>Grietas en vigas y pilares de pórticos y en muros estructurales. Grietas en tabiques y particiones; caída de enlucidos y revestimientos frágiles. Caída de mortero de las juntas de paneles prefabricados.</p>	
<p><b>Grado 3: Daños de importantes a graves</b> (daños estructurales moderados, daños no-estructurales graves)</p> <p>Grietas en pilares y en juntas viga/pilar en la base de los pórticos y en las juntas de los muros acoplados. Desprendimiento de revocos de hormigón, pandeo de la armadura de refuerzo. Grandes grietas en tabiques y particiones; se dañan paneles de particiones aislados.</p>	
<p><b>Grado 4: Daños muy graves</b> (daños estructurales graves, daños no-estructurales muy graves)</p> <p>Grandes grietas en elementos estructurales con daños en el hormigón por compresión y rotura de armaduras; fallos en la trabazón de la armadura de las vigas; ladeo de pilares. Colapso de algunos pilares o de una planta alta.</p>	
<p><b>Grado 5: Destrucción</b> (daños estructurales muy graves)</p> <p>Colapso de la planta baja o de partes (por ejemplo alas) del edificio.</p>	

Fuente: Escala Macrosísmica Europea EMS 98

## **2.4 METODOLOGÍA DE GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO**

### **2.4.1 FUNDAMENTO DE LA METODOLOGÍA MACROSÍSMICA DE GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO**

La metodología de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de Giovinazzi y Lagomarsino se le puede considerar como un compendio entre la Escala Macrosísmica Europea EMS 98 y el Método Italiano. Parte de las clases de vulnerabilidad definidas en la EMS-98, y al igual que el Método Italiano, cuantifica cada edificio mediante un índice de vulnerabilidad. Este índice varía entre 0 y 1, siendo más cercano a 0 cuanto menos vulnerable es el edificio. Este método desarrollado en la Universidad de Génova por los profesores Lagomarsino y Giovinazzi (2004), fue adoptado por el proyecto Risk-UE (Milutinovic y Trendafiloski, 2003) para la simulación y análisis de escenarios sísmicos, y es uno de los métodos aplicados y adaptados en este estudio.

Se trata de un método versátil, robusto y sencillo de aplicar, cuya principal ventaja reside en la facilidad para describir la vulnerabilidad de los edificios, con un gran nivel de detalle, y que permite captar, además de su calidad estructural, aquella que se deriva de su geometría y de su posición. El principal inconveniente reside en su calibración.

Si el objetivo de la aplicación de cualquier escala macrosísmica es la medida de las consecuencias de un terremoto y la cuantificación de los daños sufridos en las estructuras; de la misma manera se puede representar como la predicción de un modelo de evaluación de la vulnerabilidad para una intensidad dada, con la asignación de vulnerabilidades probables.

Las viejas escalas de intensidades hacían referencias a la distribución de daño para las diferentes intensidades de sismos, sin distinción de las tipologías constructivas, ya que la mayoría de edificaciones eran de mampostería.

Las escalas modernas ponen énfasis en las tipologías constructivas, ya que existen edificios con diferentes diseños y formas constructivas. En particular las escalas EMS 92 y la EMS 98 contienen una variedad de tipologías y clases de vulnerabilidad claramente definidas.

La metodología propuesta por Giovinazzi y Lagomarsino se basa en la Escala Macrosísmica Europea (EMS 98), por las siguientes razones: por la calidad y detalle de las tipologías de edificios que cubre todas las edificaciones existentes y porque probablemente es la metodología más usada en los diferentes países.

La Escala Macrosísmica Europea EMS 98, hace referencia a las clases de vulnerabilidad que presentan las diferentes tipologías constructivas, agrupando a los de comportamiento similar (Mampostería, hormigón armado, acero, madera), y para cada una de ellas se le puede asociar una intensidad derivada del daño, todo lo cual se le puede representar en una matriz denominada matriz de daño. La EMS 98, clasifica al daño con cinco grados para una determinada clase de vulnerabilidad, representadas con una matriz que contiene la probabilidad de daño para una intensidad dada, ver tabla 2.5.

**TABLA 2.5** MATRIZ DE DAÑO PARA LA CLASE DE VULNERABILIDAD B

CLASE B					
DAÑO	1	2	3	4	5
INTENSIDAD					
V	poco				
VI	mucho	poco			
VII		mucho	poco		
VIII			mucho	poco	
IX				mucho	poco
X					mucho
XI					mayoría
XII					

Fuente: Giovinazzi y Lagomarsino, (2004).

Como se puede observar la matriz de daño presentada en la tabla 2.5 proporciona una falta de términos que completen la matriz, por ejemplo: Para la

intensidad sísmica de "V", solo se tiene para el grado de daño 1, identificando la cantidad de daño con el término "poco", y para los grados de daño 2, 3, 4, 5 no se menciona la cantidad de daño producido.

De igual manera la escala EMS 98 define términos cualitativos como: poco, mucho y la mayoría para definir la cantidad de daño, estos términos implican una vaguedad en la definición de daño, al no saber cuánto realmente abarca estos términos, por ejemplo: el término muchos. Todo esto implica una forma incompleta en las matrices de daño propuesto por la Escala Macrosísmica Europea.

Para solucionar la falta de términos en la matriz de probabilidad de daño (DPM), Giovinazzi y Lagomarsino proponen la introducción de una probabilidad discreta con una adecuada distribución de grado de daño, basándose en terremotos pasados. La distribución que mejor se adapta a los requisitos específicos es la distribución beta; a ser desarrollado a continuación.

La probabilidad  $P\beta(x)$  de que cierta estructura de una tipología determinada sufra algún daño, al ser afectada por un sismo de una intensidad determinada  $x$ , puede modelarse mediante una función de distribución Beta, que es equivalente a la función Binomial definida por la EMS 98, para la distribución de daño; que viene definida por un único parámetro, el valor medio de la variable continua  $\mu_x$ :

$$P\beta(x) = \frac{\Gamma(t)}{\Gamma(r)*\Gamma(t-r)} * \frac{(x-a)^{r-1}(b-x)^{t-r-1}}{(b-a)^{t-1}} \quad a \leq x \leq b \quad \text{Ec. 1} \quad (\text{Ec.2.1})$$

Donde,  $\Gamma$  es la función Gamma, definida por Euler como:

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-t} * t^{x-1} * dt, \quad x > 0 \quad (\text{Ec.2.2})$$

$a$  y  $b$  son valores extremos de la función de densidad de probabilidad de la distribución, y deben tomar valores que permitan hallar las probabilidades de ocurrencia o de excedencia de cada uno de los estados de daño considerados.

Esto se puede definir con la siguiente ecuación que oscila entre a y b:

$$\mu_x = a + r/t (b-a) \quad (\text{Ec.2.3})$$

Para el caso en discusión como los estados de daños considerados son seis,  $a=0$  y  $b=6$ . El parámetro "t" afecta a la dispersión de la distribución y su valor se fija en 8, para que la distribución Beta en este caso, sea similar a la distribución Binomial (Giovinazzi y Lagomarsino, 2004).

Partiendo de este supuesto, es posible calcular la probabilidad asociada con el grado de daño  $k$  ( $k = 0, 1, 2, 3, 4, 5$ ), como sigue:

$$p(k) = P\beta(k+1) - P\beta(k) \quad (\text{Ec.2.4})$$

Utilizando la probabilidad de distribución discreta que produzca un daño dentro de los seis grados de daño se calcularía de la siguiente manera:

$$\mu_D = \sum_{k=0}^5 p_k * k \quad (\text{Ec. 5}) \quad (\text{Ec.2.5})$$

Evaluando las ecuaciones 2.4 y 2.5 se obtiene un polinomio de tercer grado que relaciona el grado de daño con el valor continuo de la variable  $x$ .

$$\mu_x = 0.042 \mu_D^3 - 0.315 \mu_D^2 + 1.725 \mu_D \quad (\text{Ec.2.6})$$

Reemplazando la Ec.2.3 en la Ec. 2.6 se obtiene el valor del término "r":

$$r = t (0.007 \mu_D^3 - 0.0525 \mu_D^2 + 0.2875 \mu_D) \quad (\text{Ec.2.7})$$

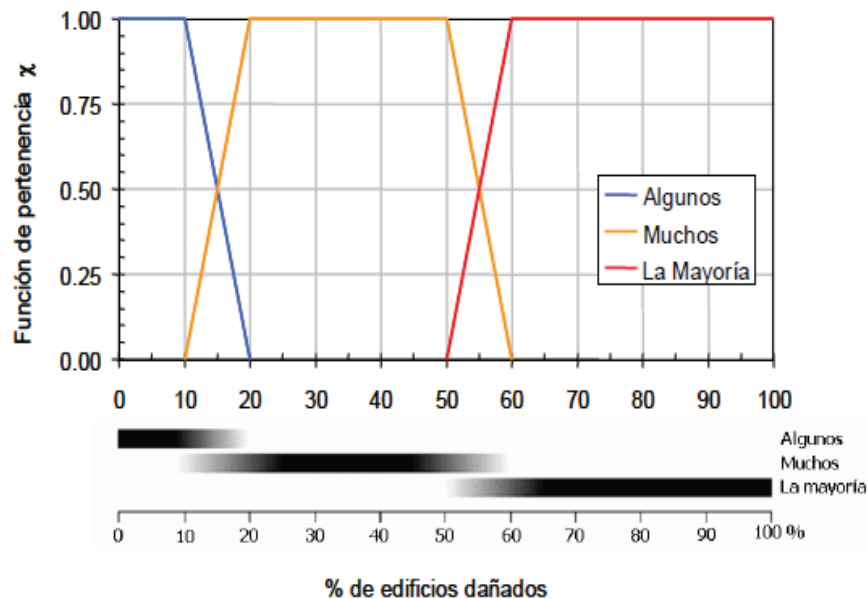
Luego de lo expuesto, se procede a obtener una matriz de probabilidad de daño que salve la vaguedad de los términos lingüísticos poco, mucho, la mayoría, con el fin de obtener un orden numérico de la matriz (DPM), para las clases de vulnerabilidad de la escala macrosísmica Europea (EMS 98).

Como es arbitraria la traducción de los términos gramaticales en una probabilidad de valor exacto, que puede ser mejor modelado como rangos de probabilidad delimitadas. Giovinazzi y Lagomarsino aplican la teoría de conjuntos difusos que ofrece una interesante solución para el problema, lo que lleva a la estimación de los límites superior e inferior de los daños esperados (Bernardini, 2007).

Los conjuntos difusos no tienen un límite definido. La transición entre pertenecer a un conjunto y no pertenecer a un conjunto es gradual y esta transición suave es caracterizada por una función de pertenencia. Las funciones de pertenencia, dan flexibilidad a la modelación de expresiones lingüísticas, tales como mucho, poco, leve, severo, escaso, suficiente, etc. Esto surgió de la necesidad de solucionar problemas complejos con información imprecisa, para los cuales la matemática y lógica tradicionales no son suficientes. La teoría de conjuntos difusos es un lenguaje que permite trasladar sentencias sofisticadas del lenguaje natural a un formalismo matemático.

De acuerdo con la teoría de conjuntos difusos, las definiciones cualitativas pueden ser interpretadas a través de las funciones de pertenencia " $\chi$ " para cada una de las seis clases de vulnerabilidad (véase Figura 2.17) de la siguiente manera: Se definen de forma difusa, con funciones de pertenencia mediante unos rangos plausibles para ( $\chi=1$ ), y mediante rangos probables, a la transición entre dos clases de vulnerabilidad adyacentes. Así pues, para cada edificio, el método contiene valores más probables para ( $\chi=1$ ), rangos de índices probables para ( $\chi \geq 0.6$ ) y de índices menos probables para ( $0.6 > \chi \geq 0.2$ ); que comparados con la vaguedad de la definición de algunos (o pocos) propuesto por EMS 98 entre 0 y 20%, la metodología de Giovinazzi y Lagomarsino da un valor de pertenencia de  $x=1$  para un rango de 0 a 10% (en la EMS 98), y un valor descendente entre 1 y 0 para valores entre 10% y 20% (en la EMS 98). De igual manera se proyecta valores de pertenencia para los términos de muchos y la mayoría. Véase figura 2.17

**FIGURA 2.17** FUNCIONES DE PERTENENCIA DE UN EDIFICIO A LAS CLASES DE VULNERABILIDAD



Fuente: Giovinazzi y Lagomarsino (2004)

Aplicando la teoría de conjuntos difusos es posible calcular el valor de daño medio  $\mu_D$ , capaz de representar en valores los términos “pocos”, “muchos” y la “mayoría”, en una forma posible de acuerdo a las funciones de pertenencia asociadas a las definiciones cuantitativas. Un ejemplo de lo dicho, aplicando la tabla 2.5, donde la clase de vulnerabilidad B para un sismo de intensidad VI, se tiene, muchos edificios con daño grado 1 y pocos edificios con daño grado 2 (referencia a la figura 2.17), se puede concluir que para que muchos edificios tengan un grado de daño 1, según EMS 98, tendrían un porcentaje de daño entre 20% y el 50%, mientras que el porcentaje de daño 2 es menos del 10%. Los posibles valores de  $\mu_D$ , se definen entre el rango de 10% y el 20% como límite inferior y superior. Datos representados en la tabla 2.6.

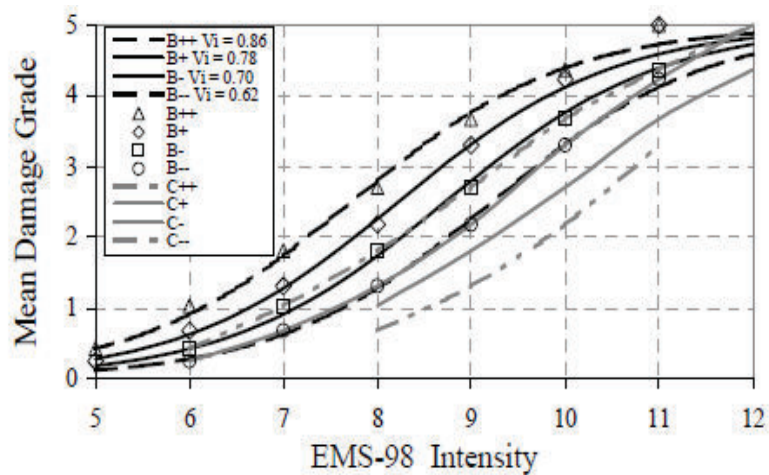
**TABLA 2.6** VALORES MEDIOS DE DAÑO RELACIONADOS CON LOS PORCENTAJES DE DAÑO EN LOS LÍMITES SUPERIOR E INFERIOR

	CLASE DE VULNERABILIDAD "B"					
NIVEL DE DAÑO	1	2	3	4	5	
INTENSIDAD VI	MUCHOS	POCOS				$\mu D$
B+	32	10	1.9	0.2	0	0.68
B-	20	4.3	0.6	0	0	0.46
B++	40.6	20	5.5	0.7	0	1.81
B--	10	1.6	0.2	0	0	0.25

Fuente: Giovinazzi y Lagomarsino (2004)

Al cuantificar cada clase de vulnerabilidad y para los diferentes grados de intensidad, es posible obtener, punto por punto, los límites plausibles y los posibles de daño medio. Al llevar todos estos puntos de clase de vulnerabilidad y de las diferentes intensidades de la escala macrosísmica Europea se puede lograr curvas de vulnerabilidad como las que se indican en la figura 2.18.

**FIGURA 2.18** CURVAS DE INTENSIDAD MACROSÍSMICA Y DAÑO PARA CLASES DE VULNERABILIDAD B Y C.



Fuente: Giovinazzi y Lagomarsino (2004)

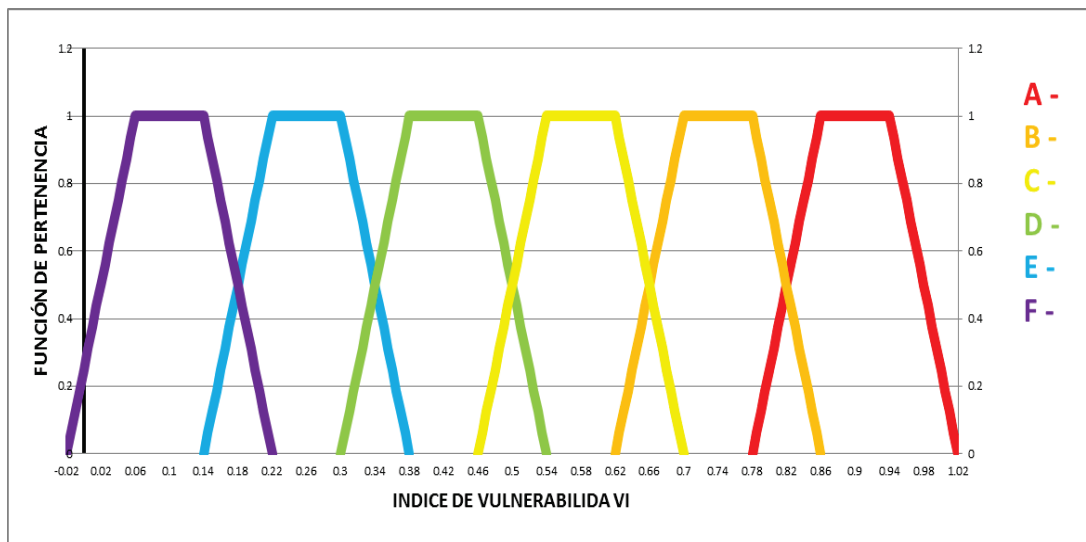
Se puede observar en las curvas de la figura 2.18, que son casi paralelas, esto se debe, a que los edificios se comportan de manera diferente ante cierta intensidad sísmica, y el daño producido también es diferente; pero existe un área que representa la coexistencia entre los mejores edificios de la clase B, con los peores de la clase C.



Sobre la base de estas consideraciones, el Índice vulnerabilidad  $V_i$ , definida dentro de la teoría de conjuntos difusos, se introduce en representación de la pertenencia de un edificio a una clase de vulnerabilidad. Como el valor numérico del índice de vulnerabilidad es arbitrario, solo representa la cuantificación de la medida de la debilidad de un edificio frente a un terremoto, se ha tratado de representar de una forma sencilla con una gama de 0 a 1, teniendo a 0 como el menos vulnerable y 1 el más vulnerable.

De acuerdo a las consideraciones hechas a partir de la figura 2.17, y las curvas de la figura 2.18, de igual manera se puede considerar, mediante la aplicación de conjuntos difusos la aplicación de la clasificación de las vulnerabilidades (EMS 98), con los índices de vulnerabilidad mediante el gráfico 2.19.

**FIGURA 2.19** ÍNDICES DE VULNERABILIDAD Y FUNCIÓN DE PERTENENCIA PARA LAS CLASES DE VULNERABILIDAD SEGÚN EMS 98



Fuente: Giovinazzi y Lagomarsino (2004)

## 2.4.2 EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SEGÚN GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO

Las edificaciones según la Escala Macrosísmica Europea (EMS-98) y la Matriz de probabilidad de daño (DPM), han sido evaluadas para las 6 clases de vulnerabilidad considerados por la escala; es posible hacer mención al modelo directamente tomando referencia a las tipologías constructivas de la tabla de Vulnerabilidad EMS 98 (Tabla 2.2), que contiene una clasificación tipológica representativa de los diversos tipos de edificaciones en los países Europeos. Esto distingue, en primer lugar, a las construcciones en función del material estructural: mampostería, hormigón armado, acero, madera; por lo tanto identifica diferente tipología de construcción para cada categoría.

Por otro lado, se observa que incluso si cada tipo de estructura se caracteriza por una clase de vulnerabilidad que prevalece, es posible encontrar edificios con un mejor o peor comportamiento sísmico, dependiendo de sus características constructivas o estructurales y de otro parámetro capaz de afectar su resistencia a un terremoto, véase tabla 2.7.

**TABLA 2.7** DESIGNACIÓN DE LA VULNERABILIDAD A LAS DIFERENTES TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS.

Tipologías		Tipo de edificio	Clases de Vulnerabilidad						
			A	B	C	D	E	F	
	M1	Roca de cantera							
	M2	Adobe (ladrillo de tierra)							
	M3	Roca simple							
	M4	Roca masiva							
	M5	Roca manufacturada							
	M6	Ladrillo no reforzado, piso de HA							
	M7	Mampostería reforzada o confinada							
Concreto reforzado	RC1	Armazón sin DSR							
	RC2	Armazón con nivel medio de DSR							
	RC3	Armazón con nivel alto de DSR							
	RC4	Pared sin DSR							
	RC5	Paredes con un nivel medio de DSR							
	RC6	Paredes con un nivel alto de DSR							
Acero	S	Estructuras de acero							
Madera	W	Estructuras de madera							
Definición		Clase más probable	DSR= diseño sismoresistente						
		Clase posible							
		Casos excepcionales, menos probables							

Fuente: Giovinazzi y Lagomarsino (2004)

La idea del comportamiento de las edificaciones según la escala EMS-98, se refiere, a que las edificios no solo dependen del comportamiento estructural, sino que se trata de otros factores. Por lo que, Giovinazzi y Lagomarsino

propone la siguiente definición del índice de vulnerabilidad, para cubrir dichos factores

$$\bar{V}_I = V_I^* + \Delta V_R + \Delta V_m \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Dónde:

$\bar{V}_I$  = Índice de vulnerabilidad

$V_I^*$  = Índice de vulnerabilidad tipológica

$\Delta V_R$  = Índice de vulnerabilidad regional

$\Delta V_m$  = Índice de modificadores de comportamiento sísmico

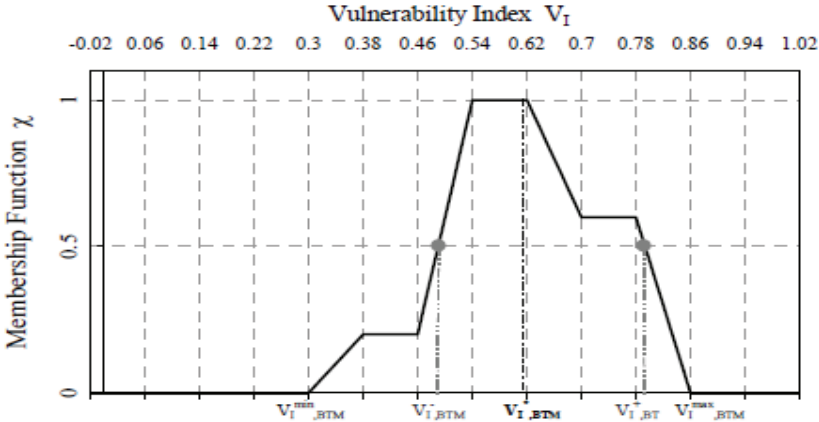
#### 2.4.2.1 El índice de vulnerabilidad tipológica.

El índice de vulnerabilidad tipológica es el valor equivalente a la vulnerabilidad más probable si se realiza una analogía con la tabla de vulnerabilidades propuesta por EMS-98, que describe a través de términos gramaticales las diferentes pertenencias de una tipología a una clase de vulnerabilidad (Tabla 2.2: "más probable", "probable", "menos probable").

Las diferentes pertenencias de cada tipología a las clases de vulnerabilidad, es representado de una manera difusa, al dar un valor de pertenencia a la clase más probable ( $\chi = 1$ ), las clases probables ( $\chi = 0,6$ ) y los casos excepcionales, menos probable ( $\chi = 0,2$ ) (Tabla 2.2). Es así, que es posible definir la función de pertenencia de cada tipología constructiva, como una combinación lineal de la funciones de pertenencia de cada clase de vulnerabilidad, a cada uno considerado con su propio grado de pertenencias. Por ejemplo, se muestra la función de pertenencia de mampostería de roca masiva (M4) (Fig. 2.11) y así definido:

$$\chi_{M_4}(V_I) = \chi_C(V_I) + 0.6 \cdot \chi_B(V_I) + 0.2 \cdot \chi_D(V_I) \quad (\text{Ec.2.9})$$

**FIGURA 2.20** VALORES DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA LA FUNCIÓN DE PERTENENCIA DE LA TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA ROCA MASIVA



Fuente: Giovinazzi y Lagomarsino (2004)

De la figura 2.20 se tiene cinco valores representativos de  $V_I$  que se obtuvieron a través de un proceso de defusificación propuesto por Ross (Ross 1995), referidos a los términos gramaticales más probable, probable y menos probable de la tabla 2.7 modificada por Giovinazzi y Lagomarsino de la EMS-98; este define como el valor más probable para un tipo de edificio específico a  $V_I^*$ ; que se calcula como el valor medio de la función de pertenencia entre los valores posibles (correspondientes a la tabla 2.7) representados por las vulnerabilidades  $V_I^-$  y  $V_I^+$ , pero que también corresponde al valor medio a los valores extremos menos probables  $V_I^{\min}$  y  $V_I^{\max}$ , de los que se puede apreciar que el valor del índice de vulnerabilidad final tiene que cumplir con la ecuación 2.10, cualquiera que sea los valores de los índices de los modificadores de comportamiento y el índice del factor regional.

$$\text{Max.}(V_I; V_{I\min}) \leq V_I \leq \text{Min}(V_I; V_{I\max.}) \quad (\text{Ec.2.10})$$

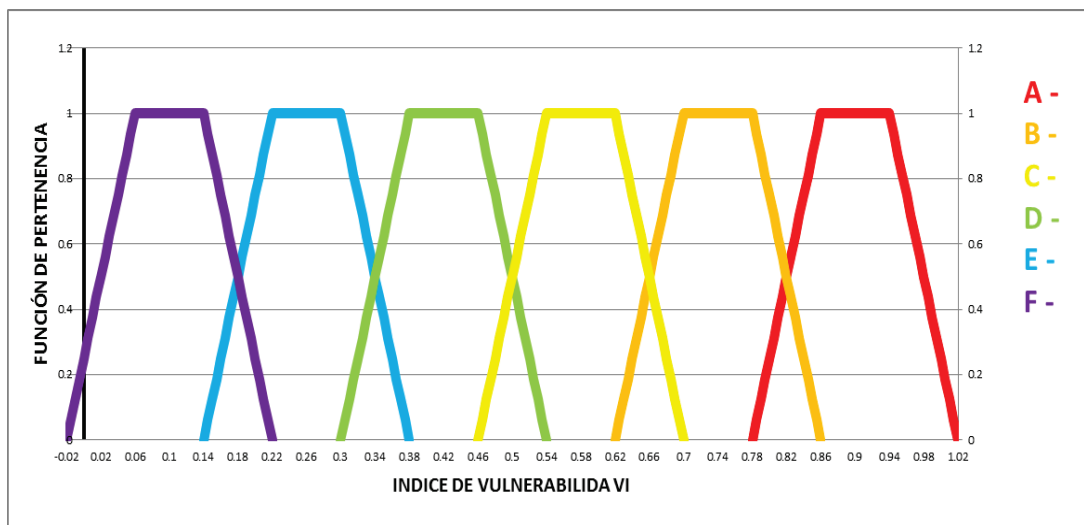
Los valores propuestos por Giovinazzi y Lagomarsino para todos las tipologías se presentan en la tabla 2.8, a continuación:

**TABLA 2.8** VALORES DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA LAS TIPOLOGÍAS DE EDIFICIOS.

Tipologías		Tipo de edificios	Clases de vulnerabilidad				
			$V_{\min.}$	$V_{i-}$	$V_{i+}$	$V_{i+}$	$V_{\max.}$
Mampostería	M1	Roca de cantera	0.62	0.81	0.873	0.98	1.02
	M2	Adobe (ladrillo de tierra)	0.62	0.687	0.84	0.98	1.02
	M3	Roca simple	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	M4	Roca masiva	0.3	0.49	0.616	0.793	0.86
	M5	no reforzada (ladrillo viejo)	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	M6	Ladrillo no reforzado, piso de HA	0.3	0.49	0.616	0.79	0.86
	M7	Reforzado o Confinado	0.14	0.33	0.451	0.633	0.7
Concreto Reforzado	RC1	Armazón sin diseño sismoresistente (DSR)	0.3	0.49	0.644	0.8	1.02
	RC2	Armazón con un nivel moderado de DSR	0.14	0.33	0.484	0.64	0.86
	RC3	Armazón con alto nivel de DSR	-0.02	0.17	0.324	0.48	0.7
	RC4	Paredes sin DSR	0.3	0.367	0.544	0.67	0.86
	RC5	Paredes con un nivel moderado de DSR	0.14	0.21	0.384	0.51	0.7
	RC6	Paredes con un nivel alto de DSR	-0.02	0.047	0.224	0.35	0.54
Acero	S	Estructuras de acero	-0.02	0.17	0.324	0.48	0.7
Madera	W	Estructuras de madera	0.14	0.207	0.447	0.64	0.86

Fuente: Modificado / Giovinazzi y Lagomarsino (2004)

**FIGURA 2.21** ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA LA LAS FUNCIONES DE PERTENENCIAS DE LAS CLASES DE VULNERABILIDAD



Fuente: Giovinazzi y Lagomarsino (2004)

### 2.4.2.2 Índice de modificadores de comportamiento sísmico

Son valores propuestos para bonificar o penalizar el índice de vulnerabilidad de los edificios que no se ha previsto en su diseño y construcción, requerimientos para mejorar el comportamiento sísmico.

La identificación de los factores modificadores de comportamiento, se ha hecho empíricamente sobre la base de la observación de un patrón típico de daños. Las puntuaciones de modificación de vulnerabilidad se atribuyen a través del juicio de expertos, una calibración más adecuada se base en la vulnerabilidad y los daños de los datos recogidos después de los terremotos.

Si a un grupo de edificaciones, que pertenece a una cierta tipología, se considera, el factor modificador  $\Delta V_m$ , este se evalúa de la siguiente manera:

$$\Delta V_m = \sum_k r_k \cdot V_{m,k} \quad (\text{Ec. 2.11})$$

Dónde:  $r_k$  es la relación del edificio afectado por el  $k$  modificador de comportamiento caracterizado por una puntuación  $V_{m,k}$ .

El Factor de Comportamiento Modificador “ $\Delta V_m$ ” es simplemente la suma de las puntuaciones  $V_{m,k}$  para los modificadores de conducta cuando se hace referencia a una edificación con cierta tipología puntual.

En la Tabla 2.9 se proponen factores modificadores de comportamiento y las calificaciones correspondientes, para mampostería y edificios de hormigón armado.

**TABLA 2.9** FACTORES MODIFICADORES SÍSMICOS PARA EDIFICIOS DE MAMPOSTERÍA Y HORMIGÓN ARMADO.

MODIFICADORES DEL INDICE DE VULNERABILIDAD						
COMPORTAMIENTO MODIFICADOR	MAMPOSTERÍA	Vmk	HORMIGON REFORZADO NIVEL DSR	bajo Vmk	medio Vmk	alto Vmk
ESTADO DE PREVENSIÓN	BUENO	-0.04	BUENO			
	MALO	0.04	MALO	0.04	0.02	0
NUMERO DE PISOS	BAJO(1 a 2)	-0.08	BAJO(1 a 2)	-0.02	-0.02	-0.02
	MEDIO(3,4o5)	0	MEDIO(3,4o5)	0	0	0
	ALTO (6 O MÁS)	(+0.08)	ALTO (6 O más)	0.04	0.04	0.04
SISTEMA ESTRUCTURAL	ESPEJOR PARED	-0.04				
	DISTANCIA PARED					
	CONEXIÓN PARED	0.04				
IRREGULARIDAD EN PLANTA	GEOMETRÍA	0.04	GEOMETRÍA	0.04	0.02	0
	DISTRIBUCIÓN MASA	0.04	DISTRIBUCIÓN MASA	0.02	0.01	0
IRREGULARIDAD VERTICAL	GEOMETRÍA		GEOMETRÍA	0.04	0.02	0
	DISTRIBUCIÓN MASA	0.04	DISTRIBUCIÓN MASA	0.04	0.02	0
PISOS SUPERPUSTOS		0.04				
TECHO	PESO EMPUJE Y CONEXIÓN	0.04				
INTERVENCIÓN CON REEQUIPAMIENTO		-0.08				
		0.08				
DISPOSITIVOS ANTISISMICOS	BARBACANA ARCO DE LAMINA CONTRAFUERTE	-0.04				
POSICIÓN DEL EDIFICIO	MEDIO	-0.04	INSUFICIENTE ARTICULACIONES SISMICAS	0.04	0	0
	ESQUINA	0.04				
	ENCABEZADO	0.06				
ELEVACIÓN DEL EDIFICIO	PISOS ESCALONADOS	0.04				
	EDIFICIOS CON DIFERENTES ALTURAS	0.04++0.04				
CIMENTACIÓN	DIFERENTES NIVELES DE CIMENTACIÓN	0.04	VIGA	-0.04	0	0
			VIGAS CONECTADAS	0	0	0
			AISLAMIENTO DE PIE	0.04	0	0
			COLUMNAS CORTAS	0.02	0.01	0
			ARCOS DE VENTANAS	0.04	0.02	0

Fuente: modificado/Giovinazzi y Lagomarsino (2004)

Los valores que se presentan en la tabla de los factores de modificación sísmica del índice de vulnerabilidad, varían entre -0.08 a 0.08, para las dos tipologías constructivas (mampostería, hormigón armado); estos valores han sido calculados y verificados basándose en terremotos pasados. Giovinazzi y Lagomarsino ha propuesto estos modificadores para bonificar o penalizar los criterios empleados en el diseño y construcción.

Así se tiene una descripción de las diferentes características requeridas en la tabla 2.9, para la calificación de los modificadores empleados en mampostería, estos son:

- El estado de prevención (Bueno, Malo), hace referencia al estado de la edificación, en cuanto se refiere al mantenimiento dado a través de los años, que refleja el aspecto en el que se encuentra en el momento de realizar el levantamiento de datos en campo.
- El número de pisos, cuando las edificaciones son de baja altura (1, 2 plantas), los factores modificadores bonifican a edificaciones de baja altura ya que pueden soportar mejor cargas laterales, que las edificaciones de más de dos pisos.
- El sistema estructural hace referencia: al espesor de pared, distancia de pared, conexión de pared, bonifica el índice de vulnerabilidad cuando se trata de paredes de adobe gruesas porque pueden soportar en cierta medida cargas laterales, como también penaliza la falta de conexión entre paredes que se percibe como una falta de solides de la edificación
- La irregularidad en planta, hace referencia a la geometría (tipo: L, C, E, etc.) y distribución de masa, y son características importantes en el diseño de edificaciones; edificios con forma irregular en geométricas y en peso soportaran cargas laterales, pero las cargas pueden producir torsión en planta, y efectos de péndulo invertido.
- La irregularidad vertical, se refiere a edificios con voladizos grandes comparados con la dimensión de la planta, en cuanto a peso se puede referir a voladizos pesados o concentración de peso no regular.
- Los pisos superpuestos, se refiere a edificios con plantas sin conexión alguna.
- El techo, en las construcciones de mampostería de adobe, roca masiva, o bahareque, solo se encuentra techos de estructura de madera y cubierta de teja, con poca o ninguna conexión, lo que implica penalización en el índice de vulnerabilidad.
- La Intervención con reequipamiento, se puede considerar a las edificaciones de mampostería, que han sido intervenidas en su



estructura con materiales modernos que garantizan mayor soporte a carga lateral.

- Los dispositivos antisísmicos, elementos como: barbacanas, arcos de lámina y contrafuertes que se encuentran en las edificaciones, ayudan a soportar con mayor fiabilidad cargas sísmicas.
- La posición del edificio, se refiere a la ubicación del edificio dentro del conjunto de edificios en un barrio, cuando se encuentra en el medio puede soportar mejor cargas sísmicas, debido a que se pueden comportar los edificios adyacentes como uno solo, lo cual está bonificado, cuando el edificio está encabezando o es esquinero en una serie de edificios, implica que frente a una carga sísmica va a trabajar independiente uno de sus lados, lo que reduce la cualidad de soportar cargas sísmicas.
- La elevación del edificio, al referirse a pisos escalonados, se puede considerar como irregularidad vertical, lo que implica una irregularidad en peso, lo cual está penalizado por la poca aceptabilidad para soportar carga lateral. La diferencia de alturas en los edificios contiguos, también están penalizados, ya que en un evento sísmico se tienen diferentes desplazamientos, lo que es perjudicial debido: en unos casos al golpeteo entre los edificios, y en otros casos a impedimento de los desplazamientos requeridos para cada piso.
- La cimentación, está penaliza cuando se puede evidenciar edificios con diferentes alturas de cimentación, se puede dar en lugares con cierta pendiente.

De igual manera se tiene una descripción de las diferentes características requeridas en la tabla 2.9, para la calificación de los modificadores empleados en en hormigón armado para sísmicos de bajo, moderado y alto nivel de diseño sismoresistente, estos son:

- El estado de prevención de la edificación, esta penaliza el mal estado de la edificación, caracterizado por el estado de las estructuras (vigas,

columnas), pero para la evaluación se debe conocer el grado de diseño sismoresistente.

- El número de pisos, para edificaciones de 1 y 2 pisos en hormigón armado, se bonifica el índice de vulnerabilidad para todos los 3 grados de diseño sismoresistente (bajo, medio y alto); pero para edificios de 6 o más pisos se penaliza el índice de vulnerabilidad, en todos los grados de diseño sismoresistente, debido a su peso y esbeltez.
- La irregularidad vertical y en planta, es una de las características más visibles de un edificio, lo cual ayuda a la vulnerabilidad del edificio, teniendo: irregularidad geométrica en planta de la forma de: L, C, A, etc, y vertical, siendo esta tipo: T o L invertida.
- La insuficientes articulaciones sísmicas, está penalizado en todos los edificios que no presentan un diseño medio o alto sismoresistente, en el que garanticen la presencia de articulaciones sísmicas.
- La cimentación, cuando se conoce el tipo de cimentación, se valorará, si se refiere a una viga, vigas conectadas y zapata aislada, todo depende del nivel de diseño sismoresistente, en el caso que se hace referencia, para un nivel bajo de sismoresistencia se penaliza la cimentación aislada.
- Las columnas cortas en todos los casos serán penalizadas; esta son de fácil apreciación en las edificaciones, y en los edificios se tienen sobre todo en los altillos (altos robados).
- Los arco de ventanas, también de fácil inspección en campo, se penaliza para edificios con bajo y medio diseño sismoresistente, debido al desplazamiento de los extremos del arco frente a cargas sísmicas.

#### 2.4.2.3 Índice de vulnerabilidad regional

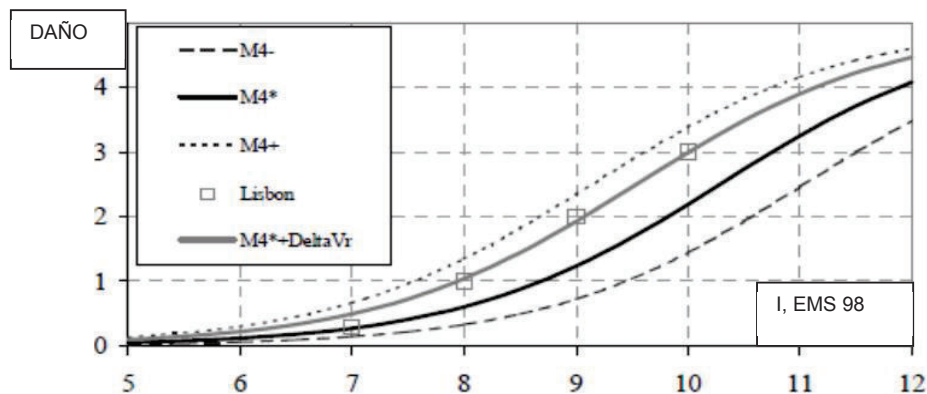
El factor de vulnerabilidad regional  $\Delta V_R$ , es un valor que permite hacer consideraciones regionales, con la finalidad de modificar los niveles de vulnerabilidad asociados a las tipologías estructurales. Este factor permite considerar las diferencias entre edificios que han sido clasificados en la misma tipología estructural, pero que fueron construidos con materiales y

procedimientos diferentes, que se estima influyen en el valor de su vulnerabilidad sísmica. Para determinar el valor del factor de vulnerabilidad regional se recomienda tomar en cuenta la opinión de expertos o datos disponibles de terremotos históricos.

### 2.4.3 GRADO DE DAÑO DEFINIDO POR GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO

Luego de salvar la vaguedad de la forma gramatical de presentar el daño en las clases de vulnerabilidad según la EMS-98 y de proporcionar de forma completa la matriz de daño (DPM), mediante la evaluación de terremotos ocurridos, se procede a graficar los datos de daño producido vs. Intensidades, presentándose las curvas de vulnerabilidad en la figura 2.22.

**FIGURA 2.22** CURVA DE VULNERABILIDAD PARA MAMPOSTERIA,



Fuente: Giovinazzi y Lagomarsino

A partir de las curvas obtenidas, y para la aplicación de la metodología de Giovinazzi y Lagomarsino, es particularmente útil la definición de una expresión capaz de interpolar las curvas de la Figura 2.15; entre el grado de daño medio ( $\mu_D$ ), la intensidad macrosísmica "I", y el índice de vulnerabilidad " $V_I$ ", obteniéndose la ecuación 2.12 que abarca de la mejor manera las definiciones y postulaciones, hechas en torno a la aplicación de funciones de pertenencia y conjuntos difusos.

$$u_D = 2.5 \left[ 1 + \tanh \left( \frac{I + 6.25V_I - 13.1}{2.3} \right) \right] \quad (\text{Ec.2.12})$$

Dónde:  $\mu_D$ : Índice medio de daño

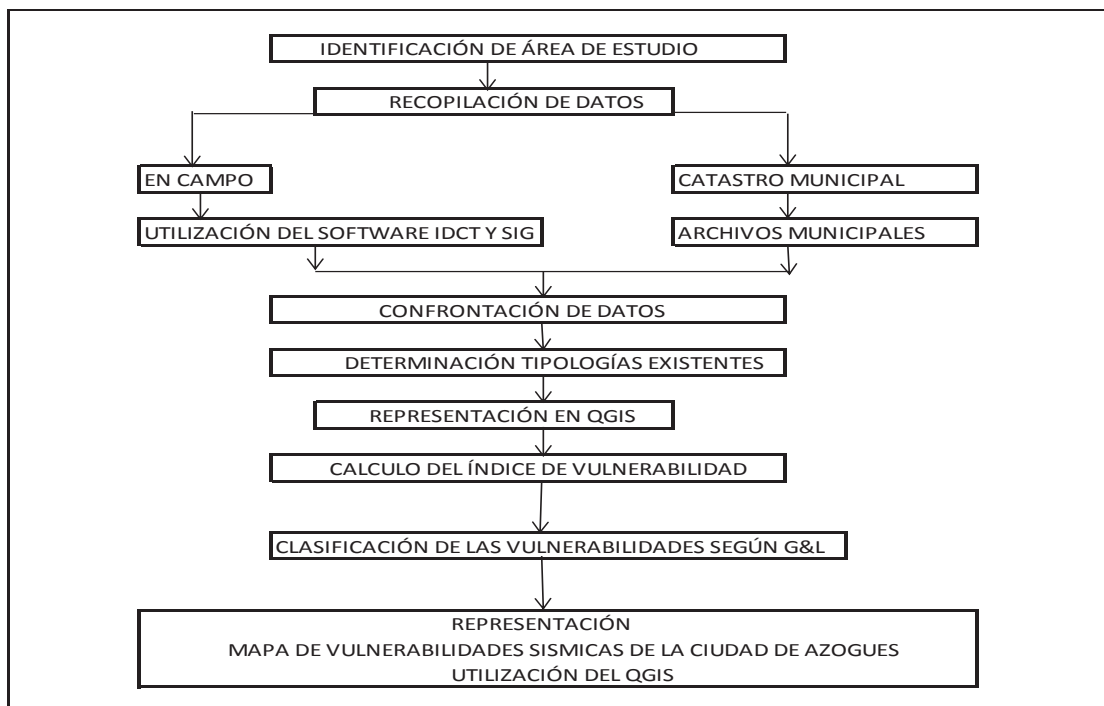
$I$ : Intensidad sísmica según la EMS 98

$V_I$ : Índice de vulnerabilidad

## 2.5 ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA USADA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA

En la figura 2.23, se presenta un esquema de los pasos necesarios para la aplicación de la metodología de Giovinazzi y Lagomarsino para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la Ciudad de Azogues.

**FIGURA 2.23** ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO.



Elaboración: Neptalí Romer

## CAPÍTULO 3

### DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

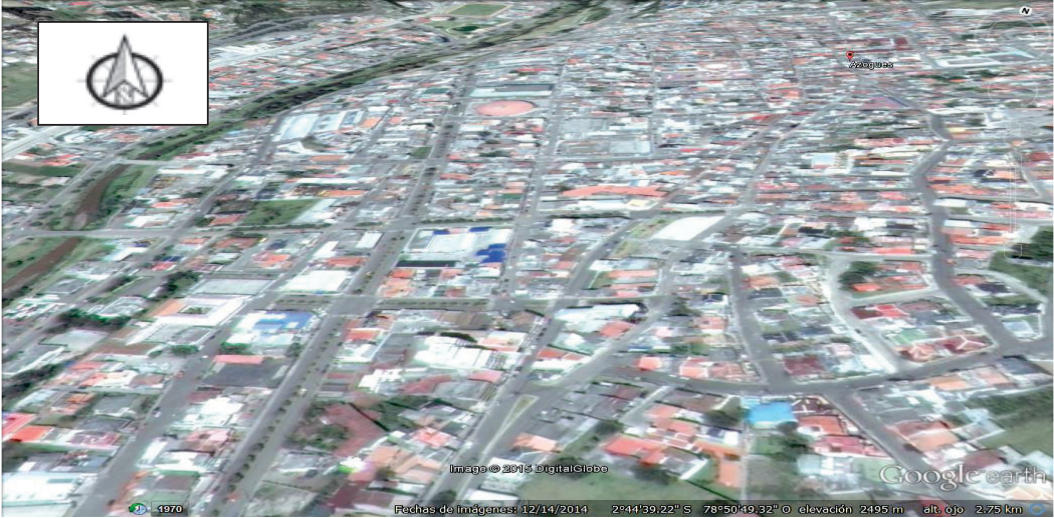
Azogues se extiende en la zona centro sur del Ecuador, en la región andina, y es la capital de la provincia del Cañar; los límites son: al norte con la provincia de Chimborazo, al oeste con la provincia del Guayas, al sur con la provincia del Azuay, y al este con la provincia de Morona Santiago; Cañar, está a su vez dividida en siete cantones siendo estos: Azogues, Biblián, Cañar, Delég, El Tambo, Suscal y La Troncal. Azogues, como la capital de la provincia es el centro urbano administrativo y político de la localidad. Su extensión total es de 613 Km<sup>2</sup> (Catastro municipal). A pesar de ser la capital provincial, se trata de una ciudad pequeña de no más de 10750 edificaciones en la zona urbana.

Zona emblemática es el centro urbano de la Ciudad, con un importante valor histórico, arquitectónico y cultura. El proyecto urbanístico final de la zona central de la ciudad, fue aprobado en 1984; durante el período comprendido entre 1990 y 2000, se identifica como el de mayor crecimiento urbanístico, se construyeron casi 2000 edificaciones (Catastro Municipal, 2015).

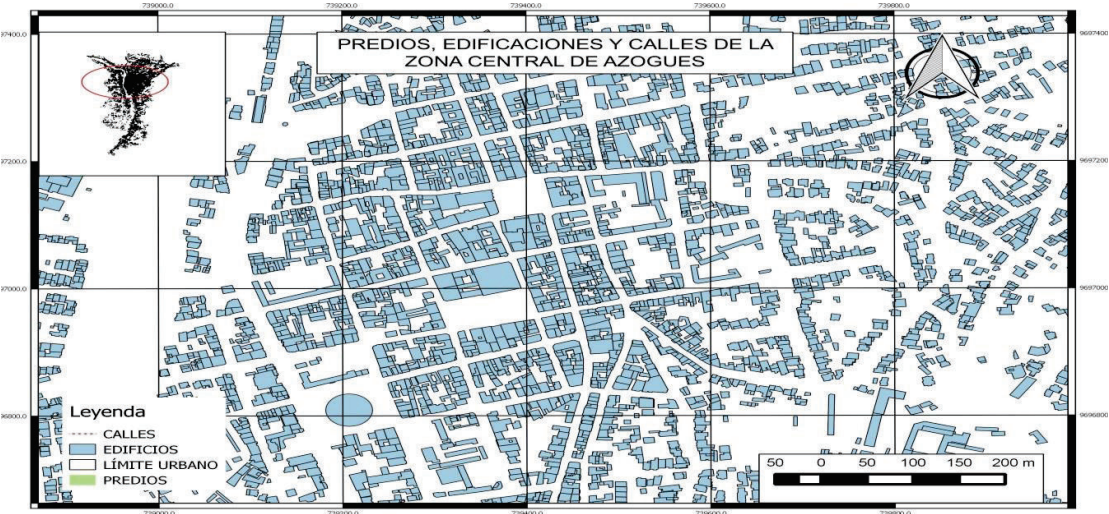
Las edificaciones de esta zona se encuentran incorporadas en conjuntos llamados manzanas (Figura 3.1). Desde 1994, Azogues está dividida en 7 localidades que se denominan zona, siendo estas: Central, Chacapamba, Uchupucúm, Bayas, La Playa, Bellavista y Charasol.

El estudio involucra la zona central, donde la población y edificación son densas, como también, las zonas o barrios circundantes, donde la población y edificaciones son dispersas.

**FIGURA 3.1** ÁREA URBANA DE AZOGUES CON SUS MANZANAS DEFINIDAS IRREGULARES



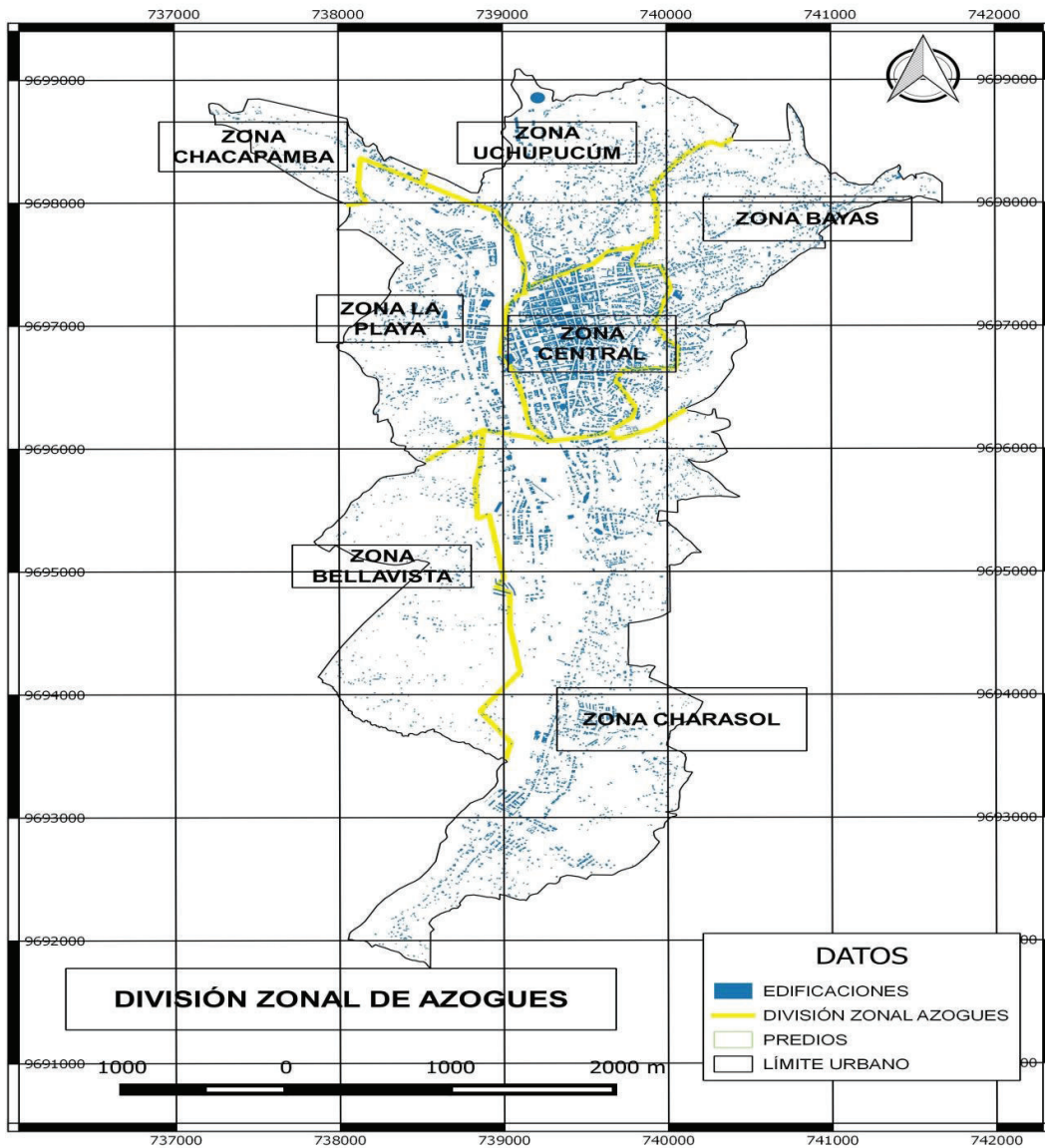
Fuente: Google Map



Fuente: Catastro Municipal de Azogues

A pesar que los barrios, como: Charasol, Bayas, Bellavista y Chacapamba, no presentan gran densidad poblacional y constructiva, se incluye en el estudio, debido a que pertenecen a la zona urbana de Azogues, y son los sectores de mayor crecimiento en los últimos años. En la Figura 3.2 puede observarse la división política administrativa de la ciudad.

**FIGURA 3.2** DIVISIÓN ZONAL DE LA CIUDAD DE AZOGUES.



Fuente: Unidad de catastro municipal.

### 3.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.

Azogues está ubicada geográficamente a  $2^{\circ} 40'00''$  de latitud sur y  $78^{\circ} 59' 42''$  de longitud oeste. Tiene una superficie de  $1.550 \text{ Km}^2$ . La Ciudad y el Cantón poseen un clima sano y fortificante con temperaturas que varían entre 13 y 16 grados centígrados. El cantón está regado por numerosos ríos y riachuelos y su producción agrícola es variada.

Los límites urbanos de Azogues se extiende desde la colina de Tocanchón y Uchupucúm al Norte, hasta los linderos de la Parroquia Borrero en el Sur; y desde Chaquimayllana al Este hasta las colinas de Shishiquín, Bolivia y la Concordia por el Occidente. El plano de la ciudad está formado por varias manzanas irregulares, que se asientan sobre un terreno desigual, que por oriente y occidente confluyen al río Burgay. La Ciudad está cruzada por varias calles que corren de norte a sur y que se llama longitudinales o preferenciales, y las que van de oriente a occidente que se llaman transversales o secundarias.

La hoya del Cañar está encerrada entre el macizo que forma el nudo del Azuay y el ramal Churiquina-Buerán; Es una hoya pequeña y alta que no linda con la cordillera oriental. Al sur y al este, la encierran las montañas de Cancay, Buerán y los cerros de Molobog. Las figuras 3.3 a continuación, dan la ubicación geográfica de la ciudad de Azogues.

**FIGURA. 3.3** UBICACIÓN GEOGRAFICA DEL LUGAR DE ESTUDIO



Modificado: Neptalí Romero



### **3.3 HISTORIAL DE SISMOS.**

#### **3.3.1 SISMICIDAD EN LA ZONA**

El daño final de las edificaciones producto de un terremoto, depende como se dijo anteriormente: de la distancia epicentral, movimiento del suelo y vulnerabilidad de las estructuras entre otros parámetros. Obviamente, la ubicación de las estructuras en sitio sísmicamente peligroso, diseñadas y construidas con metodologías que no se rigen por códigos vigentes, aumenta la probabilidad de daños.

La irregularidad y la discontinuidad de la corteza terrestre en varias partes del callejón interandino Ecuatoriano, es producto directo de la tectónica de placas, que es reconocida mundialmente como la mayor fuente de terremotos. (“El movimiento relativo de la corteza terrestre es debido a que se encuentra sobre un estrato semilíquido” (Tapia,2002)).

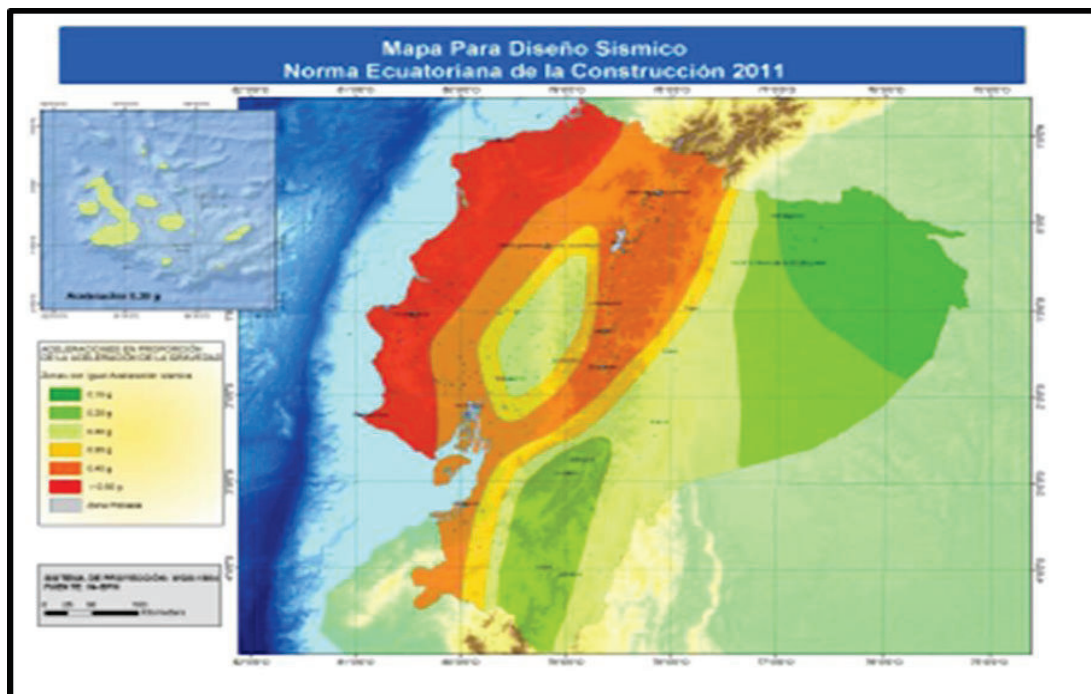
La acumulación de la energía para vencer las asperezas entre las capas cada cierto tiempo, con lleva a una liberación brusca de energía, conocida como sismo. La zona andina de América del Sur, donde se encuentra ubicada la ciudad de Azogues, está dentro de esta zona.

Los sismos de gran magnitud no son generados únicamente por el movimiento relativo de las placas tectónicas. Las discontinuidades en la corteza, llamadas fallas, generan también sismos importantes y sus consecuencias pueden ser catastróficas dependiendo de la distancia de la falla a zonas pobladas. Existen una gran cantidad de fallas siendo estas: fallas a la vista, otras ocultas, fallas activas y fallas inactivas, etc. La combinación entre un fenómeno de subducción y alguna de las fallas ya mencionadas, puede dar como resultado una catástrofe de proporciones no calculables.

De lo dicho en los párrafos anteriores, se concluye que: por la geografía natural en la que se emplaza la ciudad de Azogues, y por el crecimiento urbano hacia las zonas altas, que ha sido explotado desde el punto de vista arquitectónico, debido a la belleza de su vista (que debe responder a las condiciones ingenieriles de sitios seguros); combinado con la topografía de la ubicación de la Ciudad, que converge en forma descendente hasta las orillas del río Burgay, hace que la mayoría de las construcciones presenten una tipología constructiva a desnivel, la que claramente conduce a una cierta vulnerabilidad de sus edificaciones, que puede ser afectadas con la presencia de un sismo.

Según la norma sismoresistente vigente, Azogues se encuentra en una zona sísmica tipo II, con un factor de zona de 0.25g. Cabe aclarar que el Ecuador se divide en seis zonas sísmicas, caracterizada por el valor del factor de zona Z, ver figura 3.4.

**FIGURA 3.4** MAPA DE INTENSIDADES SÍSMICAS DEL ECUADOR



Fuente: Código Ecuatoriano de la Construcción NEC-2011

Todo el territorio Ecuatoriano está catalogado con amenaza sísmica alta, con excepción del nororiente que presenta una amenaza sísmica intermedia y del litoral ecuatoriano que presenta una amenaza sísmica muy alta.

### **3.3.2 PELIGROSIDAD SÍSMICA DE LA REGIÓN**

La peligrosidad sísmica se expresa como cualquier fenómeno físico que se puede esperar en una región asociada a un terremoto, pudiendo ser este: movimiento del suelo, falla del terreno, licuefacción y tsunamis.

Este fenómeno se da en un determinado emplazamiento y durante un periodo de tiempo dado. De manera similar Aguilar (2011) define el peligro sísmico como “la propiedad de un sismo que puede causar daño o pérdida”.

Según Barbat (2007), “el terremoto es una acción sísmica que involucra un conjunto de variables, las cuales pueden ser definidas desde un punto de vista probabilista o determinista”. El escenario probabilista utiliza: la sismicidad, las zonas sismo-tectónicas y la atenuación del movimiento del suelo, asociados a diferentes periodos de retorno o probabilidad. Por ejemplo, las prescripciones de las normas sísmicas NEC-2011 para el sismo de diseño, usa típicamente la acción esperada con una probabilidad de excedencia del 10 % en 50 años; que corresponde a un período de recurrencia de 475 años, ver figura 3.5.

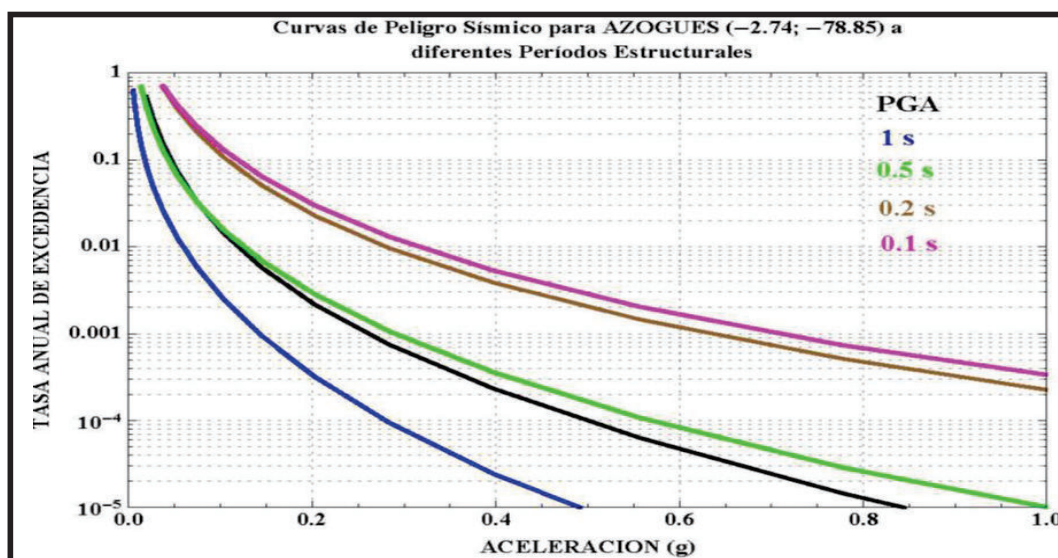
Un escenario determinista se basa en la posibilidad que un sismo histórico máximo, ofrezca datos suficientes del movimiento del suelo para la región de estudio.

Generalmente los valores del movimiento del suelo utilizados se refieren a un suelo de tipo medio, pero cambios en las condiciones del suelo o variaciones topográficas entre otros, pueden variar el valor de éste. Estas modificaciones locales del movimiento del suelo implican variaciones en los efectos que los terremotos producen sobre las edificaciones, personas y las infraestructuras.

Los parámetros más representativos del movimiento del suelo, en función del cálculo de la peligrosidad sísmica son: Intensidad macrosísmica (I), aceleración máxima del suelo (PGA) y la aceleración espectral (SA); que son útiles pero insuficiente, debido a la complejidad del daño observado cuando ha ocurrido un terremoto.

Para la evaluación del daño sísmico en la ciudad, se presenta dos escenarios sísmicos. Uno de ellos se determina mediante métodos deterministas y el otro mediante técnicas probabilistas; definidos mediante intensidades macrosísmicas EMS-98 (Grünthal 1998).

**FIGURA 3.5** CURVAS DE PELIGRO SISMICO PARA AZOGUES



Fuente: NEC-2011. Capítulo Diseño sismo resistente.

### 3.3.2.1 Sismicidad en la Ciudad de Azogues

Gracias a la red de monitoreo sísmico ecuatoriano (RENSIG), se puede registrar y caracterizar los eventos sísmicos en Ecuador; dicha red está operada y controlada por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, desde los años setenta. A partir de 1990 provee soluciones de adquisición de datos para terremotos, su modernización y ampliación inició en el año 2008 con el fin de contar con una red que cubra todo el Ecuador y permita una mejor caracterización de los parámetros sísmicos.

Dentro del Catálogo Sísmico Ecuatoriano proporcionado por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional se tiene registros de terremotos en la ciudad de Azogues.

La siguiente información de los sismos en la ciudad de Azogues, fue registrada por la Red Nacional de Sismógrafos y procesada en el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. En la tabla 3.1 se presentan los sismos de magnitud mayor o igual a 4 en la escala de Richter.

**TABLA 3.1 REGISTRO SÍSMICOS EN LA CIUDAD DE AZOGUES DESDE 1990.**

FECHA	TIEMPO	LAT.	LONG.	PROF.	Mag.	DIST.	AZIMUT	CIUDAD
1990/03/09	08:11:14	2.85S	78.68W	184.5	4.6	22.19	128.3°	AZOGUES
1990/05/04	05:29:19	2.82S	78.80W	0.0	4.0	10.99	155.6°	AZOGUES
1990/06/14	19:51:01	2.82S	78.41W	15.7	4.2	48.58	101.4°	AZOGUES
1991/12/01	00:47:03	2.23S	78.98W	28.0	4.5	57.59	344.4°	AZOGUES
1993/05/09	16:04:43	2.18S	79.06W	17.3	4.4	66.05	338.0°	AZOGUES
1993/09/09	18:29:30	2.52S	79.02W	95.0	4.0	30.90	318.5°	AZOGUES
1994/03/21	09:27:33	2.90S	78.76W	65.1	4.4	20.54	153.4°	AZOGUES
1995/06/17	13:44:14	2.36S	79.05W	47.0	4.3	47.37	331.0°	AZOGUES
1995/09/24	21:48:03	2.52S	79.18W	95.0	4.7	44.59	300.9°	AZOGUES
1995/10/03	03:29:07	3.03S	78.59W	16.0	4.6	43.66	139.7°	AZOGUES
1995/10/03	03:36:22	2.97S	78.28W	16.0	4.3	68.03	113.4°	AZOGUES
1995/10/03	03:42:17	3.01S	78.42W	15.0	4.4	55.74	123.4°	AZOGUES
1995/10/03	03:49:24	2.81S	78.54W	16.0	4.5	34.73	105.2°	AZOGUES
1995/10/03	03:57:15	2.78S	78.58W	16.0	4.4	29.15	101.2°	AZOGUES
1995/10/03	04:15:11	2.81S	78.42W	16.0	4.5	47.61	100.9°	AZOGUES
1995/10/03	04:33:10	3.09S	78.65W	50.0	4.6	44.86	152.4°	AZOGUES
1995/10/03	05:20:28	2.63S	78.66W	16.0	4.8	22.77	60.5°	AZOGUES
1995/10/03	06:08:07	2.67S	78.68W	16.3	4.4	19.45	69.7°	AZOGUES
1995/10/03	08:43:06	2.74S	78.59W	16.0	4.2	27.48	91.6°	AZOGUES
1995/10/03	09:31:05	2.61S	78.85W	15.0	4.9	13.81	356.8°	AZOGUES
1995/10/03	14:02:06	3.16S	78.14W	0.0	4.4	91.94	121.7°	AZOGUES
1995/10/03	15:08:11	2.99S	78.28W	11.0	4.6	68.45	115.2°	AZOGUES
1995/10/06	00:14:21	3.11S	78.29W	7.3	5.0	74.40	124.3°	AZOGUES
1995/10/19	00:03:11	2.54S	78.89W	6.2	4.2	21.43	345.9°	AZOGUES

TABLA 3.1 CONTINUACIÓN

1995/10/19	01:39:47	2.52S	78.87W	7.6	4.3	23.54	350.7°	AZOGUES
1995/10/23	03:46:18	2.86S	78.36W	2.9	4.8	55.07	105.7°	AZOGUES
1995/11/20	19:55:01	2.81S	78.65W	6.8	4.6	22.89	112.9°	AZOGUES
1996/01/11	14:40:28	3.04S	78.38W	4.0	4.3	61.43	123.6°	AZOGUES
1996/01/26	10:56:05	3.27S	78.13W	9.8	4.7	99.58	127.4°	AZOGUES
1996/01/29	21:02:07	2.29S	78.80W	46.0	4.4	48.87	5.5°	AZOGUES
1996/04/25	19:27:10	3.04S	78.27W	0.0	4.1	71.41	118.5°	AZOGUES
1996/05/25	04:07:12	2.93S	78.81W	23.1	4.4	22.39	170.9°	AZOGUES
1996/09/07	10:30:07	2.53S	78.60W	108.6	4.0	34.60	49.3°	AZOGUES
1996/09/24	00:24:02	2.69S	78.42W	26.0	4.3	46.46	84.4°	AZOGUES
1996/10/11	15:55:34	2.72S	78.46W	0.0	4.0	41.70	89.1°	AZOGUES
1996/10/27	02:45:00	3.05S	78.30W	9.3	4.7	69.23	120.4°	AZOGUES
1996/11/15	00:58:28	2.72S	78.47W	5.0	4.2	40.76	88.8°	AZOGUES
1997/02/20	22:02:23	2.61S	78.60W	12.0	4.1	29.42	62.6°	AZOGUES
1997/05/03	01:36:06	2.30S	78.65W	132.5	4.0	52.54	23.4°	AZOGUES
1997/06/01	05:14:03	2.86S	78.87W	5.0	4.1	14.31	192.6°	AZOGUES
1997/08/19	12:31:27	3.08S	78.20W	5.0	4.1	80.90	118.5°	AZOGUES
1997/09/20	18:47:07	3.18S	78.35W	12.0	4.0	73.46	132.4°	AZOGUES
1997/10/31	04:18:08	3.02S	78.27W	12.0	4.2	71.42	117.1°	AZOGUES
1997/11/05	10:38:07	2.37S	78.94W	101.9	4.7	41.33	343.8°	AZOGUES
1998/01/30	10:46:24	2.33S	79.01W	5.0	4.0	48.40	336.9°	AZOGUES
1998/05/21	02:27:02	2.25S	79.11W	7.0	4.7	61.27	330.7°	AZOGUES
1998/08/11	14:04:10	2.88S	78.69W	82.4	4.2	23.26	135.3°	AZOGUES
1998/08/23	15:28:19	3.07S	78.22W	10.0	4.0	78.39	119.2°	AZOGUES
1998/10/27	03:34:12	2.35S	79.25W	48.5	4.0	62.63	313.0°	AZOGUES
1998/12/07	12:43:43	2.70S	78.54W	97.8	4.3	33.14	84.1°	AZOGUES
1999/01/01	00:56:01	2.38S	78.92W	5.0	4.0	40.01	346.9°	AZOGUES
1999/03/03	15:20:24	3.47S	77.93W	120.0	5.1	130.11	129.0°	AZOGUES
1999/09/04	12:39:14	2.23S	78.81W	20.0	4.3	56.10	3.0°	AZOGUES
1999/10/22	14:29:26	2.32S	78.75W	10.0	4.4	46.82	12.8°	AZOGUES
2001/02/19	03:10:20	2.62S	78.99W	115.5	4.5	21.22	306.9°	AZOGUES
2001/05/04	15:43:03	2.40S	78.75W	71.3	4.6	37.52	15.1°	AZOGUES
2001/05/15	16:15:04	2.66S	79.02W	71.9	4.1	21.51	291.9°	AZOGUES
2001/06/04	07:48:14	3.32S	78.25W	50.8	4.0	92.90	134.9°	AZOGUES
2001/08/20	12:11:19	3.12S	78.51W	26.2	4.2	57.14	139.9°	AZOGUES
2001/09/10	01:55:35	2.30S	78.95W	16.0	4.1	49.80	345.8°	AZOGUES
2001/09/10	03:04:07	2.23S	79.12W	16.0	4.1	63.02	330.9°	AZOGUES
2001/11/06	19:12:31	3.43S	78.08W	229.2	4.0	114.55	132.5°	AZOGUES
2001/12/23	13:17:15	3.02S	78.41W	12.0	4.0	57.12	124.1°	AZOGUES
2002/01/28	07:44:03	2.84S	78.39W	12.0	4.1	51.26	104.4°	AZOGUES
2002/07/04	21:18:28	2.44S	78.54W	103.7	4.0	46.37	45.8°	AZOGUES

**TABLA 3.1 CONTINUACIÓN**

2002/07/11	19:27:00	2.37S	79.30W	40.4	4.1	64.46	308.2°	AZOGUES
2002/08/24	00:32:24	2.99S	78.45W	31.0	4.1	52.44	123.7°	AZOGUES
2002/09/05	09:19:41	2.19S	78.99W	16.0	4.8	62.28	344.3°	AZOGUES
2003/01/17	00:36:04	2.71S	79.02W	34.3	4.1	19.69	275.6°	AZOGUES
2003/03/31	07:05:30	2.90S	78.29W	12.0	4.3	64.19	107.1°	AZOGUES
2003/04/12	22:55:25	3.04S	78.39W	12.0	4.4	60.60	124.1°	AZOGUES
2003/07/08	18:30:12	2.84S	78.30W	12.0	4.3	61.62	101.7°	AZOGUES
2003/10/05	12:29:30	3.00S	78.21W	145.8	5.0	75.99	113.4°	AZOGUES
2003/11/15	04:13:22	3.29S	78.16W	12.3	4.1	97.71	129.8°	AZOGUES
2004/01/15	16:44:23	2.78S	78.41W	101.0	4.0	48.18	96.5°	AZOGUES
2004/07/08	04:13:13	2.72S	78.38W	12.0	4.0	51.43	89.3°	AZOGUES
2004/07/25	12:34:19	2.51S	79.19W	43.2	4.1	46.56	302.2°	AZOGUES
2004/08/10	05:28:03	3.03S	78.23W	12.0	4.5	75.38	116.7°	AZOGUES
2004/12/20	18:22:06	2.75S	78.48W	12.0	4.0	39.63	93.2°	AZOGUES
2005/01/22	15:22:10	3.06S	78.31W	12.0	4.0	69.93	122.0°	AZOGUES
2005/02/21	06:19:20	2.26S	79.04W	12.0	4.3	56.65	337.1°	AZOGUES
2005/06/22	09:00:01	2.42S	78.56W	114.1	4.0	46.16	41.7°	AZOGUES
2005/07/09	21:33:09	3.08S	78.28W	12.0	4.3	73.25	121.7°	AZOGUES
2005/08/08	03:14:05	2.81S	78.59W	75.0	4.2	28.74	107.7°	AZOGUES
2005/08/08	21:11:18	2.63S	78.98W	44.3	4.6	18.68	305.3°	AZOGUES
2005/08/22	00:03:03	2.61S	78.88W	9.9	4.3	14.13	344.0°	AZOGUES
2005/11/04	15:28:13	3.07S	78.54W	12.0	4.1	50.54	138.8°	AZOGUES
2006/02/08	05:05	-2.939	-78.461	79.2	4.1	48.0	298.9	AZOGUES
2006/11/27	19:40	-2.448	-79.041	134.4	4.5	38.5	144.5	AZOGUES
2006/11/28	20:05	-2.672	-78.573	5.0	4.2	30.3	257.7	AZOGUES

Fuente: Catálogo Sísmico Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional

El sismo de mayor magnitud registrado instrumentalmente, que se ha presentado en la ciudad de Azogues es el 5.1 en la escala de Richter, el 3 de marzo de 1999, como se puede ver en la tabla 3.1 precedente.

En el catálogo sísmico histórico se revela un sismo de importancia en el sector del Austro Ecuatoriano, en diciembre de 1970. Sobre los efectos de este sismo se ha hecho investigaciones en los archivos de la biblioteca Municipal de la Ciudad de Azogues, sin encontrar documentos que dé cuenta de este movimiento telúrico, personas residentes del lugar, no recuerdan de algún sismo fuerte en los últimos 50 años, con excepción del sismo de diciembre 1970 que afecto los templos de la ciudad, y algunas viviendas.

Históricamente Ecuador ha sido afectado por numerosos terremotos destructivos, entre los que se puede citar: el terremoto de Esmeraldas de 1906 (M=8.8), uno de los más grandes registrados en el mundo, Ambato de 1949 (M=6.8) que dejó cerca de 5050 fallecidos (USGS), Reventador en 1987 (M=6.1 y 6.9) que provocó deslizamientos de lodo y avalanchas de rocas destruyendo parte del oleoducto ecuatoriano causando un gran impacto en la economía del país, Bahía de Caráquez en 1998 (M=7.2) que afectó cerca del 60% de las edificaciones de la zona.



## **CAPÍTULO 4**

### **LEVANTAMIENTO Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

#### **4.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo, se hace la primera descripción general de las tramas urbanas y las distintas tipologías constructivas de Azogues.

La ciudad se desarrolla a cada lado de las orillas del río Burgay, por el oriente hasta las faldas del cerro denominado Abuga y por el occidente hasta coronar la loma de Zhishiquin; esto explica las diferentes tramas urbanas y tipologías edificatorias de la Ciudad.

El centro urbano posee edificaciones entre históricas y modernas, debido al poco control urbano o falta de respeto a la norma de preservación de edificaciones señaladas como patrimoniales.

Alrededor de la zona urbana, se ve como la ciudad, se va extendiendo con gran velocidad hacia los sectores de Uchupucúm, Bayas, Charasol, y en una menor velocidad hacia Bellavista y Chacapamba.

Los datos de las edificaciones obtenidas del catastro municipal, se convalidarán con los obtenidos en campo. Para el levantamiento en campo de las tipologías constructivas de la urbe, se utiliza un software de inventariado, identificado por sus siglas como IDCT, que se presenta a continuación.

## **4.2 UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE IDCT PARA EL LEVANTAMIENTO DE DATOS**

### **4.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN DEL SOFTWARE IDCT**

El software IDCT (Inventory Data Capture Tools), que en español se traduce como herramienta para inventariar datos capturados, presenta un sistema de recolección de datos en campo, con la ayuda de la fundación Global Earthquake Model GEM (Modelo global de terremotos). Entre una de las iniciativas de la fundación, está la de desarrollar un software para la facilidad de la obtención de datos estructurales de las edificaciones.

Este software, se puede obtener sin costo en la página web de la fundación GEM o descargarse del sitio web, está creado para dos sistemas operativos, estos son Windows y Android. Por la facilidad de manejo en campo, se utiliza la Tablet y el sistema operativo Android.

El sistema en sí, es de fácil aprendizaje, en general no se necesita un curso para la utilización de este software; sin embargo, se necesita que la persona que va a usar dicho software, sea un profesional en ingeniería civil; para interpretar e ingresar los datos que se requiere.

A continuación se presenta las características del software IDCT.

1. Dentro de las herramientas de IDCT se incorporó los datos en los que se basa la Escala Macrosísmica Europea EMS 98.
2. Esta herramienta está ligada a un sistema de ubicación geográfica GPS, que posiciona la edificación con sus coordenadas geográficas.
3. Dentro del archivo que genera, se graba directamente la ubicación geográfica, fotografías de la edificación y mapas GIS de la ubicación de los edificios inventariados.

Las bondades que presenta este software, son las siguientes:

1. Este software, se desarrolló para ser usado en la mayoría de equipos móviles que se comercializan en todo el mundo.
2. Está apoyado de un sistema multimedia con geo-referenciación, incluyendo videos, fotografías y grabaciones de voz.
3. Proporciona gran gestión en la base de datos, para ser exportados a diferente software, o para incorporar datos levantados por diferentes encuestadores y realizar una base acumulada.

Fortalezas y debilidades de la utilización de una herramienta móvil que utiliza Android.

1. Peso ligero y portátil
2. Totalmente integrado GPS y cámara
3. Interfaz amistoso e intuitivo
4. Sensible pantalla táctil
5. Limitadas funcionalidades de GIS
6. Utiliza muchas fichas para la promulgación de datos
7. Demostración de imágenes para ayuda de selección de valores

A continuación se presenta un compendio del procedimiento de utilización del software IDCT.

- Descargar el software del sitio web,  
<http://www.nexus.globalquakemodel.org/IDCT>
- Cargar el software en la herramienta móvil a utilizarse, seguir instrucciones presentadas por el proveedor del programa.
- Luego de cargado el programa, se tiene el siguiente interface donde se presenta el icono de IDCT.

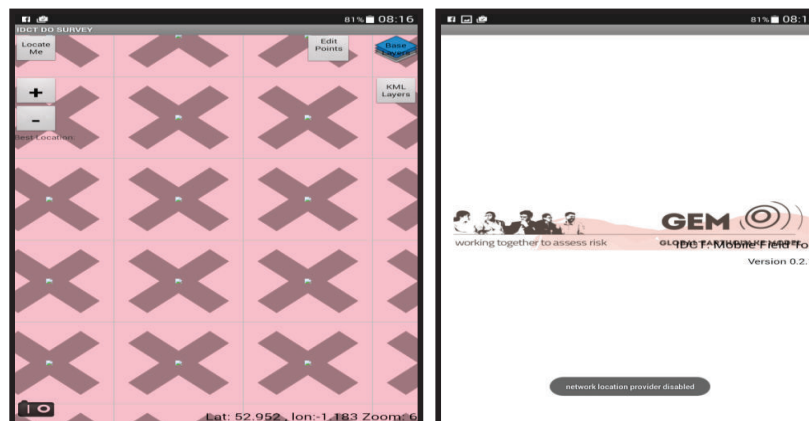
**FIGURA 4.1** PRESENTACIÓN DE LA PANTALLA CUANDO SE ABRE IDCT



Fuente: archivo particular

- Abrir el programa dándole un clic en el icono; de inmediato presentará las pantallas a continuación

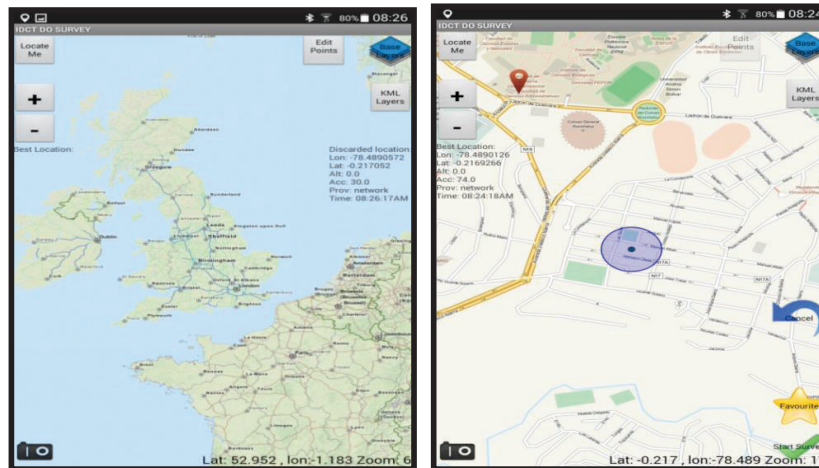
**FIGURA 4.2** PRESENTACIÓN DEL INTERFACE DE INICIO



Fuente: archivo particular

- En la parte superior izquierda de la pantalla, presenta un icono de auto-localización de la máquina debido a un sistema geográfico incorporado. Al dar clic en el icono, se presentara la siguiente pantalla.

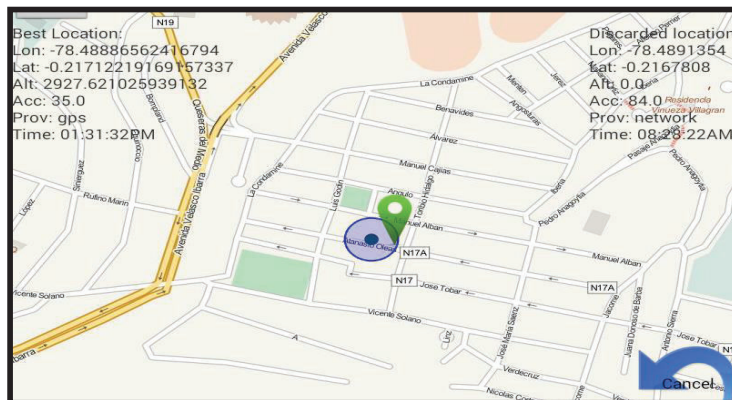
**FIGURA 4.3** PANTALLAS DONDE SE PRESENTA MAPAS DE LA LOCALIZACIÓN DEL INSTRUMENTO.



Fuente: archivo particular

- Cuando el sistema geográfico ha localizado perfectamente el punto requerido, presenta la siguiente imagen.

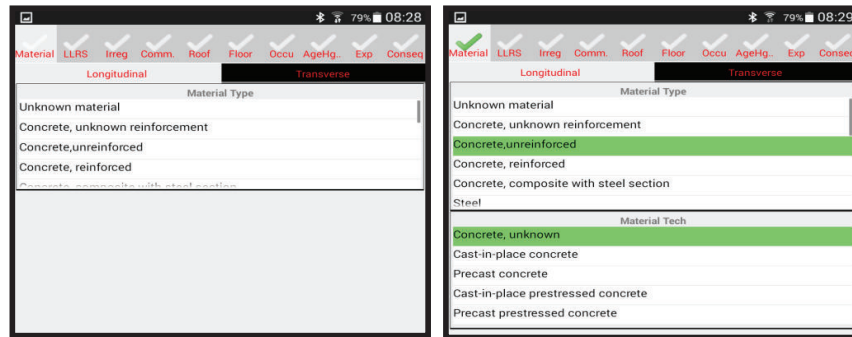
**FIGURA 4.4** PUNTO DE LOCALIZACIÓN EXACTO DEL INSTRUMENTO O DE LA PERSONA QUE HACE EL INVENTARIO



Fuente: archivo particular

- En la parte inferior derecha de la pantalla, se presenta un señalización en verde, que simboliza un visto, se hace clic en él, obteniéndose la siguiente pantalla.

**FIGURA 4.5** INVENTARIADO DEL MATERIAL DEL QUE ESTA CONSTRUIDO EL EDIFICIO

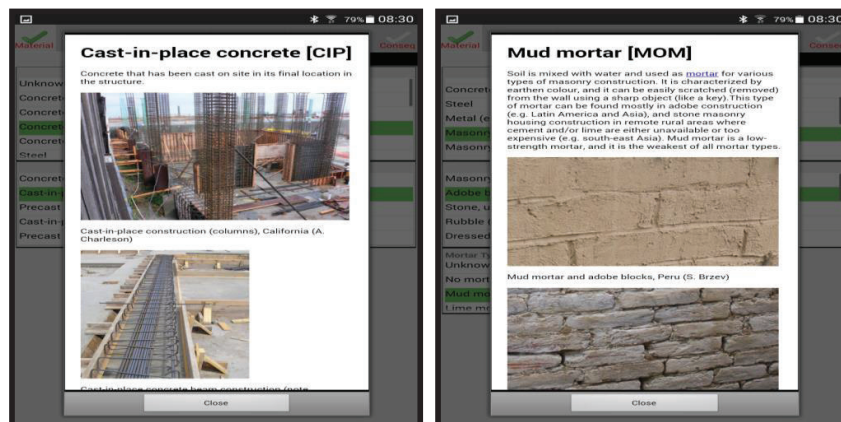


Fuente: archivo particular

En esta pantalla, se presenta la opción de tipos de materiales y la tecnología del material utilizado, que se encuentra en la edificación a encuestar; entre ellos tenemos: hormigón no reforzado, refuerzo, hormigón con secciones de acero, acero, metales que no sea el acero, etc., la opción longitudinal y transversal divide la encuesta en los dos sentidos, para cada sentido se tiene las mismas opciones de materiales.

Si la persona que realiza la encuesta, no se encuentra segura de la clase de tipología constructiva, existe la opción de ayuda, que puede servir para aclarar la tipología constructiva y el material (ver figura 4.6).

**FIGURA 4.6** PANTALLA DE AYUDA PARA CONSULTAR SOBRE LA TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA.



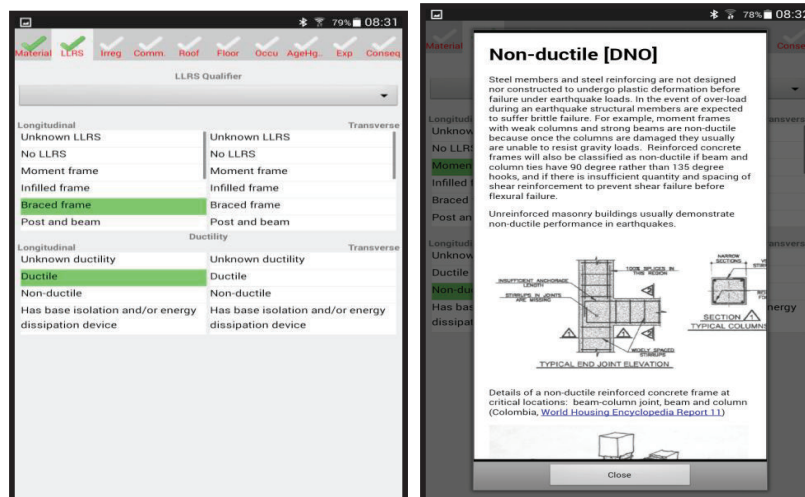
Fuente: archivo particular

- La siguiente pantalla que presenta el software viene con una abreviatura LLRS que se refiere al sistema resistente por carga lateral. De igual manera, está presenta algunas opciones de llenado de la encuesta como son: Longitudinal, transversal, dirección paralela a la calle o dirección perpendicular a la calle. Vale aclarar que también hace referencia a la ductilidad presente en las edificaciones con la siguiente encuesta: no se conoce la ductilidad de la edificación, es dúctil, no es dúctil, tiene aislamiento o disipadores de energía.

Entre las preguntas de la encuesta se tiene: no se conoce de sistema resistente de carga lateral (LLRS), no posee LLRS, etc. Cabe anotar que cuando se selecciona la información que se desea, estos se graban por defecto, lo cual está representado por una señal de visto de color verde en la parte superior de la pantalla.

De igual manera se procede después de llenar la evaluación siguiente.

**FIGURA 4.7** EVALUACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE POR CARGA LATERAL (LLRS) Y DUCTILIDAD.

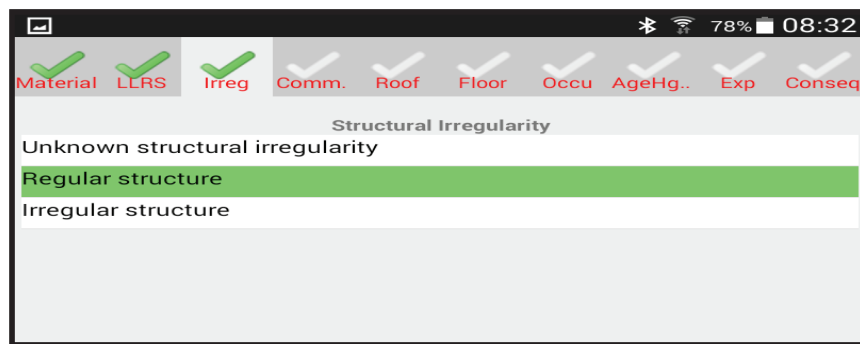


Fuente: archivo particular

- La próxima información a recopilar se refiere a la irregularidad en planta e irregularidad vertical, viene simbolizado por "Irreg". Cuando se refiere a irregularidad en planta, se abre la pantalla con la encuesta siguiente: no

irregular, torsión y excentricidad, etc.; de igual manera para irregularidad vertical se tiene: no existe irregularidad, piso blando, pared corta, columna corta. (Ver figura 4.8).

**FIGURA 4.8** EVALUACIÓN DE LA IRREGULARIDAD EN PLANTA Y EN VERTICAL



Fuente: archivo particular

- A continuación, los datos a ser recopilados son: comentarios referentes a la edificación inventariada, se presenta simbolizado con “Comm”. En esta encuesta se refiere a la posición del edificio en la cuadra, la forma de la planta y el material de las paredes exteriores.
- Las subsiguientes encuestas hacen referencia al tipo de techo (“Roof”), este se divide en: forma del techo, material del techo, sistema de construcción del techo, material de la cubierta del techo y conexiones del techo con otros miembros estructurales.
- Luego tenemos la información referente al piso de la edificación, simbolizada por “Floor”, en esta pantalla encontramos encuestas sobre: sistema de cimentación, tipo de material del piso, conexión del piso con los otros miembros estructurales.
- Los siguientes puntos en la encuesta, se refiere a la ocupación de la edificación que viene simbolizado por “Occu”; este puede ser: residencial, comercial, publico, etc.
- La próxima pantalla abreviada por “AgeHgh,” pide en su encuesta el año de construcción, número de pisos del subsuelo, número de pisos superiores altura de cada piso.



- La pantalla a continuación, que se refiere a las personas que viven en cada edificación encuestada, se aplica, cuando se realiza un censo para calcular el daño económico y humano que puede presentarse.

Como se puede apreciar, el programa de encuestas IDCT copa todos los requerimientos para la aplicación de las metodologías Macrosísmica Europea EMS-98, como también los requerimientos solicitados por Giovinazzi y Lagomarsino. Siendo este software de gran ayuda en el levantamiento de datos en campo de las tipologías constructivas.

Luego de terminada la adquisición de los datos, el programa guarda en su memoria por defecto y procede con la siguiente encuesta. Seguidamente de inventariado cierta cantidad de edificios se exporta los datos a una hoja de cálculo para la evaluación.

### **4.3 CONVALIDACIÓN DE DATOS CON EL CATASTRO MUNICIPAL DE AZOGUES.**

#### **4.3.1 DATOS DEL CATASTRO MUNICIPAL.**

La base de datos del catastro municipal de la ciudad de Azogues se obtiene por medio de una petición escrita al primer personero Municipal. Los cuáles serán adjuntados como anexos.

Como se puede ver en la figura 4.9 a continuación, se presenta un extracto de la base de datos de las edificaciones de la urbe de Azogues que será codificada para utilizar en un sistema de información geográfica, con la ayuda del software Quantum GIS (QGIS).

En esta figura que está como archivo de hoja de cálculo. Podemos encontrar la siguiente información:

**FIGURA 4.9** DATOS DEL CATASTRO DE EDIFICACIONES DE AZOGUES

	A	B	C	D	E	F	G
1	gdclacat	gdnumblo	gdnumpis	gdconfis	gdinvsat	gdanioed	gdesta
2	5010101010020000	1	1	1	0	1980	
3	5010101010020000	1	2	1	0	1980	
4	5010101010030000	1	2	1	0	1992	
5	5010101010030000	1	3	1	0	1992	
6	5010101010030000	1	1	1	0	1992	
7	5010101010040000	1	1	1	0	1990	
8	5010101010040000	1	2	1	0	1990	
9	5010101010040000	1	3	1	0	1990	
10	5010101010040000	1	4	1	0	1990	
11	5010101010050000	1	1	1	0	2000	
12	5010101010060000	1	1	1	0	1998	
13	5010101010070000	1	1	1	0	1990	

Fuente: Catastro Municipal de Azogues.

**TABLA 4.1** ABREVIATURAS DEL ARCHIVO DEL CATASTRO MUNICIPAL

Abreviatura	Referencia
<i>gdclacat</i>	clave catastral.
<i>gdnumblo</i>	número de bloques
<i>gdnumpis</i>	número de pisos
<i>gdconfis</i>	configuración física
<i>gdinvsat</i>	inventariado patrimonial
<i>gdanioed</i>	año de edificación
<i>gdestado</i>	estado de la edificación
<i>gdcolumn</i>	número de columnas
<i>gdvigas</i>	número de vigas
<i>gdentrep</i>	número de entrepisos
<i>gdparede</i>	número de paredes
<i>gdcubier</i>	cubiertas
<i>gdpisos</i>	número de pisos
<i>gdpueext</i>	número de puertas exteriores
<i>gdventan</i>	número de ventanas
<i>gdenluci</i>	enlucido
<i>gdtumbad</i>	tumbados
<i>gdacacub</i>	acabados de cubierta
<i>gdeneele</i>	enlucidos
<i>gdsanita</i>	número de sanitarios
<i>gdarecon</i>	área de construcción

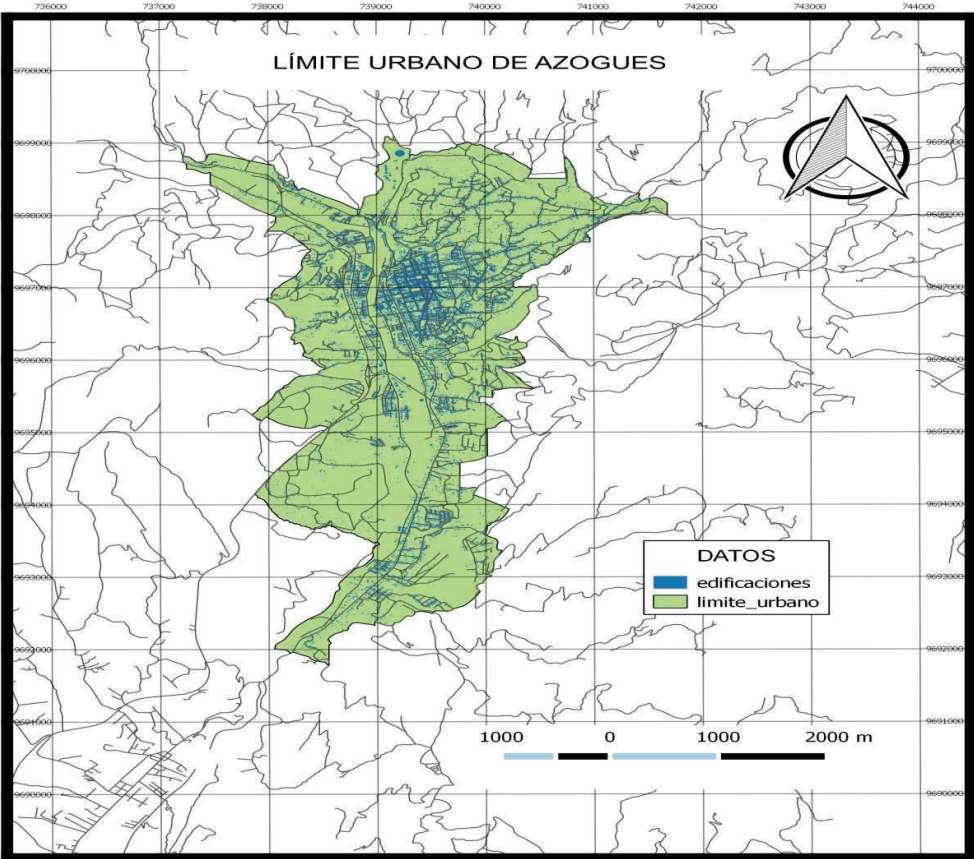
Fuente: Catastro Municipal de Azogues.

Los datos de las edificaciones que se encuentran como archivo en la hoja de cálculo del catastro municipal, sirven para convalidar con los datos obtenidos de las edificaciones en campo. Por ejemplo: El año de construcción, el número

de pisos, el número de bloques, siendo estos, los más requeridos para el tipo de análisis.

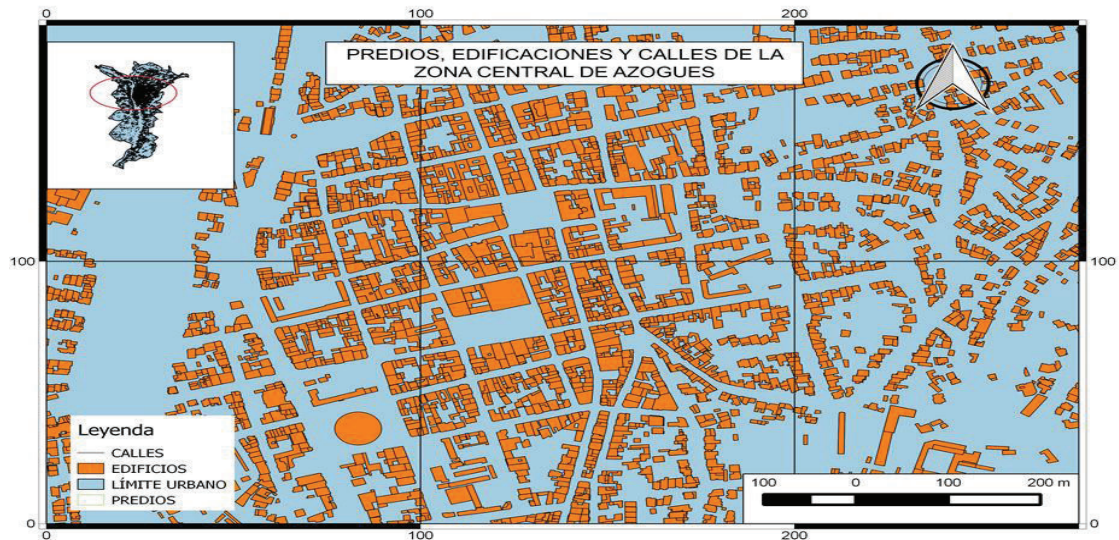
Dentro de los elementos obtenidos del departamento de Catastro Municipal de Azogues se tiene la base de datos en archivo de hoja de cálculo, la cual se configura para importar desde el software QGIS, para obtener el mapa urbano de la ciudad de Azogues en la que se encuentra información sobre edificaciones, predios, las vías (calles, avenidas), límite urbano. La figura 4.10A, figura 4.10B, muestran todos los datos obtenidos.

**FIGURA 4.10A LÍMITE URBANO DE AZOGUES**



Fuente: Catastro Municipal

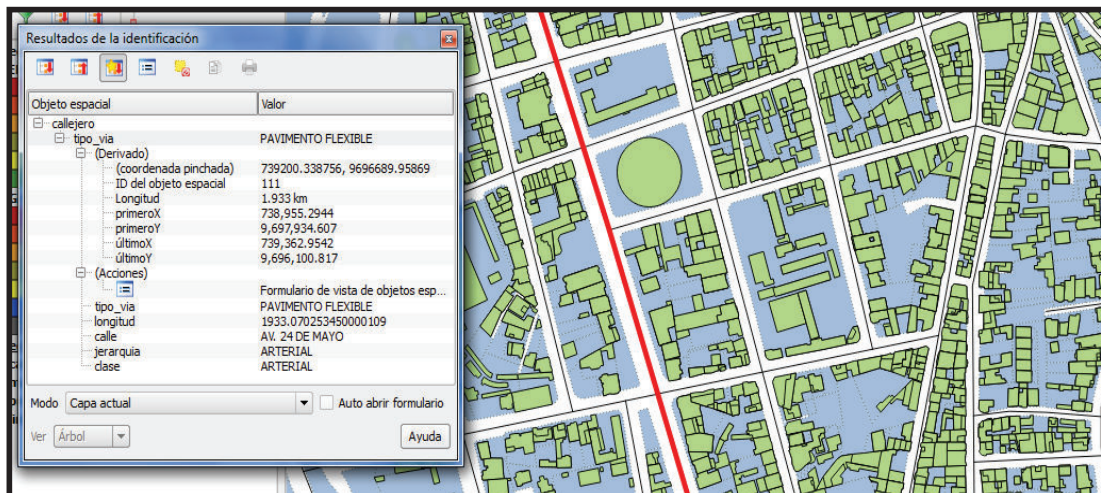
**FIGURA 4.10B** EDIFICACIONES, VÍAS Y PREDIOS DE LA CIUDAD DE AZOGUES.



Fuente: Catastro Municipal

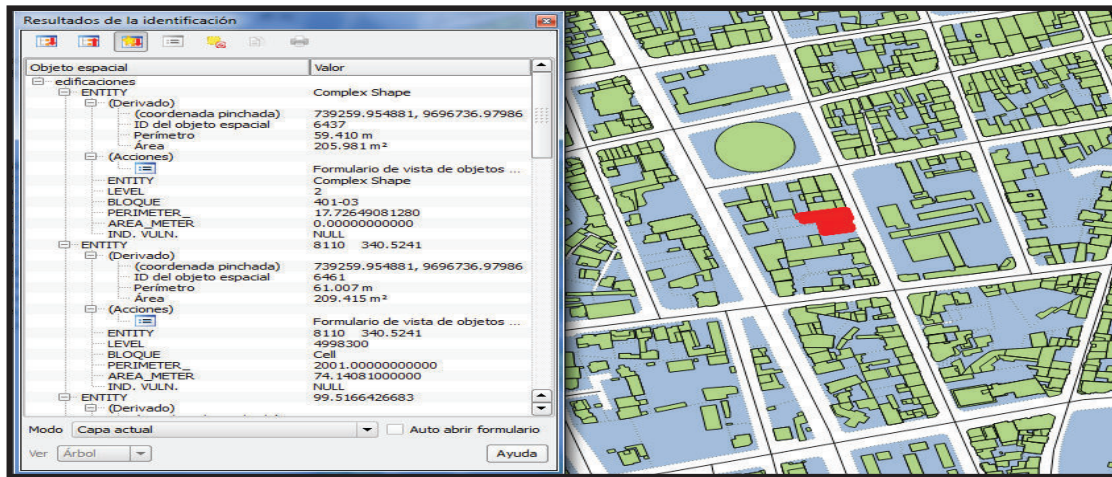
Dentro del archivo del software de QGIS, obtenido en base al catastro municipal, se puede también conocer los datos de nombres de las vías, área de construcción, área del predio, perímetro del predio, número de pisos del edificio, año de construcción, etc. Ver Figuras 4.11A, 4.11B.

**FIGURA 4.11A** BASE DE DATOS UTILIZANDO QGIS PARA SABER CARACTERÍSTICAS Y NOMBRE DE LAS VÍAS.



Fuente: Catastro Municipal.

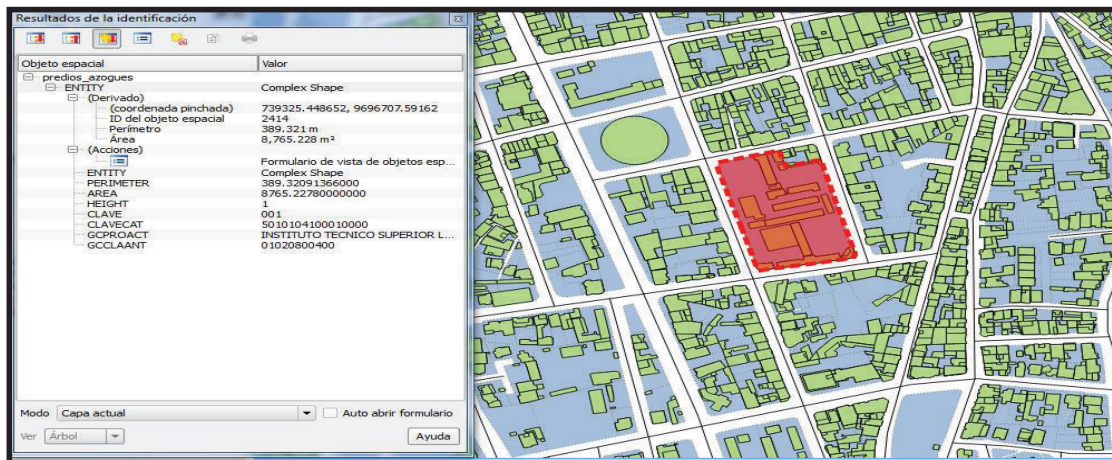
**FIGURA 4.11B** FIGURA QUE PRESENTA LA INFORMACIÓN DE LA EDIFICACIÓN COMO: NÚMERO DE PISOS, ÁREA, NÚMERO DE BLOQUES, PERÍMETRO, CLAVE CATASTRAL.



Fuente: Catastro Municipal

Incluso se puede obtener los nombres de los dueños de los predios como se puede ver en la figura 4.12.

**FIGURA 4.12** BASE DE QGIS EN EL QUE SE PUEDE VER EL PROPIETARIO DEL PREDIO.



Fuente: Catastro municipal

### 4.3.2 DATOS OBTENIDOS DEL LEVANTAMIENTO DE CAMPO

Con la utilización del software IDCT se obtuvo un registro extenso de datos con el siguiente procedimiento:

- Se realiza el trabajo de campo, planificado de la siguiente manera:
  - Se divide el trabajo por sectores: sector central, por manzanas, y luego se realiza el levantamiento de datos por barrios; tomando una dirección horaria lo cual nos permite una convalidación rápida de datos con las del catastro municipal.
  - Se debe ubicar cerca de la edificación a ser encuestada, para poder registrar su posición geográfica, se procede a llenar la encuesta que se requiere para valorar la edificación estructuralmente. De igual manera se procede a tomar una foto para el registro de la edificación encuestada.
  - Con los datos obtenidos, se procesan para expórtalos a una hoja de cálculo, donde se organiza para que se pueda convalidar de una manera fácil con las del catastro municipal.
  - Las fotografías que también se registran, se exporta al mismo archivo.
  
- Es importante las coordenadas geográficas levantadas en campo, para poder convalidar con las coordenadas que se ha obtenido del catastro municipal.

### **4.3.3 DISCUSIÓN DE LA CONVALIDACIÓN DE DATOS**

Luego de revisar los datos proporcionados por el catastro municipal y revisado los datos adquiridos del trabajo de campo, se tiene las siguientes consideraciones:

- Los datos inventariados con el software IDCT, presentan una diferencia en cuanto se refiere a la posición geográfica con los datos del catastro municipal, debido a que al levantar los datos de las edificaciones, la ubicación de la persona que encuesta está fuera de la edificación, en las inmediaciones de la fachada de la vivienda, lo que acarrea un error de posición, reflejados en metros de diferencia de los datos catastrales. Lo cual fue corregido según la posición geográfica de las edificaciones de

acuerdo al catastro municipal, convalidando con la ubicación adquirida utilizando el GOOGLE MAP.

- No se tiene un archivo de fotos de las edificaciones, en los datos proporcionados por la Municipalidad de Azogues.
- En los archivos del catastro municipal, es de gran ayuda la fecha de construcción de la edificación, que es de mucha importancia y revela la tipología constructiva en esa época.
- Los datos del catastro municipal, referente a número de bloques de la edificación y el número de plantas; también ayuda para convalidar con los datos obtenidos en campo.
- Los archivos del catastro municipal, se pudo modificar y exportar al software QUANTUM GIS, para de una manera visual constatar los predios, las áreas del predio, el perímetro del predio, y la ubicación de la edificación dentro del predio urbano.
- Al tener registrado los datos en QGIS, se hace una rápida convalidación, ya que los datos obtenidos en campo se procesan en el mismo programa, y se realizan los ajustes pertinentes en cuanto a posición geográfica.

## **4.4 IDENTIFICACIÓN DE TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS**

### **4.4.1 TIPOLOGÍAS EXISTENTES**

El trazado urbano de los barrios más antiguos, que se sitúa en primer plano en la figura 4.13, resulta claramente irregular. Las edificaciones son de menor altura y, en general de menor volumen. En segundo plano se aprecia una construcción más moderna, que sigue trazos más regulares y edificios de mayor volumen. Tras ellos se distinguen algunos edificios exentos de cierta altura (más de 6 pisos). Azogues en su mayoría está ocupada por viviendas unifamiliares aisladas.

La parte más antigua del casco urbano está ocupada por construcciones de dos o tres plantas y otras similares.

**FIGURA 4.13** VISTA DE LA CIUDAD ANTIGUA Y CONTEMPORÁNEA.



Fuente: Archivo Municipio de Azogues

**FIGURA 4.13** CONTINUACIÓN



Fuente: Archivo personal

La parte más extensa de la ciudad corresponde a la época de más rápido desarrollo económico, que en este caso probablemente se sitúa en los años 1990 a 2000 del presente siglo, lo que actualmente constituye el barrio La Playa, Zona de Charasol y Uchupucúm. Esta parte de la ciudad responde a una configuración reconocible y admisible a la de otras ciudades Ecuatorianas. Las calles, de mayor dimensión y trazado relativamente regular, forman manzanas



en las que construyen edificaciones de cierta altura (villas de dos pisos) a continuación de otros de tres pisos sin separación real entre ellas (Figura 4.14).

**FIGURA 4.14** ZONAS URBANAS EN LAS PERIFERIAS DE AZOGUES TIPOLOGÍAS SIMILARES.



Fuente: Colección particular

En muchos casos no existe ninguna continuidad en los niveles de las plantas, de tal forma que los forjados de los edificios aledaños se sitúan a distinta altura. Esta configuración urbana se sigue empleando en muchas urbanizaciones recientes, si bien en estos casos, se sitúan en zonas periféricas de nuevo trazado en el que el volumen de las edificaciones es grupal (Figura 4.15).

**FIGURA 4.15** URBANIZACIÓN EN LAS PERIFERIAS DE AZOGUES TIPOLOGÍAS SIMILARES.



Fuente: Colección particular

Con independencia del esquema general descrito, la ciudad cuenta con desarrollos puntuales de carácter específico. Es el caso de los barrios como: la Ciudadela del chofer, urbanización Cantos, urbanización de los maestros y barrió La Ferroviaria; las edificaciones de estos barrios responden a combinaciones de un modelo arquitectónico único.

Según el catastro Municipal obtenido en marzo del 2015, Azogues posee un parque inmobiliario variado, donde conviven tipologías constructivas de edad y naturaleza variada. A la hora de analizar distintos tipos de edificios, conviene diferenciar entre tipologías tradicionales de construcción, basados en los principios empíricos de buenas prácticas constructivas heredada a través de la tradición y de la edificación tecnológica, que empieza a generalizarse en nuestro País a mediados del presente siglo.

Las edificaciones más antiguas que se registran en la ciudad de Azogues data de 1900, según catastro municipal, estas edificaciones son caracterizadas por la utilización de barro y madera como los elementos constructivos predominantes; dividiéndose en edificaciones de adobe y edificaciones de bahareque, ver figura 4.16.

**FIGURA 4.16** EDIFICACIONES CON TIPOLOGÍAS DE ADOBE Y BAHAREQUE.



**FIGURA 4.16 CONTINUACIÓN**



Fuente: archivo particular

1. Adobe y bahareque.

Características tipológicas:

- Son edificaciones con techo compuesto de madera tejida y cubierta de teja de barro cocido; esta forma de construcción implica gran cantidad de peso sobre la estructura base.
- Las paredes están compuestas por madera tejida y forrada con barro, evidentemente no resistente a cargas laterales.
- No existe anclaje con la base, debido a que se asienta sobre una base de roca labrada sin ningún tipo de sujeción.
- Normalmente, tiene piso de tierra en el primer piso y de madera en el segundo piso.
- La mayoría de estas edificaciones, son de dos pisos y en casos excepcionales son de tres pisos.
- Estas edificaciones están asentadas fuera del centro urbano de la ciudad de Azogues.
- Las edificaciones que se encuentran en el centro urbano están restauradas manteniendo la tipología inicial.

- Esta tipología constructiva se hace presente hasta mediados de 1970 según catastro municipal.
- Algunas edificaciones con esta tipología han sido restauradas las paredes utilizando hormigón y mallas metálicas.

Paralelo a la construcción de mampostería de adobe y bahareque se encuentra la construcción de roca masiva, ver figura 4.16.

**FIGURA 4.17** EDIFICACIONES DE ROCA MASIVA.



Fuente: archivo particular

## 2. Roca masiva.

Características tipológicas:

- Son estructuras hechas con mampostería de piedra labrada.
- Estas edificaciones se encuentran en el centro urbano, sobre todo en edificaciones emblemáticas como son: templos, edificios públicos, y poca cantidad en casa de viviendas familiares.
- La estructura de la cubierta y del piso son en general de madera.
- No se conoce sobre la forma de cimentación
- No posee refuerzo longitudinal ni transversal.

- Las estructuras son regulares en planta y en elevación a excepción de las iglesias.

A mediados de 1970 comienza el cambio de tipología constructiva haciéndose presente construcciones de mampostería de ladrillo o bloque no reforzado con pisos de hormigón armado o de madera, ver figura 4.18.

**FIGURA 4.18** EDIFICACIONES CON TIPOLOGÍA DE LADRILLO NO REFORZADO CON PISO DE HORMIGÓN ARMADO.



Fuente: Archivo particular

### 3. Ladrillo no reforzado con piso de hormigón armado

Características tipológicas:

- En su mayoría estas edificaciones se utilizan como viviendas unifamiliares.
- No existe refuerzo longitudinal ni transversal.
- La estructura del techo, es de madera y la cubierta es de teja de barro cocido.
- Estructuralmente soportan cargas laterales de mejor manera que las de adobe.
- Presentan en su mayoría planta regular y elevación regular.

- Este tipo de construcciones se presentan en las décadas de 1970 y 1980.

Dentro de la tipología de hormigón armado, se encuentra las siguientes tipologías:

A partir del año 1991 en adelante se presenta la tipología de armazones de hormigón armado con relleno de mampostería de ladrillo o bloque, ver figura 4.19.

**FIGURA 4.19** EDIFICACIONES DE ARMAZÓN DE HORMIGÓN ARMADO.



Fuente: archivo particular

4.- Edificaciones de armazón de hormigón armado hasta de dos plantas.

Características tipológicas:

- La mayoría de las edificaciones en todos los sectores de la ciudad de Azogues son de hormigón armado
- Los pisos son de hormigón armado con refuerzo longitudinal y transversal
- En cuanto al techo, puede variar entre estructura de madera y de hierro, la cubierta varía entre planchas de fibrocemento y teja de barro cocido

decorativa, o puede poseer las dos clases de cubierta fibrocemento y teja.

- La planta es regular a igual que su elevación.
- Se puede encontrar losas de hormigón armado como cubierta.
- No se tiene diseño sismoresistente, ni se rige a ningún código de la construcción.
- La mampostería utilizada en su mayoría, se trata de bloques de hormigón pero también se tiene en casos excepcionales ladrillo.

A continuación se describe edificaciones de hormigón armado con más de dos pisos, véase figura 4.20.

**FIGURA 4.20** EDIFICACIONES DE DOS A CINCO PISOS CONSTRUIDO CON HORMIGÓN ARMADO



Fuente: Archivo particular

5. Edificaciones de armazón de hormigón armado de dos a cinco pisos.

Características tipológicas:

- Edificaciones que comienzan a construirse a partir del año 2000.

- Construcciones con armazones de hormigón armado y rellenos de bloque de hormigón en algunos casos rellenos de ladrillo.
- Presentan patologías estructurales como: columna corta, piso blando.
- No se conoce si fueron diseñados con criterios sismoresistente o construidos rigiéndose a una norma o código de la construcción vigente.
- Se les puede considerar como edificaciones sin diseño sismoresistente.
- Presentan losa con viga banda.

Como se ve en la figura 4.21.

**FIGURA 4.21** EDIFICACIONES DE MÁS DE CINCO PISOS EN HORMIGÓN ARMADO.



Fuente: Archivo particular

## 6. Edificaciones de armazón de hormigón armado de más cinco pisos

Características tipológicas:

- Construcciones con armazón de hormigón armado con rellenos de ladrillo o bloque de hormigón.
- Presentan un diseño sismoresistente medio, calculados para que soporten momentos y esfuerzos de cizalla.
- No presentan muros de corte.



- Las losas son alivianadas y poseen vigas colgadas.
- No se conoce a cerca de su ductilidad conjunta.
- Se construye aplicando criterios ingenieriles.
- Presentan pisos blandos.
- La regularidad en planta es evidente y sus regularidad vertical.
- No se conoce sobre criterios de columna fuerte y viga débil.

A partir del año 2005, se evidencia de las construcciones en acero, teniendo armazón de acero y relleno de mampostería de bloque o ladrillo, ver figura 4.22.

**FIGURA 4.22** EDIFICACIONES DE ARMAZÓN DE ACERO.



Fuente: Archivo particular

#### 7. Edificaciones de armazón acero

Características tipológicas:

- Edificios que se vienen realizando a partir del año 2005.
- Armazón de acero, perfiles doblado en frio o armado en base de planchas de acero, con rellenos de bloque o ladrillo.
- No presentan sistemas de arrostramiento o muros de corte
- No se conoce si su diseño es sismoresistente.

- No se conoce si se aplicaron normas para diseño y construcción en acero (normas ANSI, AISC).
- Las uniones vigas-columnas, son realizadas con procedimiento de soldadura.
- Procesos constructivos artesanales (no se realizó por soldadores calificados).
- Las losas son unidireccionales, se utiliza placa colaborante.

En resumen, las tipologías constructivas encontradas en la ciudad de Azogues se enumeran a continuación:

- 1) Mampostería de adobe o bahareque
- 2) Mampostería de roca masiva
- 3) Mampostería de ladrillo o bloque no reforzado con piso de hormigón armado o madera.
- 4) Armazón de hormigón armado con relleno de mampostería de ladrillo o bloque, sin diseño sismoresistente estos subdividiéndose en:
  - a. Edificaciones de hasta dos pisos
  - b. Edificaciones de dos a cinco pisos
- 5) Edificaciones de más de seis pisos con diseño sismoresistente.
- 6) Edificaciones de acero.

## **CAPÍTULO 5**

### **EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA**

#### **5.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se presenta gráficamente los resultados obtenidos de la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Azogues, para esto se utiliza un sistema de información geográfica (GIS), el Quantum GIS es el software establecido para la representación geográfica; este facilita la visibilidad de las zonas de diferente vulnerabilidad.

Para justificar los mapas obtenidos, se presenta los cálculos realizados para la obtención de los índices de vulnerabilidad; en la evaluación se utiliza hojas de cálculo.

#### **5.2 CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE VULNERABILIDAD SEGÚN GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO.**

Las tipologías encontradas en la ciudad de Azogues, según lo especificado en el capítulo anterior, se puede resumir de la siguiente manera, véase tabla 5.1.

**TABLA 5.1 TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS ENCONTRADAS EN LA CIUDAD DE AZOGUES**

<b>TIPOLOGÍAS</b>		
<b>CANT.</b>	<b>SIMBOLOGÍA</b>	<b>MAMPOSTERÍA</b>
1	T1MAM	ADOBE (ESTADO BUENO)
2	T2MAM	ADOBE (ESTADO MALO)
3	T3MAM	LADRILLO NO REFORZADO PISO DE HORMIGÓN ARMADO
4	T4MAMROCA	ROCA MASIVA
		<b>HORMIGÓN ARMADO</b>
		<b>ARMAZON SIN DISEÑO SISMORESISTENTE</b>
5	T1HA	EDIFICACIÓN DE DOS PISOS TIPO VILLA
6	T2HA	EDIFICACIÓN DE 3, 4 o 5 PISOS
7	T3HA	EDIFICACIONES MAS DE 5 PISOS
8	T1HADMSR	DISEÑO MEDIO SISMORESISTENTE
		<b>ACERO</b>
9	T1AC	ESTRUCTURAS DE ACERO

Elaboración: Neptalí Romero

A continuación se presenta el cálculo del índice de vulnerabilidad según Giovinazzi y Lagomarsino para cada tipología constructiva.

Cabe mencionar que la tipología de mampostería de adobe, se le considera similar a la de bahareque, que es la tipología de más frecuente construcción en la ciudad de Azogues hasta el año de 1970.

También se puede apreciar que edificaciones en madera, no se presenta en la ciudad de Azogues, pero la madera es utiliza como elementos estructurales secundarios en la construcción de cubiertas en las viviendas unifamiliares.

### **5.2.1 SISTEMAS TIPOLÓGICOS DE MAMPOSTERÍA**

#### **1. MAMPOSTERÍA DE ADOBE EN BUEN ESTADO (T1MAM)**

**FIGURA 5.1** EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA DE ADOBE EN BUEN ESTADO



Fuente: archivo particular

Como se mencionó en el capítulo 4, la mayoría de las construcciones de esta tipología fueron edificadas hasta el año de 1970, se encuentran registradas como patrimoniales, gracias a esta calificación perduran hasta estos días.

Aplicando la ecuación 2.8 de la metodología de Giovinazzi y Lagomarsino, se calcula el índice de vulnerabilidad, definida en el capítulo 2, este índice se obtiene al cuantificar la vulnerabilidad tipológica, más la vulnerabilidad regional y más la vulnerabilidad debida a los modificadores sísmicos.

Para la valoración se utilizó una hoja de cálculo, como se presenta a continuación.

- Índice de vulnerabilidad tipológico ( $V_t^*$ ).

Utilizando la tabla 2.8 propuesta en el capítulo 2, se escoge el valor del índice de vulnerabilidad tipológica para mampostería de adobe (bahareque).

**TABLA 5.2 VALORES DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD TIPOLOGICO PARA ADOBE**

Tipologías		Tipo de edificios	Clases de vulnerabilidad				
			V <sub>min.</sub>	V <sub>l.</sub>	V <sub>l*</sub>	V <sub>l+</sub>	V <sub>max.</sub>
Mampostería	M1	Roca de cantera	0.62	0.81	0.873	0.98	1.02
	M2	Adobe (ladrillo de tierra)	0.62	0.687	0.84	0.98	1.02
	M3	Roca simple	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	M4	Roca masiva	0.3	0.49	0.616	0.793	0.86
	M5	no reforzada (ladrillo viejo)	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	M6	Ladrillo no reforzado, piso de HA	0.3	0.49	0.616	0.79	0.86
	M7	Reforzado o Confinado	0.14	0.33	0.451	0.633	0.7

Fuente: Giovinazzi y Lagomarsino (2004)

Modificado: Neptalí Romero A

$$V_l^* = 0.84$$

Valor obtenido de la tabla 5.2, tipología M2 Adobe, según la escala EMS 98 se puede considerar a la tipología de bahareque en América del Sur, como una tipología similar a la de adobe.

- Índice de vulnerabilidad regional ( $\Delta V_R$ ).

Según Giovinazzi y Lagomarsino, este índice puede ser valorado según criterio de expertos. Para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Azogues, se procede a calibrar el índice de vulnerabilidad regional, utilizando datos de terremotos históricos de la ciudad de Azogues y comparando con los daños producidos. Los terremotos registrados en Azogues, se pueden encontrar en el catálogo sísmico histórico presentado por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.

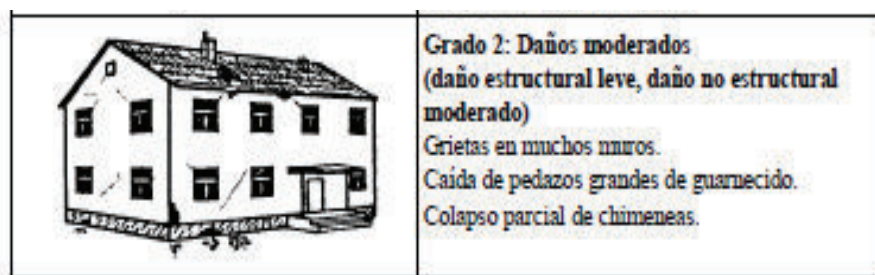
Según el catalogo sísmico históricos se tiene los siguientes sismos en la región sur del Ecuador (véase Tabla 5.3). A finales del año de 1970 en la Ciudad de Azogues se presentó un sismo de intensidad 7, según la Escala Macrosísmica Europea.

**TABLA 5.3 CUANTIFICACIÓN DE LA INTENSIDAD SÍSMICA DEBIDO A TERREMOTOS HISTÓRICOS**

LOCALIDAD	LATITUD	LONGITUD	DESCRIPCIÓN	INTENSIDAD
Gualaceo	2° 53'15.98"S	78° 46'32.28" O	Desplome de casas	6
Azogues	2° 44'21.38"S	78° 50'45.28" O	Más del 50% de las casas cuarteadas. Algunas con peligro de desplomarse.	7
Paute	2°47'42.79"S	78°46'5.14"O	Santuario de San Francisco sufrió considerables daños; la mayor parte de los edificios del convento y del noviciado se encuentran parcialmente destruidos, al igual que la iglesia: según criterio técnico, hay daño estructural en donde no caben reparaciones; numerosos arcos de la iglesia desplomados.  Numerosas casas particulares y edificios con serios daños; una casa desplomada. Destrucción parcial del mercado: debe ser demolido.	7
Cuenca	2°53'58.82"S	79° 0'20.24"O	Varios edificios cuarteados.	6
Sigsig	3° 3'3.23"S	78°47'44.92"O	Graves daños en el templo y casas particulares.	7

Fuente: catalogo sísmico

Según la descripción de los daños producidos en la ciudad de Azogues en el sismo de 1970, y comparado con la tabla de clasificación de daños de la escala EMS-98, se puede clasificar como grado 2, daños moderados. Véase figura 5.2.

**FIGURA 5.2** CLASIFICACIÓN DE DAÑO EN EDIFICIOS DE MAMPOSTERÍA

Fuente: EMS 98

Aplicando la ecuación de grado de daño (Ec. 2.12), se puede obtener el índice de vulnerabilidad total, así mismo, restándole el índice tipológico y los modificadores sísmicos se pueden cuantificar y calibrar el índice de vulnerabilidad regional.

A continuación, se calcula el valor  $\Delta V_R$ , utilizando una hoja de cálculo, los resultados son los siguientes, véase tabla 5.4.

**TABLA 5.4** CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD Y VULNERABILIDAD REGIONAL

$\mu D(\text{grado de daño})=$	2		
$I(\text{intensidad})=$	7		
$\text{arctanh}((\mu D/2.5)-1)=$	-0.20		
$(I-13.1)/2.3=$	-2.65		
$\text{arctanh}(\mu D/2.5)-(I-13.1)/2.3=$	2.45		
$6.25/2.30$	2.72		
<b><math>V_I =</math></b>	<b>0.90</b>		
			<b>ADOBE MALO</b>
		$V_I^*=$	0.84
		$\Delta V_m=$	0.04
		<b><math>\Delta V_R=</math></b>	<b>0.02</b>

Elaboración: Neptalí Romero

- Índice de vulnerabilidad según modificadores sísmicos ( $\Delta V_m$ ).

Utilizando la ecuación 2.11 y la tabla 2.9 revisadas en el capítulo 2, se obtiene el valor del índice de vulnerabilidad para modificadores sísmicos, aplicados en la metodología de Giovinazzi y Lagomarsino.



La tabla a continuación se refiere a la tabla 2.9 traducida y modificada para usarla como hoja de cálculo.

**TABLA 5.5 CUANTIFICACIÓN DE LOS MODIFICADORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA MAMPOSTERÍA**

<b>MODIFICADORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD</b>			
<b>COMPORTAMIENTO MODIFICADOR</b>	<b>MAMPOSTERÍA</b>	<b>Vmk</b>	
<b>ESTADO DE PREVENSIÓN</b>	<b>BUENO</b>	-0.04	<b>-0.04</b>
	<b>MALO</b>	0.04	
<b>NÚMERO DE PISOS</b>	<b>BAJO(1 a 2)</b>	-0.08	<b>-0.08</b>
	<b>MEDIO(3,4o5)</b>	0	
	<b>ALTO (6 O MÁS)</b>	(+0.08)	
<b>SISTEMA ESTRUCTURAL</b>	<b>ESPESOR PARED</b>	-0.04	
	<b>DISTANCIA PARED</b>		
	<b>CONEXIÓN PARED</b>	0.04	
<b>IRREGULARIDAD EN PLANTA</b>	<b>GEOMETRÍA</b>	0.04	
	<b>DISTRIBUCIÓN MASA</b>	0.04	
<b>IRREGULARIDAD VERTICAL</b>	<b>GEOMETRÍA</b>		
	<b>DISTRIBUCIÓN MASA</b>	0.04	
<b>PISOS SUPERPUESTOS</b>		0.04	
<b>TECHO</b>	<b>PISO EMPUJE Y CONEXIÓN</b>	0.04	<b>0.04</b>
<b>INTERVENCIÓN CON REEQUIPAMIENTO</b>		-0.08	
		0.08	
<b>DISPOSITIVOS SISMORESISTENTES</b>	<b>BARBACANA ARCO DE LAMINA CONTRAFUERTE</b>	-0.04	
<b>POSICIÓN DEL EDIFICIO</b>	<b>MEDIO</b>	-0.04	
	<b>ESQUINA</b>	0.04	<b>0.04</b>
	<b>ENCABEZADO</b>	0.06	
<b>ELEVACIÓN DEL EDIFICIO</b>	<b>PISOS ESCALONADOS</b>	0.04	
	<b>EDIFICIOS CON DIFERENTES ALTURAS</b>	0.04++0.04	
<b>CIMENTACIÓN</b>	<b>DIFERENTES NIVELES DE CIMENTACION</b>	0.04	
		<b>ΣVmk</b>	<b>-0.04</b>

Elaboración: Neptalí Romero

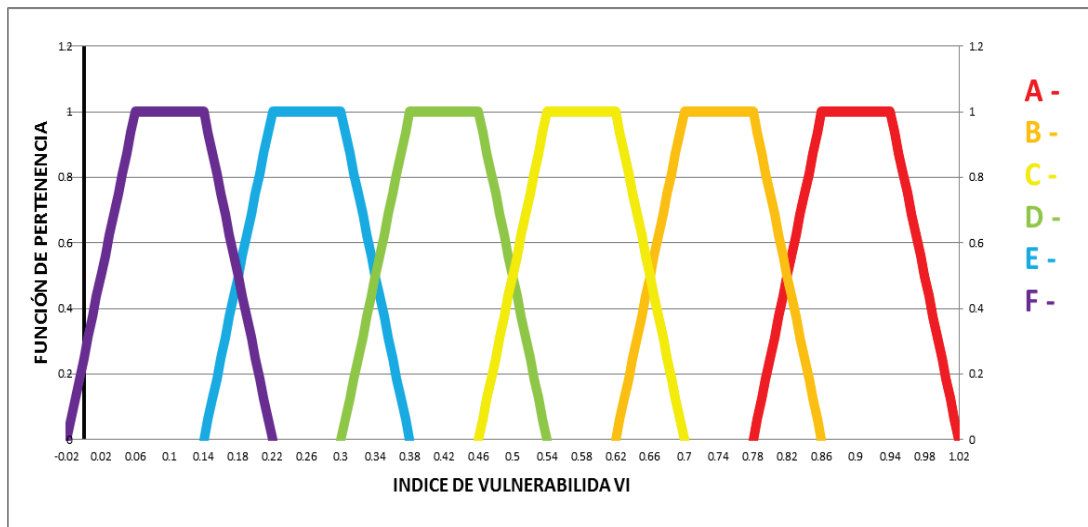
$$\Delta Vm = -0.04$$

La tabla penaliza el índice de vulnerabilidad cuando no se toman en cuenta los criterios sísmicos, y a lo contrario, también bonifica el índice de vulnerabilidad cuando se cumple con los requerimientos sísmicos que mejoran su comportamiento.

El valor del índice de vulnerabilidad para mampostería de adobe es:

$$V_i = 0.82$$

**FIGURA 5.3** ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA LAS FUNCIONES DE PERTENENCIAS DE LAS CLASES DE VULNERABILIDAD



Fuente: Giovinazzi y Lagomarsino (2004)

Para el valor del índice de vulnerabilidad de 0.82, al revisar la figura 5.3, se encuentra en la intersección de la curva de función de pertenencia, entre A y B, pero por la incertidumbre que presenta las edificaciones de esta tipología, se valora a todas las tipologías que concurren en este punto, con la mayor vulnerabilidad, esto es clase de vulnerabilidad tipo A; esta clase de vulnerabilidad se representa con color rojo. Como se aprecia en la tabla 5.6.

**TABLA 5.6** CLASES DE VULNERABILIDADES SEGÚN GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO CLASE DE VULNERABILIDAD PARA ADOBE EN BUEN ESTADO

Vulnerabilidad	Color	$V_i$	
<b>A</b>	Red	0.78 a 1.02	0.82
<b>B</b>	Orange	0.62 a 0.86	
<b>C</b>	Yellow	0.46 a 0.7	
<b>D</b>	Green	0.3 a 0.54	
<b>E</b>	Blue	0.14 a 0.38	
<b>F</b>	Purple	0.02 a 0.22	

Elaboración: Neptalí Romero

## 2. MAMPOSTERÍA DE ADOBE EN MAL ESTADO (T2MAM)

Esta tipología se caracteriza, por la falta de mantenimiento de la edificación, y además se hace referencia por estar habitada, Véase figura 5.4.

**FIGURA 5.4** EDIFICACIÓN DE MAMPOSTERÍA DE ADOBE EN MAL ESTADO PERO HABITADA.



Fuente: archivo particular

De igual manera se aplica el cálculo del índice de vulnerabilidad, pero como se trata de la misma tipología, lo único que varía son los modificadores sísmicos debido a que esta tipología está en mal estado. Se tiene:

- Índice de vulnerabilidad tipológico ( $V_I^*$ ).

$$V_I^* = 0.84$$

- Índice de vulnerabilidad regional ( $\Delta V_R$ )

	ADOBE MALO
$V_I^* =$	0.84
$\Delta V_m =$	0.04
$\Delta V_R =$	0.02

- Índice de vulnerabilidad según modificadores sísmicos ( $\Delta V_m$ )

**TABLA 5.7** CUANTIFICACIÓN DE LOS MODIFICADORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

MODIFICADORES DEL INDICE DE VULNERABILIDAD			
COMPORTAMIENTO MODIFICADOR	MAMPOSTERIA	$V_{mk}$	
ESTADO DE PREVENSIÓN	BUENO	-0.04	
	MALO	0.04	0.04
NUMERO DE PISOS	BAJO(1 a 2)	-0.08	-0.08
	MEDIO(3,4o5)	0	
	ALTO (6 O MÁS)	(+0.08)	
SISTEMA ESTRUCTURAL	ESPEJOR PARED	-0.04	
	DISTANCIA PARED		
	CONEXIÓN PARED	0.04	
IRREGULARIDAD EN PLANTA	GEOMETRIA	0.04	
	DISTRIBUCIÓN MASA	0.04	

Elaboración: Neptalí Romero

TABLA 5.7 CONTINUACIÓN

IRREGULARIDAD VERTICAL	GEOMETRIA		
	DISTRIBUCIÓN MASA	0.04	
PISOS SUPERPUESTOS		0.04	
TECHO	PISO EMPUJE Y CONEXIÓN	0.04	0.04
INTERVENCIÓN CON REEQUIPAMIENTO		-0.08	
		0.08	
DISPOSITIVOS ANTISISMICOS	BARBACANA ARCO DE LAMINA CONTRAFUERTE	-0.04	
POSICION DEL EDIFICIO	MEDIO	-0.04	
	ESQUINA	0.04	0.04
	ENCABEZADO	0.06	
ELEVACION DEL EDIFICIO	PISOS ESCALONADOS	0.04	
	EDIFICIOS CON DIFERENTES ALTURAS	0.04++0.04	
CIMENTACION	DIFERENTES NIVELES DE CIMENTACIÓN	0.04	
		<b><math>\Sigma V_{mk}</math></b>	0.04

Elaboración: Neptalí Romero

$$\Delta V_m = 0.04$$

El valor del índice de vulnerabilidad calculado es:

$$V_i = 0.90$$

Este índice de vulnerabilidad se le asocia con la clase de vulnerabilidad más alta A y se representa por el color rojo, Véase figura 5.3.

**TABLA 5.8** VULNERABILIDADES SEGÚN GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO.  
CLASE DE VULNERABILIDAD DE ADOBE EN MAL ESTADO

Vulnerabilidad	Color	$V_i$	
<b>A</b>		0.78 a 1.02	0.90
<b>B</b>		0.62 a 0.86	
<b>C</b>		0.46 a 0.7	
<b>D</b>		0.3 a 0.54	
<b>E</b>		0.14 a 0.38	
<b>F</b>		0.02 a 0.22	

Elaboración: Neptalí Romero

### 3. MAMPOSTERÍA DE ROCA MASIVA (T4MAM ROCA).

En la ciudad de Azogues se presenta esta tipología, en edificaciones llamadas emblemáticas, como: Iglesias, dependencias públicas y algunas viviendas construidas hasta el año de 1970. Como se aprecia en la figura 5.5.

**FIGURA 5.5** EDIFICACIÓN DE MAMPOSTERÍA DE ROCA MASIVA



Fuente: archivo particular

De la misma manera que las tipologías anteriores, aplicando la metodología de Giovinazzi y Lagomarsino, el cálculo del índice de vulnerabilidad se obtiene al

cuantificar la vulnerabilidad tipológica más la vulnerabilidad regional y más la vulnerabilidad debida a los modificadores sísmicos, aplicando la ecuación 2.8.

- Índice de vulnerabilidad tipológico ( $V_i^*$ ).

Utilizando la tabla 2.8 propuesta por Giovinazzi y Lagomarsino se escoge el valor del índice de vulnerabilidad tipológica para mampostería de roca masiva.

**TABLA 5.9** VALORES DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA LAS TIPOLOGÍAS DE EDIFICIOS. TIPOLOGÍA M4

Tipologías		Tipo de edificios	Clases de vulnerabilidad				
			$V_{imin.}$	$V_{i-}$	$V_i^*$	$V_{i+}$	$V_{imax.}$
Mampostería	M1	Roca de cantera	0.62	0.81	0.873	0.98	1.02
	M2	Adobe (ladrillo de tierra)	0.62	0.687	0.84	0.98	1.02
	M3	Roca simple	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	M4	Roca masiva	0.3	0.49	0.616	0.793	0.86
	M5	no reforzada (ladrillo viejo)	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	M6	Ladrillo no reforzado, piso de HA	0.3	0.49	0.616	0.79	0.86
	M7	Reforzado o Confinado	0.14	0.33	0.451	0.633	0.7

Fuente: Giovinazzi y Lagomarsino (2004)

$$V_i = 0.616$$

Valor obtenido de la tabla 5.9, tipología M4 (roca masiva), según la escala EMS 98, la tipología roca masiva es igual a la considerada en Europa.

- Índice de vulnerabilidad según modificadores sísmicos

Para su cálculo se utiliza la ecuación 2.11 y la tabla 2.9

La tabla a continuación, se refiere a la tabla 2.9, traducida y modificada para usarla como hoja de cálculo.

**TABLA 5.10 CUANTIFICACIÓN DE LOS MODIFICADORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD**

<b>MODIFICADORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD</b>			
<b>COMPORTAMIENTO MODIFICADOR</b>	<b>MAMPOSTERÍA</b>	<b>Vmk</b>	
<b>ESTADO DE PREVENSIÓN</b>	<b>BUENO</b>	-0.04	<b>-0.04</b>
	<b>MALO</b>	0.04	
<b>NÚMERO DE PISOS</b>	<b>BAJO(1 a 2)</b>	-0.08	
	<b>MEDIO(3,4o5)</b>	0	0
	<b>ALTO (6 O MÁS)</b>	(+0.08)	
<b>SISTEMA ESTRUCTURAL</b>	<b>ESPESOR PARED</b>	-0.04	
	<b>DISTANCIA PARED</b>		
	<b>CONEXIÓN PARED</b>	0.04	<b>0.04</b>
<b>IRREGULARIDAD EN PLANTA</b>	<b>GEOMETRÍA</b>	0.04	
	<b>DISTRIBUCIÓN MASA</b>	0.04	
<b>IRREGULARIDAD VERTICAL</b>	<b>GEOMETRÍA</b>		
	<b>DISTRIBUCIÓN MASA</b>	0.04	
<b>PISOS SUPERPUESTOS</b>		0.04	
<b>TECHO</b>	<b>PISO EMPUJE Y CONEXIÓN</b>	0.04	<b>0.04</b>
<b>INTERVENCIÓN CON REEQUIPAMIENTO</b>		-0.08	
		0.08	<b>0.08</b>
<b>DISPOSITIVOS SISMORESISTENTES</b>	<b>BARBACANA ARCO DE LAMINA CONTRAFUERTE</b>	-0.04	
<b>POSICIÓN DEL EDIFICIO</b>	<b>MEDIO</b>	-0.04	
	<b>ESQUINA</b>	0.04	<b>0.04</b>
	<b>ENCABEZADO</b>	0.06	
<b>ELEVACIÓN DEL EDIFICIO</b>	<b>PISOS ESCALONADOS</b>	0.04	
	<b>EDIFICIOS CON DIFERENTES ALTURAS</b>	0.04++0.04	
<b>CIMENTACIÓN</b>	<b>DIFERENTES NIVELES DE CIMENTACIÓN</b>	0.04	
		<b>ΣVmk</b>	<b>0.16</b>

Elaboración: Neptalí Romero

$$\Delta V_m = 0.16$$

- Índice de vulnerabilidad regional ( $\Delta V_R$ )



Se trata del índice ya calculado para la ciudad de Azogues, en cuanto se refiere a tipologías de mampostería.

	ADOBE MALO
$V_I^* =$	0.84
$\Delta V_m =$	0.04
$\Delta V_R =$	0.02

El valor del índice de vulnerabilidad calculado sería:

$$V_I = 0.80$$

EL índice de vulnerabilidad calculado pertenece a la clase de vulnerabilidad más alta A y es representado por el color rojo, Véase figura 5.3.

**TABLA 5.11** CLASES DE VULNERABILIDADES SEGÚN GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO VULNERABILIDAD DE ROCA MASIVA

Vulnerabilidad	Color	$V_I$
<b>A</b>		0.78 a 1.02
<b>B</b>		0.62 a 0.86
<b>C</b>		0.46 a 0.7
<b>D</b>		0.3 a 0.54
<b>E</b>		0.14 a 0.38
<b>F</b>		0.02 a 0.22

Elaboración: Neptalí Romero

#### 4. MAMPOSTERÍA DE LADRILLO NO REFORZADO Y PISO DE HORMIGÓN ARMADO (T3MAM)

Este tipo de edificaciones, comienzan a realizarse a partir del año 1970, debido al establecimiento de la fábrica de cemento en la localidad. Véase figura 5.6.

**FIGURA 5.6** EDIFICACIÓN DE MAMPOSTERÍA DE LADRILLO NO REFORZADO Y PISO DE HORMIGÓN ARMADO



Fuente: archivo particular

- Índice de vulnerabilidad tipológico ( $V_t^*$ ).

Utilizando la tabla 2.8 propuesta por Giovinazzi y Lagomarsino se escoge el valor del índice de vulnerabilidad tipológica, para mampostería de ladrillo no reforzado con piso de hormigón armado, se tiene:

**TABLA 5.12** VALORES DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA LAS TIPOLOGÍAS DE EDIFICIOS. TIPOLOGÍA M6.

Tipologías		Tipo de edificios	Clases de vulnerabilidad				
			V <sub>min.</sub>	V <sub>l.</sub>	V <sub>l</sub> *	V <sub>l</sub> †	V <sub>max.</sub>
Mampostería	M1	Roca de cantera	0.62	0.81	0.873	0.98	1.02
	M2	Adobe (ladrillo de tierra)	0.62	0.687	0.84	0.98	1.02
	M3	Roca simple	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	M4	Roca masiva	0.3	0.49	0.616	0.793	0.86
	M5	no reforzada (ladrillo viejo)	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	M6	Ladrillo no reforzado, piso de HA	0.3	0.49	0.616	0.79	0.86
	M7	Reforzado o Confinado	0.14	0.33	0.451	0.633	0.7

Fuente: Giovinazzi y Lagomarsino (2004)

$$V_l^* = 0.616$$

Es el valor obtenido de la tabla 5.12, tipología (M6) mampostería.

- Índice de vulnerabilidad regional ( $\Delta V_R$ )

Es el índice ya cuantificado para la ciudad de Azogues, para mampostería.

	ADOBE MALO
V <sub>l</sub> *=	0.84
$\Delta V_m$ =	0.04
$\Delta V_R$ =	0.02

- Índice de vulnerabilidad según modificadores sísmicos

Utilizando la ecuación 2.11 y la tabla 2.9 ya definidos en el capítulo 2, se procede a la cuantificación

**TABLA 5.13** CUANTIFICACIÓN DE LOS MODIFICADORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

<b>MODIFICADORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD</b>			
<b>COMPORTAMIENTO MODIFICADOR</b>	<b>MAMPOSTERÍA</b>	<b>Vmk</b>	
<b>ESTADO DE PREVENSIÓN</b>	<b>BUENO</b>	-0.04	
	<b>MALO</b>	0.04	<b>0.04</b>
<b>NÚMERO DE PISOS</b>	<b>BAJO(1 a 2)</b>	-0.08	<b>-0.08</b>
	<b>MEDIO(3,4o5)</b>	0	
	<b>ALTO (6 O MÁS)</b>	(+0.08)	
<b>SISTEMA ESTRUCTURAL</b>	<b>ESPEJOR PARED</b>	-0.04	
	<b>DISTANCIA PARED</b>		
	<b>CONEXIÓN PARED</b>	0.04	<b>0.04</b>
<b>IRREGULARIDAD EN PLANTA</b>	<b>GEOMETRÍA</b>	0.04	
	<b>DISTRIBUCIÓN MASA</b>	0.04	
<b>IRREGULARIDAD VERTICAL</b>	<b>GEOMETRÍA</b>		
	<b>DISTRIBUCIÓN MASA</b>	0.04	
<b>PISOS SUPERPUESTOS</b>		0.04	
<b>TECHO</b>	<b>PISO ENPUJE Y CONEXIÓN</b>	0.04	<b>0.04</b>
<b>INTERVENCIÓN CON REEQUIPAMIENTO</b>		-0.08	
		0.08	
<b>DISPOSITIVOS SISMORESISTENTES</b>	<b>BARBACANA ARCO DE LAMINA CONTRAFUERTE</b>	-0.04	
<b>POSICIÓN DEL EDIFICIO</b>	<b>MEDIO</b>	-0.04	
	<b>ESQUINA</b>	0.04	<b>0.04</b>
	<b>ENCABEZADO</b>	0.06	
<b>ELEVACIÓN DEL EDIFICIO</b>	<b>PISOS ESCALONADOS</b>	0.04	
	<b>EDIFICIOS CON DIFERENTES ALTURAS</b>	0.04++0.04	<b>0.04</b>
<b>CIMENTACIÓN</b>	<b>DIFERENTES NIVELES DE CIMENTACIÓN</b>	0.04	
		<b>ΣVmk</b>	<b>0.12</b>

Elaboración: Neptalí Romero

$$\Delta V_m = 0.12$$

El valor del índice de vulnerabilidad calculado es:

$$V_I = 0.76$$

Para el índice de vulnerabilidad calculado, se le asocia con la clase de vulnerabilidad tipo B y está representado por el color naranja, véase tabla 5.14.

**TABLA 5.14** CLASES DE VULNERABILIDADES SEGÚN GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO, VULNERABILIDAD DE LADRILLO NO REFORZADO CON PISO DE HORMIGÓN ARMADO

		$V_I$	
<b>A</b>		0.78 a 1.02	
<b>B</b>		0.62 a 0.86	0.76
<b>C</b>		0.46 a 0.7	
<b>D</b>		0.3 a 0.54	
<b>E</b>		0.14 a 0.38	
<b>F</b>		0.02 a 0.22	

Elaboración: Neptalí Romero.

## 5.2.2 SISTEMAS TIPOLÓGICOS DE HORMIGÓN ARMADO

1. ARMAZÓN SIN DISEÑO SISMORESISTENTE, EDIFICACIONES HASTA DOS PLANTAS (T1HA).

En la ciudad de Azogues se encuentran gran variedad de edificaciones con armazón de hormigón armado, que no se puede verificar su diseño sismoresistente, pero por investigaciones a profesionales del sector, se puede aseverar que las edificaciones de 2 a 5 pisos no poseen un diseño sismoresistente.

**FIGURA 5.7** EDIFICACIÓN HORMIGÓN ARMADO SIN DISEÑO SISMORESISTENTE



Fuente: archivo particular

El procedimiento a seguir es el mismo para mampostería, los cambios que se presentan están en las tipologías.

- Índice de vulnerabilidad tipológico ( $V_i^*$ ).

Utilizando la tabla 2.8 propuesta por Giovinazzi y Lagomarsino se procede a escoger el valor del índice de vulnerabilidad tipológica para hormigón armado.

**TABLA 5.15** VALORES DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA LAS TIPOLOGÍAS DE EDIFICIOS. TIPOLOGÍA RC1.

Concreto Reforzado	RC1	Armazón sin diseño sismoresistente (DSR)	0.3	0.49	0.644	0.8	1.02
	RC2	Armazón con un nivel moderado de DSR	0.14	0.33	0.484	0.64	0.86
	RC3	Armazón con alto nivel de DSR	-0.02	0.17	0.324	0.48	0.7
	RC4	Paredes sin DSR	0.3	0.367	0.544	0.67	0.86
	RC5	Paredes con un nivel moderado de DSR	0.14	0.21	0.384	0.51	0.7
	RC6	Paredes con un nivel alto de DSR	-0.02	0.047	0.224	0.35	0.54

Fuente: Giovinazzi y Lagomarsino (2004)

$$.V_i^* = 0.644$$

Valor obtenido de la tabla 5.15, tipología RC1 concreto reforzado sin diseño sismoresistente

- Índice de vulnerabilidad según modificadores sísmicos

Utilizando la ecuación 2.11 y la tabla 2.9, presentada en el capítulo 2, se calculó el índice de vulnerabilidad debido a modificadores sísmicos.

**TABLA 5.16** CUANTIFICACIÓN DE LOS MODIFICADORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

MODIFICADORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD					
COMPORTAMIENTO MODIFICADOR	HORMIGÓN REFORZADO NSR	bajo Vmk	medio Vmk	alto Vmk	
ESTADO DE PREVENSIÓN	BUENO				
	MALO	0.04	0.02	0	
NÚMERO DE PISOS	BAJO(1 a 2)	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02
	MEDIO(3,4o5)	0	0	0	
	ALTO (6 0 más)	0.04	0.04	0.04	
IRREGULARIDAD EN PLANTA	GEOMETRÍA	0.04	0.02	0	
	DISTRIBUCIÓN MASA	0.02	0.01	0	
IRREGULARIDAD VERTICAL	GEOMETRÍA	0.04	0.02	0	
	DISTRIBUCIÓN MASA	0.04	0.02	0	
POSICIÓN DEL EDIFICIO	INSUFICIENTE ARTICULACIONES SÍSMICAS	0.04	0	0	0.04
CIMENTACIÓN	VIGA	-0.04	0	0	
	VIGAS CONECTADAS	0	0	0	
	AISLAMIENTO DE PIE	0.04	0	0	0.04
	COLUMNAS CORTAS	0.02	0.01	0	
	ARCOS DE VENTANAS	0.04	0.02	0	
				<b><math>\Sigma Vmk</math></b>	<b>0.06</b>

Elaboración: Neptalí Romero

$$\Delta V_m = 0.06$$

- Índice de vulnerabilidad regional ( $\Delta V_R$ )

Para la evaluación de la vulnerabilidad regional de la ciudad de Azogues, se procede a calibrar el índice regional utilizando terremotos históricos de la ciudad de Azogues o de otros lugares del Ecuador, que presenten sistemas constructivos parecidos.

Giovinazzi y Lagomarsino, propone la Ecuación 2.12, para el cálculo del grado de daño, la misma que relaciona la intensidad en la Escala Macrosísmica Europea y el índice de vulnerabilidad; esto sirve de ayuda para el cálculo el índice de vulnerabilidad, ya que se conoce la intensidad y grado de daño de un sismo dado.

Del catálogo sísmico del Instituto Geofísico de la Escuela politécnica Nacional, se obtiene la intensidad sísmica del terremoto de Baeza del 5 de marzo de 1987; la misma presenta una intensidad valorada según la escala EMS 98 de 7, datos obtenidos de los apuntes de Riesgo Sísmico.

**FIGURA 5.8** INTENSIDAD DE BAEZA VIEJA, PROVINCIA DE NAPO, SISMO DE 1987

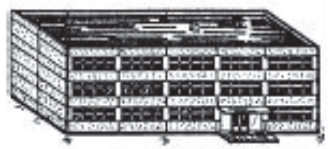
LOCALIDAD	PROVINCIA	EFFECTOS EN LAS EDIFICACIONES	OTROS EFFECTOS	INTENSIDAD EMS
Baeza vieja	Napo	Destrucción parcial de casa de concreto. Falla estructural por defecto de construcción.	Grietas en el terreno en muchos lugares. En las viviendas caída o desplazamiento de muebles a gran distancia. Se rompe todo. Imposible caminar; caen las personas al suelo.	7
		Construcción mixta de madera y cemento: caen paredes, destrucción parcial de la construcción. Separación de pilares y vigas. Grietas grandes y profundas en paredes.		7
		En otros edificios de concreto: Grietas grandes y profundas en paredes. Caída de muros.		7
		Const. madera, regular: destrucción total. Separación de pilares y vigas.		7

Fuente: Apuntes Riesgo Sísmico, Juan Carlos Singaicho M Sc



Según la descripción de los daños producidos en la ciudad de Baeza, se puede considerar un grado de daño, utilizando las tablas de daño de la metodología EMS 98 para edificios de hormigón armado.

**FIGURA 5.9** CLASIFICACIÓN DEL DAÑO EN EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO

	<p><b>Grado 2: Daños moderados</b>  <b>(daño estructural leve, daño estructural moderado)</b>          Grietas en columnas, vigas y muros estructurales          Grietas en particiones y tabiques; caída de revestimiento frágil y guarnecido. Caída de mortero en las uniones de paneles de marcos</p>
-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: Escala Macrosísmica Europea EMS 98

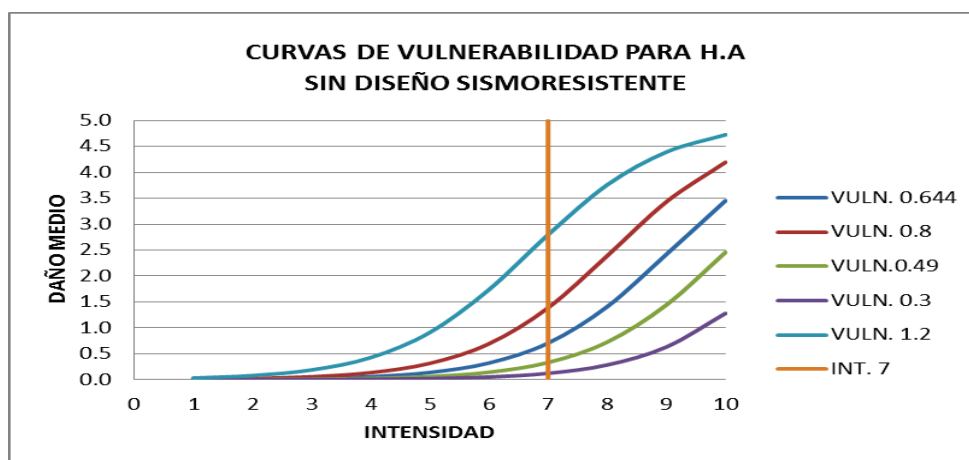
Se puede asociar daño grado “2” caracterizado según la tabla de la EMS 98 como daños leves y moderados. Luego aplicando la ecuación de grado de daño se obtiene el índice de vulnerabilidad total, restándole el índice tipológico y los modificadores sísmicos podemos cuantificar y calibrar el índice de vulnerabilidad regional.

El grado de daño “2” en la EMS-98 representa un valor cualitativo de las causas de un sismo, que ha sido caracterizada comparando sismos históricos; mientras que los valores cuantitativos de la metodología presentada por Giovinazzi y Lagomarsino, es la cuantificación numérica del daño medio como se ha expresado en el capítulo 2.

La curva de vulnerabilidad caracteriza una función continua de valores que compara el daño producido respecto a la intensidad valorada. Por lo tanto, el valor del daño para la cuantificación del factor de vulnerabilidad regional será calculada de las curvas de vulnerabilidad características del armazón de hormigón armado sin diseño sismoresistente presentado en la tabla 2.8., para

los valores más probables, probables y menos probables como se demuestra en la figura 5.10 a continuación.

**FIGURA 5.10** CURVA DE VULNERABILIDAD PARA ARMAZÓN DE H.A SIN DISEÑO SISMORESISTENTE.



Elaboración: Neptalí Romero

Al revisar los valores de daño en el punto de intersección de la intensidad con la curva de vulnerabilidad para cada índice tenemos, véase tabla 5.17.

**TABLA 5.17** RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD REGIONAL

I	VULN.	Valor	DAÑO	$\Delta V_r$	COMENTARIO
7	más probable VI*	0.644	0.7066	-0.1	no tiene significado físico
7	probable VI+	0.8	1.3879	0.06	valor representativo pero no cubre todos los valores para una vulnerabilidad clase B
7		Valor promedio	1.5	0.08	valor probable para clase de vulnerabilidad B
7	menos probable VI++	1.2	2.7975	0.02	daño 3 no se produce en los edificios de HA
7	probable VI-	0.49	0.2854	-0.18	no tiene significado físico
7	menos probable VI--	0.3	0.1237	-0.44	no tiene significado físico

Elaboración: Neptalí Romero

A continuación se calcula el valor  $\Delta V_R$ , utilizando una hoja de cálculo, los resultados son los presentados en la tabla 5.18.

**TABLA 5.18** CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD E ÍNDICE DE VULNERABILIDAD REGIONAL

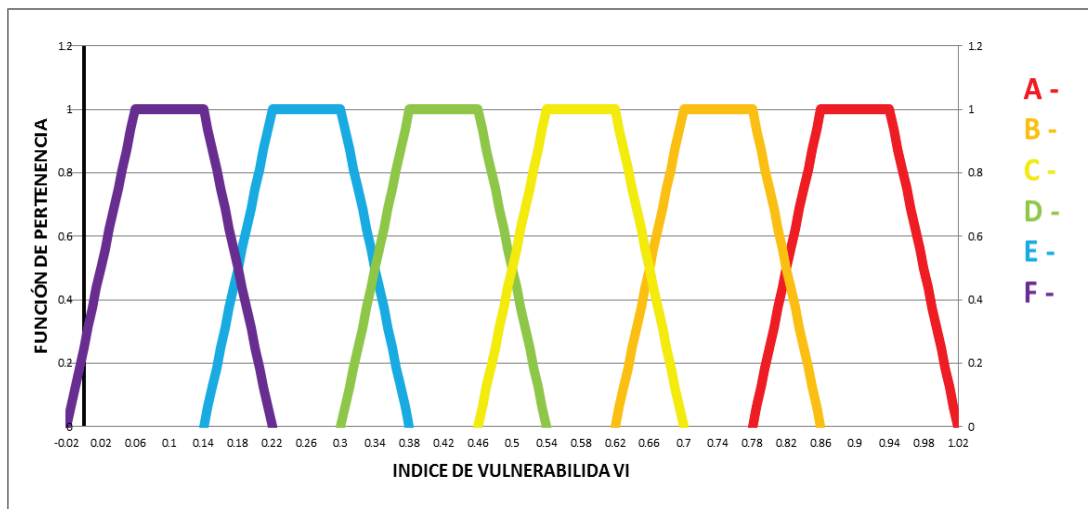
$\mu D(\text{grado de daño})=$	1.5		
$I(\text{intensidad})=$	7		
$\text{arctanh}((\mu D/2.5)-1)=$	-0.42		
$(I-13.1)/2.3=$	-2.65		
$\text{arctanh}(\mu D/2.5)-(I-13.1)/2.3=$	2.23		
$6.25/2.30$	2.72		
$V_I=$	0.82		
			T3H
		$V_I^*=$	0.644
		$\Delta V_m=$	0.1
		$\Delta V_R=$	0.08

Elaboración: Neptalí Romero

El valor del índice de vulnerabilidad para hormigón armado con una vulnerabilidad regional de 0.08 es:

$$V_I = 0.784$$

**FIGURA 5.11** CLASES DE VULNERABILIDAD PARA LAS FUNCIONES DE PERTENENCIAS DE LOS INDICES DE VULNERABILIDAD



Fuente: Giovinazzi y Lagomarsino (2004)

Para el valor del índice de vulnerabilidad de 0.784 se puede identificar como clase de vulnerabilidad A. Esta clase de vulnerabilidad se representa con color rojo. Como se aprecia en la tabla 5.19 y figura 5.11.

**TABLA 5.19** CLASES DE VULNERABILIDADES SEGÚN GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO, VULNERABILIDAD DE ARMAZÓN DE HORMIGÓN ARMADO EDIFICACIONES DE 2 PISOS

Vulnerabilidad	Color	$V_I$	
<b>A</b>		0.78 a 1.02	0.784
<b>B</b>		0.62 a 0.86	
<b>C</b>		0.46 a 0.7	
<b>D</b>		0.3 a 0.54	
<b>E</b>		0.14 a 0.38	
<b>F</b>		0.02 a 0.22	

Elaboración: Neptalí Romero

## 2. ARMAZÓN SIN DISEÑO SISMORESISTENTE EDIFICACIONES DE 3 A 5 PLANTAS (T2HA)

**FIGURA 5.12** EDIFICACIÓN HORMIGÓN ARMADO SIN DISEÑO SISMORESISTENTE



Fuente: archivo particular

- Índice de vulnerabilidad tipológico ( $V_I^*$ ).

El índice de vulnerabilidad tipológica, se considera para edificaciones sin diseño sismoresistente, por lo explicado en el apartado 1 de la sección 5.2.2.

**TABLA 5.20** VALORES DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA LAS TIPOLOGÍAS DE EDIFICIOS HORMIGÓN ARMADO.

Concreto Reforzado	RC1	Almacén sin diseño sismoresistente (DSR)	0.3	0.49	0.644	0.8	1.02
	RC2	Almacén con un nivel moderado de DSR	0.14	0.33	0.484	0.64	0.86
	RC3	Almacén con alto nivel de DSR	-0.02	0.17	0.324	0.48	0.7
	RC4	Paredes sin DSR	0.3	0.367	0.544	0.67	0.86
	RC5	Paredes con un nivel moderado de DSR	0.14	0.21	0.384	0.51	0.7
	RC6	Paredes con un nivel alto de DSR	-0.02	0.047	0.224	0.35	0.54

Fuente: Giovinazzi y Lagomarsino (2004)

$$V_i^* = 0.644$$

Valor obtenido de la tabla 5.20, tipología (RC1), concreto reforzado sin diseño sismoresistente.

- Índice de vulnerabilidad según modificadores sísmicos

De la misma manera, se utiliza la ecuación 2.11 y la tabla 2.9, propuesta en el capítulo 2.

**TABLA 5.21 CUANTIFICACIÓN DE LOS MODIFICADORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD**

MODIFICADORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD					
COMPORTAMIENTO MODIFICADOR	HORMIGÓN REFORZADO NIVEL DSR	bajo Vmk	medio Vmk	alto Vmk	
ESTADO DE PREVENSIÓN	BUENO				
	MALO	0.04	0.02	0	
NÚMERO DE PISOS	BAJO(1 a 2)	-0.02	-0.02	-0.02	
	MEDIO(3,4o5)	0	0	0	0
	ALTO (6 0 más)	0.04	0.04	0.04	
IRREGULARIDAD EN PLANTA	GEOMETRÍA	0.04	0.02	0	
	DISTRIBUCIÓN MASA	0.02	0.01	0	
IRREGULARIDAD VERTICAL	GEOMETRÍA	0.04	0.02	0	
	DISTRIBUCIÓN MASA	0.04	0.02	0	
POSICIÓN DEL EDIFICIO	INSUFICIENTE ARTICULACIONES SISMICAS	0.04	0	0	0.04
CIMENTACIÓN	VIGA	-0.04	0	0	-0.04
	VIGAS CONECTADAS	0	0	0	
	AISLAMIENTO DE PIE	0.04	0	0	0.04
	COLUMNAS CORTAS	0.02	0.01	0	0.02
	ARCOS DE VENTANAS	0.04	0.02	0	
				<b>ΣVmk</b>	0.06

Elaboración: Neptalí Romero

$$\Delta V_m = 0.06$$

- Índice de vulnerabilidad regional ( $\Delta V_R$ )

Es el resultado del cálculo y calibración del valor para edificios de hormigón armado, siendo este:

	T3H
$V_I^*$	0.644
$\Delta V_m$	0.1
$\Delta V_R$	0.08

El valor del índice de vulnerabilidad es:

$$V_i = 0.784$$

Para el valor de 0.784 del índice de vulnerabilidad, según el figura 5.11, pertenece a la clase de vulnerabilidad A, esta clase de vulnerabilidad se representa con color rojo.

**TABLA 5.22** VULNERABILIDADES SEGÚN GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO  
ARMAZÓN DE HORMIGÓN ARMADO, EDIFICACIONES DE 3 A 5 PISOS

Vulnerabilidad	Color	$V_i$
<b>A</b>		0.78 a 1.02
<b>B</b>		0.62 a 0.86
<b>C</b>		0.46 a 0.7
<b>D</b>		0.3 a 0.54
<b>E</b>		0.14 a 0.38
<b>F</b>		0.02 a 0.22

Elaboración: Neptalí Romero

### 3. ARMAZÓN SIN DISEÑO SISMORESISTENTE EDIFICACIONES DE MÁS DE 5 PLANTAS (T3HA).

La mayoría de las edificaciones de más de cinco pisos, son de hormigón armado con paredes de bloque, o con una mezcla entre bloque y ladrillo de tierra cocido. Se conoce por información encuestada a profesionales de Ingeniería Civil, que estos edificios no fueron supervisados su construcción, por profesionales en el campo de la ingeniería o arquitectura. Por lo expuesto, y las características recopiladas en campo se valoró el índice de vulnerabilidad. Esta tipología está representada en la figura 5.13.

**FIGURA 5.13** TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA DE HORMIGÓN ARMADO SIN DISEÑO SISMORESISTENTE, EDIFICIO DE MÁS DE 5 PISOS



Fuente: archivo particular

- Índice de vulnerabilidad tipológico ( $V_i^*$ ).

Utilizando la tabla propuesta por Giovinazzi y Lagomarsino, para selección de la vulnerabilidad tipológica, se procede a escoger el valor del índice de vulnerabilidad tipológica para hormigón armado.

**TABLA 5.23** VALORES DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA LAS TIPOLOGÍAS DE EDIFICIOS

Concreto Reforzado	RC1	Armazón sin diseño sismoresistente (DSR)	0.3	0.49	0.644	0.8	1.02
	RC2	Armazón con un nivel moderado de DSR	0.14	0.33	0.484	0.64	0.86
	RC3	Armazón con alto nivel de DSR	-0.02	0.17	0.324	0.48	0.7
	RC4	Paredes sin DSR	0.3	0.367	0.544	0.67	0.86
	RC5	Paredes con un nivel moderado de DSR	0.14	0.21	0.384	0.51	0.7
	RC6	Paredes con un nivel alto de DSR	-0.02	0.047	0.224	0.35	0.54

Fuente: Giovinazzi y Lagomarsino (2004)

$$VI = 0.644$$



Valor obtenido de la tabla 2.8, tipología RC1 concreto reforzado sin diseño sismoresistente.

- Índice de vulnerabilidad regional ( $\Delta V_R$ )

El valor a continuación se calibro y calculó para edificios de hormigón armado; siendo el valor el siguiente:

	T3H
$V_{I*} =$	0.644
$\Delta V_m =$	0.1
$\Delta V_R =$	0.08

- Índice de vulnerabilidad según modificadores sísmicos

La tabla a continuación se refiere a la tabla 2.9 traducida y modificada para usarla como hoja de cálculo.

**TABLA 5.24** CUANTIFICACIÓN DE LOS MODIFICADORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

MODIFICADORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD					
COMPORTAMIENTO MODIFICADOR	HORMIGÓN REFORZADO NIVEL DSR	bajo Vmk	medio Vmk	alto Vmk	
ESTADO DE PREVENSIÓN	BUENO				
	MALO	0.04	0.02	0	
NÚMERO DE PISOS	BAJO(1 a 2)	-0.02	-0.02	-0.02	
	MEDIO(3,4o5)	0	0	0	
	ALTO (6 0 más)	0.04	0.04	0.04	0.04
IRREGULARIDAD EN PLANTA	GEOMETRÍA	0.04	0.02	0	
	DISTRIBUCIÓN MASA	0.02	0.01	0	

TABLA 5.24 CONTINUACIÓN

IRREGULARIDAD VERTICAL	GEOMETRÍA	0.04	0.02	0	
	DISTRIBUCIÓN MASA	0.04	0.02	0	
POSICIÓN DEL EDIFICIO	INSUFICIENTE ARTICULACIONES SÍSMICAS	0.04	0	0	0.04
CIMENTACIÓN	VIGA	-0.04	0	0	-0.04
	VIGAS CONECTADAS	0	0	0	
	AISLAMIENTO DE PIE	0.04	0	0	0.04
	COLUMNAS CORTAS	0.02	0.01	0	0.02
	ARCOS DE VENTANAS	0.04	0.02	0	
				<b><math>\Sigma V_{mk}</math></b>	<b>0.1</b>

Elaboración: Neptalí Romero

$$\Delta V_m = 0.10$$







La tabla penaliza el índice de vulnerabilidad según: la no observación de los requerimientos sísmicos y a lo contrario, también bonifica el índice de vulnerabilidad cuando se cumple con los requerimientos sísmicos que mejoran su comportamiento.

El valor del índice de vulnerabilidad es:

$$V_i = 0.824$$

Para el valor del índice de vulnerabilidad de 0.824 se puede identificar como clase de vulnerabilidad A, esta clase de vulnerabilidad se representa con color rojo. Véase la figura 5.11.

**TABLA 5.25** CLASES DE VULNERABILIDADES SEGÚN GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO, ARMAZÓN DE HORMIGÓN ARMADO, EDIFICACIONES DE MÁS DE 5 PISOS

Vulnerabilidad	color	$V_I$	
<b>A</b>		0.78 a 1.02	0.824
<b>B</b>		0.62 a 0.86	
<b>C</b>		0.46 a 0.7	
<b>D</b>		0.3 a 0.54	
<b>E</b>		0.14 a 0.38	
<b>F</b>		0.02 a 0.22	

Elaboración: Neptalí Romero

#### 4. ARMAZÓN DE HORMIGÓN ARMADO CON DISEÑO MEDIO SISMORESISTENTE (T1HA DMRS).

Estos edificios son puntuales en la ciudad de Azogues, por lo que se conoce de manera cierta sus características constructivas y de diseño.

**FIGURA 5.14** EDIFICACIÓN DE HORMIGÓN ARMADO CON DISEÑO MEDIO SISMORESISTENTE



Fuente: archivo particular

- Índice de vulnerabilidad tipológico ( $V_I^*$ ).

Utilizando la tabla propuesta por Giovinazzi y Lagomarsino para tipologías constructivas, se procede a escoger el valor del índice de vulnerabilidad tipológica para hormigón armado.

**TABLA 5.26** VALORES DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA LAS TIPOLOGÍAS DE EDIFICIOS.

Concreto Reforzado	RC1	Almacén sin diseño sismoresistente (DSR)	0.3	0.49	0.644	0.8	1.02
	RC2	Almacén con un nivel moderado de DSR	0.14	0.33	0.484	0.64	0.86
	RC3	Almacén con alto nivel de DSR	-0.02	0.17	0.324	0.48	0.7
	RC4	Paredes sin DSR	0.3	0.367	0.544	0.67	0.86
	RC5	Paredes con un nivel moderado de DSR	0.14	0.21	0.384	0.51	0.7
	RC6	Paredes con un nivel alto de DSR	-0.02	0.047	0.224	0.35	0.54

Fuente: Giovinazzi y Lagomarsino (2004)

$$V_I^* = 0.484$$

Valor obtenido de la tabla 2.8 presentada en el capítulo 2, tipología RC2 concreto reforzado con diseño moderado sismoresistente.

- Índice de vulnerabilidad regional ( $\Delta V_R$ )

Es el que se calibro y calculó para edificios de hormigón armado, siendo el valor el siguiente:

	T3H
$V_I^* =$	0.644
$\Delta V_m =$	0.1
$\Delta V_R =$	0.08

- Índice de vulnerabilidad según modificadores sísmicos ( $\Delta V_m$ )

La tabla 5.27, se refiere a la tabla 2.9, traducida y modificada para usarla como hoja de cálculo.

**TABLA 5.27** CUANTIFICACIÓN DE LOS MODIFICADORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

MODIFICADORES DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD					
COMPORTAMIENTO MODIFICADOR	HORMIGÓN REFORZADO NIVEL DSR	bajo Vmk	medio Vmk	alto Vmk	
ESTADO DE PREVENSIÓN	BUENO				
	MALO	0.04	0.02	0	
NÚMERO DE PISOS	BAJO(1 a 2)	-0.02	-0.02	-0.02	
	MEDIO(3,4o5)	0	0	0	0
	ALTO (6 0 más)	0.04	0.04	0.04	0.04
IRREGULARIDAD EN PLANTA	GEOMETRÍA	0.04	0.02	0	
	DISTRIBUCIÓN MASA	0.02	0.01	0	
IRREGULARIDAD VERTICAL	GEOMETRÍA	0.04	0.02	0	
	DISTRIBUCIÓN MASA	0.04	0.02	0	
POSICIÓN DEL EDIFICIO	INSUFICIENTE ARTICULACIONES SÍSMICAS	0.04	0	0	0
CIMENTACIÓN	VIGA	-0.04	0	0	
	VIGAS CONECTADAS	0	0	0	
	AISLAMIENTO DE PIE	0.04	0	0	
	COLUMNAS CORTAS	0.02	0.01	0	0.01
	ARCOS DE VENTANAS	0.04	0.02	0	
				$\Sigma Vmk$	0.05

Elaboración: Neptalí Romero

$$\Delta V_m = 0.05$$

El valor del índice de vulnerabilidad es:  $V_I = 0.614$

Para el valor del índice de vulnerabilidad de 0.614 se puede identificar como clase de vulnerabilidad C, esta clase de vulnerabilidad se representa con color amarillo. Véase figura 5.11.

**TABLA 5.28** VULNERABILIDADES SEGÚN GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO, ARMAZÓN DE HORMIGÓN ARMADO, CON DISEÑO MODERADO SISMORESISTENTE

Vulnerabilidad	color	$V_I$	
<b>A</b>		0.78 a 1.02	
<b>B</b>		0.62 a 0.86	
<b>C</b>		0.46 a 0.7	0.614
<b>D</b>		0.3 a 0.54	
<b>E</b>		0.14 a 0.38	
<b>F</b>		0.02 a 0.22	

Elaboración: Neptalí Romero

### 5.2.3 TIPOLOGÍA DE ESTRUCTURA DE ACERO (T1AC).

En los últimos años se presentan en la ciudad de Azogues edificaciones de una combinación entre acero y hormigón armado, de los datos recopilados, todas las edificaciones son realizadas sin supervisión de profesionales en el campo de la ingeniería Civil y Mecánica; además esta metodología constructiva va creciendo.

**FIGURA 5.15** EDIFICACIÓN DE ESTRUCTURA DE ACERO

Fuente: archivo particular

- Índice de vulnerabilidad tipológico ( $V_i^*$ ).

Utilizando la tabla propuesta por Giovinazzi y Lagomarsino para valores de tipologías constructivas, se procede a escoger el valor del índice de vulnerabilidad tipológica para estructuras de acero.

**TABLA 5.29** VALORES DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD PARA LAS TIPOLOGÍAS DE EDIFICIOS. TIPOLOGÍAS

	RC6	Paredes con un nivel alto de DSR	-0.02	0.047	0.224	0.35	0.54
Aceros	S	Estructuras de acero	-0.02	0.17	0.324	0.48	0.7
Madera	W	Estructuras de madera	0.14	0.207	0.447	0.64	0.86

Fuente: Giovinazzi y Lagomarsino (2004)

$$V_i^* = 0.324$$

Valor obtenido de la tabla 2.8, tipología S estructuras de acero.

Índice de vulnerabilidad según modificadores sísmicos ( $\Delta V_m$ ).

Para la tipología de estructuras de acero, la metodología propuesta por Giovinazzi y Lagomarsino no presenta modificadores sísmicos.

- Índice de vulnerabilidad regional ( $\Delta V_R$ )

Es el índice que se calibro y calculó para edificios de hormigón armado, siendo el valor el siguiente:

	T3H
$V_I^*=$	0.644
$\Delta V_m=$	0.1
$\Delta V_R=$	0.08

El valor del índice de vulnerabilidad es:

$$V_I = 0.404$$

Para el valor del índice de vulnerabilidad de 0.404 se puede identificar como clase de vulnerabilidad D, esta clase de vulnerabilidad se representa con color verde. Véase figura 5.11.

**TABLA 5.30** VULNERABILIDADES SEGÚN GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO, ESTRUCTURAS DE ACERO.

Vulnerabiliad	Color	$V_I$	
<b>A</b>	Red	0.78 a 1.02	
<b>B</b>	Orange	0.62 a 0.86	
<b>C</b>	Yellow	0.46 a 0.7	
<b>D</b>	Green	0.3 a 0.54	0.404
<b>E</b>	Blue	0.14 a 0.38	
<b>F</b>	Purple	0.02 a 0.22	

Elaboración: Neptalí Romero



## **5.2.4 RESULTADOS OBTENIDOS**

La tabla a continuación, es un compendio de los valores del índice de vulnerabilidad calculados según la metodología de Giovinazzi y Lagomarsino; como también se presenta las clases de vulnerabilidad y la representación en base a colores.

Los valores cuantificados del índice de vulnerabilidad se representan con colores en forma degradante de más rojo hasta verde según el grado de vulnerabilidad.

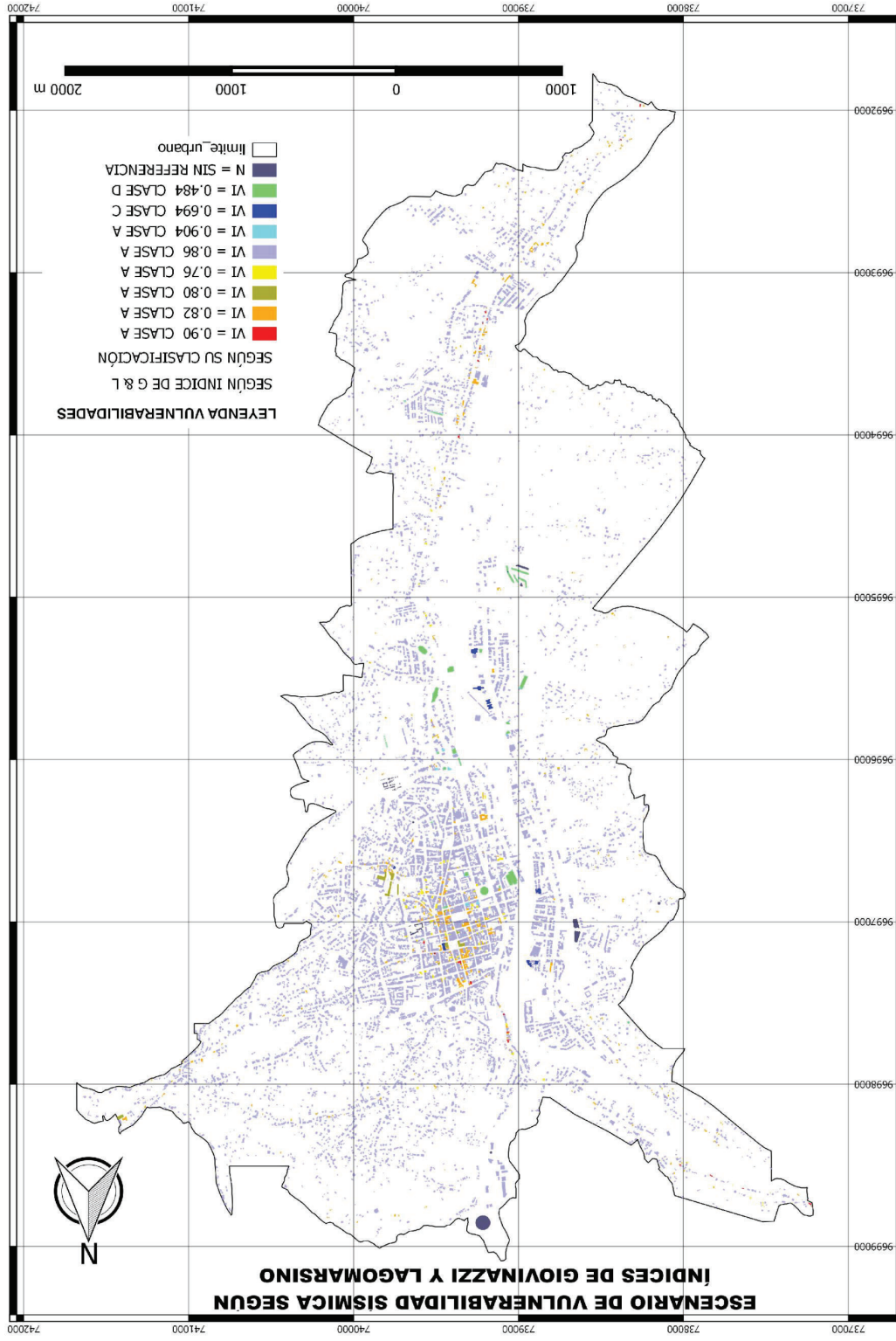
La representación del mapa de vulnerabilidades de la ciudad de Azogues, en un entorno GIS se presenta en la figura 5.16.

TABLA 5.31 RESUMEN DEL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

RESUMEN DEL CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD Y SU PERTENENCIA									
TIPOLOGIAS DE LA CIUDAD DE AZOGUES		VULN. TIPOLOGICO	VULN. REGIONAL	MODIF. SISMICO	ÍNDICE DE VULN.	CLASES DE VULN.	COLOR	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD	COLOR
ITEM	SIMBOLOGIA	MAMPOSTERIA	Vi*	$\Delta V_R$	$\Delta V/m$	Vi		Vi	IND. VULNER.
1	T1MAM	ADOBES (ESTADO BUENO)	0.84	0.02	-0.04	0.820	A	0.820	0.820
2	T2MAM	ADOBES (ESTADO MALO)	0.84	0.02	0.04	0.900	A	0.900	0.900
3	T3MAM	LADRILLO NO REFORZADO PISO DE HORMIGON ARMADO	0.616	0.02	0.12	0.760	B	0.760	0.760
4	T4MAMROCA	ROCA MASIVA	0.616	0.02	0.16	0.800	A	0.800	0.800
		<b>HORMIGON ARMADO</b>							
		<b>ARMAZON SIN DISEÑO SISMO RESISTENTE</b>							
5	T1HA	EDIFICACIÓN DE DOS PISOS TIPO VILLA	0.644	0.08	0.06	0.784	A	0.784	0.784
6	T2HA	EDIFICACION DE 3, 4 o 5 PISOS	0.644	0.08	0.06	0.784	A	0.784	0.784
7	T3HA	EDIFICACIONES MAS DE 5 PISOS	0.644	0.08	0.10	0.824	A	0.824	0.824
8	T1HADMSR	DISEÑO MEDIO SISMORESISTENTE	0.484	0.08	0.05	0.614	B	0.614	0.614
		<b>ACERO</b>							
9	T1AC	ESTRUCTURAS DE ACERO	0.324	0.08	0.00	0.404	D	0.404	0.404

Elaboración: Neptalí Romero

FIGURA 5.16 RESULTADO DEL ESCENARIO DE VULNERABILIDAD EXISTENTE EN LA CIUDAD DE AZOGUES.



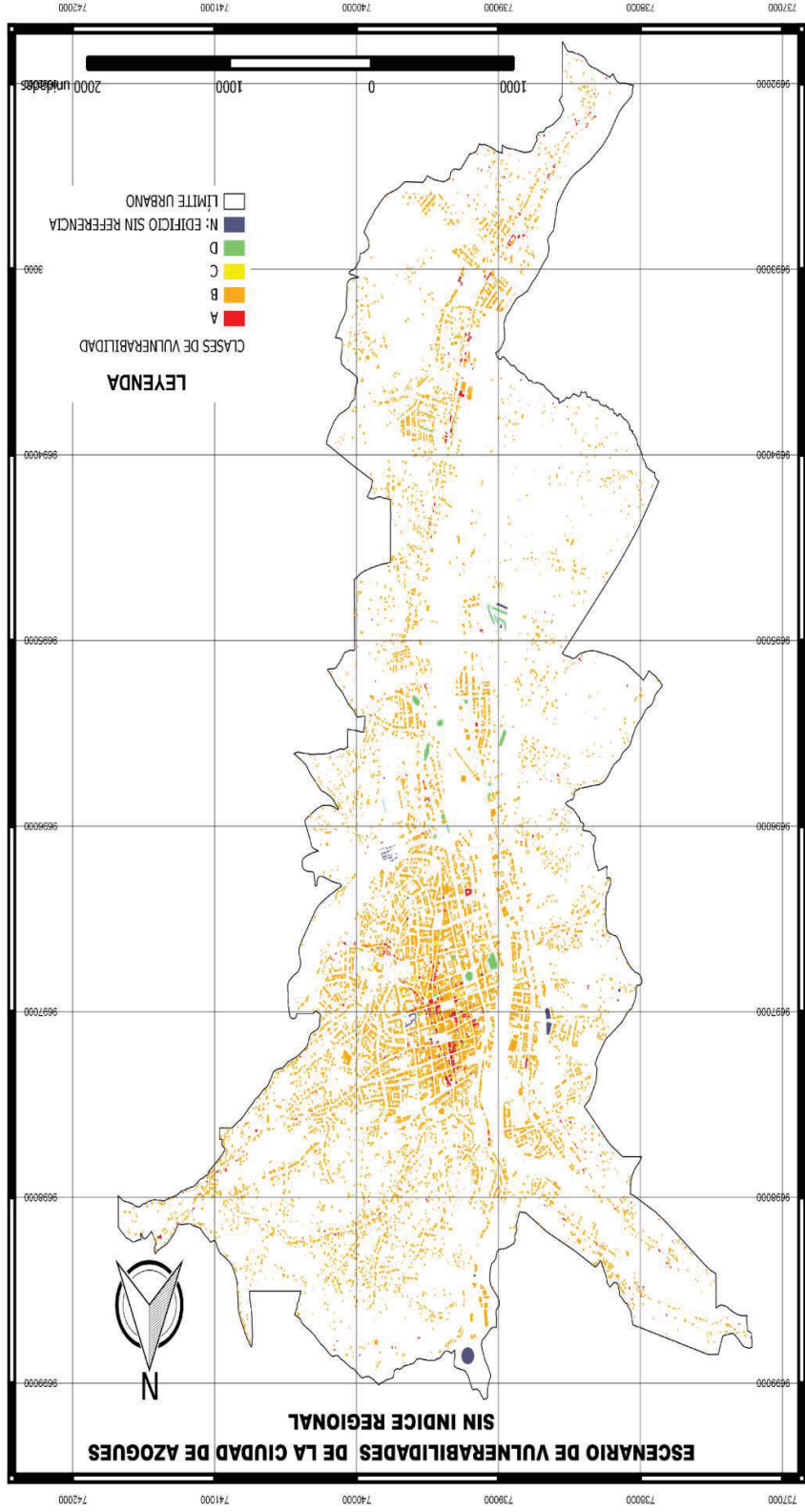
Fuente: QGIS.2.8.1-Wien-GIOVINAZZI-LAGOMARSINO  
Elaboración: Neptalí Romero

### **5.3 SIMULACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA PARA DIFERENTES ESCENARIOS**

- a) En el caso que el índice de vulnerabilidad regional no se tome en cuenta o que se considere igual a cero, en la evaluación del índice de vulnerabilidad el resultado es el siguiente:

Se puede apreciar en la figura 5.17, que la mayoría de las edificaciones presentan la clase de vulnerabilidad “B”, este fuera el caso, si se hubiera cuidado el método constructivo regional, aplicando normas ingenieriles de construcción, pero se justifica este caso debido a que hasta el año de 1970, se edificaron casas de adobe, bahareque y roca masiva sin ninguna aplicación ingenieril; y desde el año de 1970 en adelante, se realizaron construcciones de hormigón armado con las diferentes tipologías; sin control de diseño sismoresistente, ni cuidado en la metodología constructiva; en los últimos años se han construido edificios de hormigón armado con un criterio moderado de sismoresistencia, teniendo diseños a carga lateral; pero su construcción, sin la aplicación de la norma sismoresistente vigente.

FIGURA 5.17 ESCENARIO DE VULNERABILIDAD SIN ÍNDICE DE VULNERABILIDAD REGIONAL



Fuente: QGIS.2.8.1-Wien-GIOVINAZZI-LAGOMARSINO

Elaboración: Neptalí Romero

- b) En el caso de los modificadores sísmicos del índice de vulnerabilidad, se tiene una clara diferencia en el modificador de la posición del edificio, con relación a los edificios colindantes. Se puede apreciar que el centro urbano de Azogues, la densidad de las edificaciones es mayor que la de sus alrededores. Ver los figuras 5.18, 5.19.

El modificador del índice de vulnerabilidad debido a la posición del edificio con respecto a sus colindantes, bonifica con  $-0.04$  cuando está en el medio del conjunto de edificaciones o se penaliza cuando este se encuentra encabezando o en las esquinas con  $0.04$  y  $0.06$ .

En los alrededores del centro urbano de Azogues, donde las edificaciones no se encuentran juntas, como se puede ver en la figura 5.19, el modificador de posición, no se tomaría en cuenta, el valor por penalización o bonificación al ser pequeño no modifica el resultado final del valor de la vulnerabilidad, por expuesto no se divide el cálculo para los dos casos.

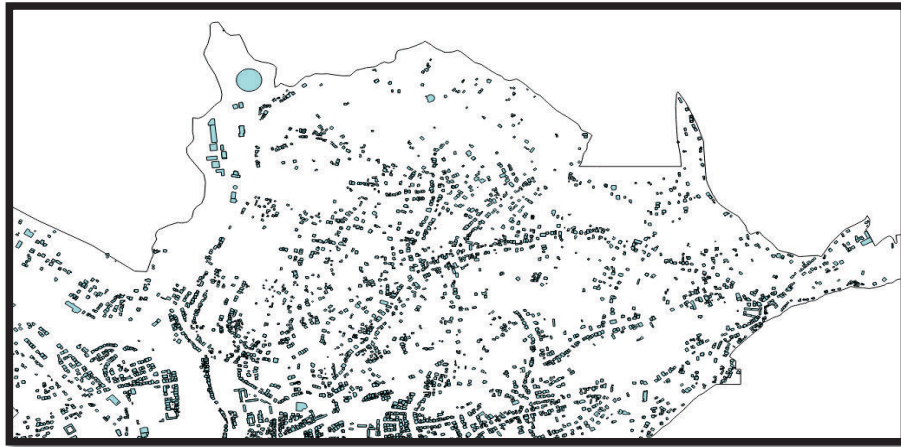
**FIGURA 5.18** EDIFICACIONES DEL CENTRO URBANO CON MAYOR DENSIDAD



Fuente: QGIS.2.8.1-Wien-GIOVINAZZI-LAGOMARSINO

Elaboración: Neptalí Romero

**FIGURA 5.19** EDIFICACIONES CON MENOS DENSIDAD ALREDEDOR DEL CENTRO URBANO



Fuente: QGIS.2.8.1-Wien-GIOVINAZZI-LAGOMARSINO

Elaboración: Neptalí Romero

- c) En la parte central urbana y en las zonas adyacentes no existe discusión en el resto de modificadores sísmicos de la vulnerabilidad, debido a que estos solo hacen referencia a la estructura propia de la edificación.

En conclusión el único escenario de vulnerabilidad es el evaluado para las tipologías escogidas, con sus respectivos índices de vulnerabilidad, ya representados en la figura 5.16 que es la que se debe tomar como referencia para los futuros estudios de daño.

#### **5.4 APROXIMACIÓN DE DAÑO SÍSMICO UTILIZANDO UN ESCENARIO DE VULNERABILIDAD**

Utilizando los datos obtenidos del cálculo de la vulnerabilidad sísmica, se proyectan escenarios de daño basándose en intensidades macrosísmicas; lo cual se evalúa utilizando la ecuación del grado de daño propuesto por Giovinazzi y Lagomarsino.

Se podría realizar escenarios de daño para intensidades que van desde 1 a 10 en la escala macrosísmica Europea (EMS 98), pero se ve como irrelevantes los resultados para intensidades de 1 a 4 ya que según la escala EMS-98 no se presentan daños. Por lo expuesto, se va a calcular el grado de daño para sismos, que se encuentran registrados en la ciudad de Azogues; además se tiene como relevante el sismo de diciembre de 1970 cuya intensidad se cuantifico en 7 en la escala macrosísmica Europea.

A continuación se presenta el cálculo de los grados de daño medio ( $\mu_D$ ).

**TABLA 5.32** CÁLCULO DE DAÑO DE LAS DIFERENTES TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS PARA UNA INTENSIDAD DE 7

ESCENARIO DE DAÑO CIUDAD DE AZOGUES							
CALCULO DEL GRADO DE DAÑO							
$\mu_D = 2.5 \left[ 1 + \tanh \left( \frac{I + 6.25V_I - 13.1}{2.3} \right) \right]$							
DAÑO	0	1	2	3	4	5	
	SIN DAÑO	LEVES	MODERADOS	SEVEROS	MUY SEVEROS	COLAPSOS	
	<b>I</b>	<b>VI</b>		$\mu_D=$			
T1MAM	7	0.82	-0.4002	1.4994	1	LEVE	
T2MAM	7	0.9	-0.2036	1.9909	2	MODERADO	
T3MAM	7	0.76	-0.5277	1.1807	1	LEVE	
T4MAMROCA	7	0.8	-0.4448	1.3879	1	LEVE	
T1HA	7	0.784	-0.4790	1.3024	1	LEVE	
T2HA	7	0.784	-0.4790	1.3024	1	LEVE	
T3HA	7	0.824	-0.3911	1.5224	2	MODERADO	
T1DMSR	7	0.614	-0.7547	0.6133	1	LEVE	
T1AC	7	0.4	-0.9163	0.2093	0	SIN DAÑO	

Elaboración: Neptalí Romero

Como se puede apreciar en la Tabla 5.32 para una intensidad sísmica de 7, las tipologías de mampostería de adobe en mal estado y edificios en hormigón armado de más de 5 pisos, presentan daños moderados.

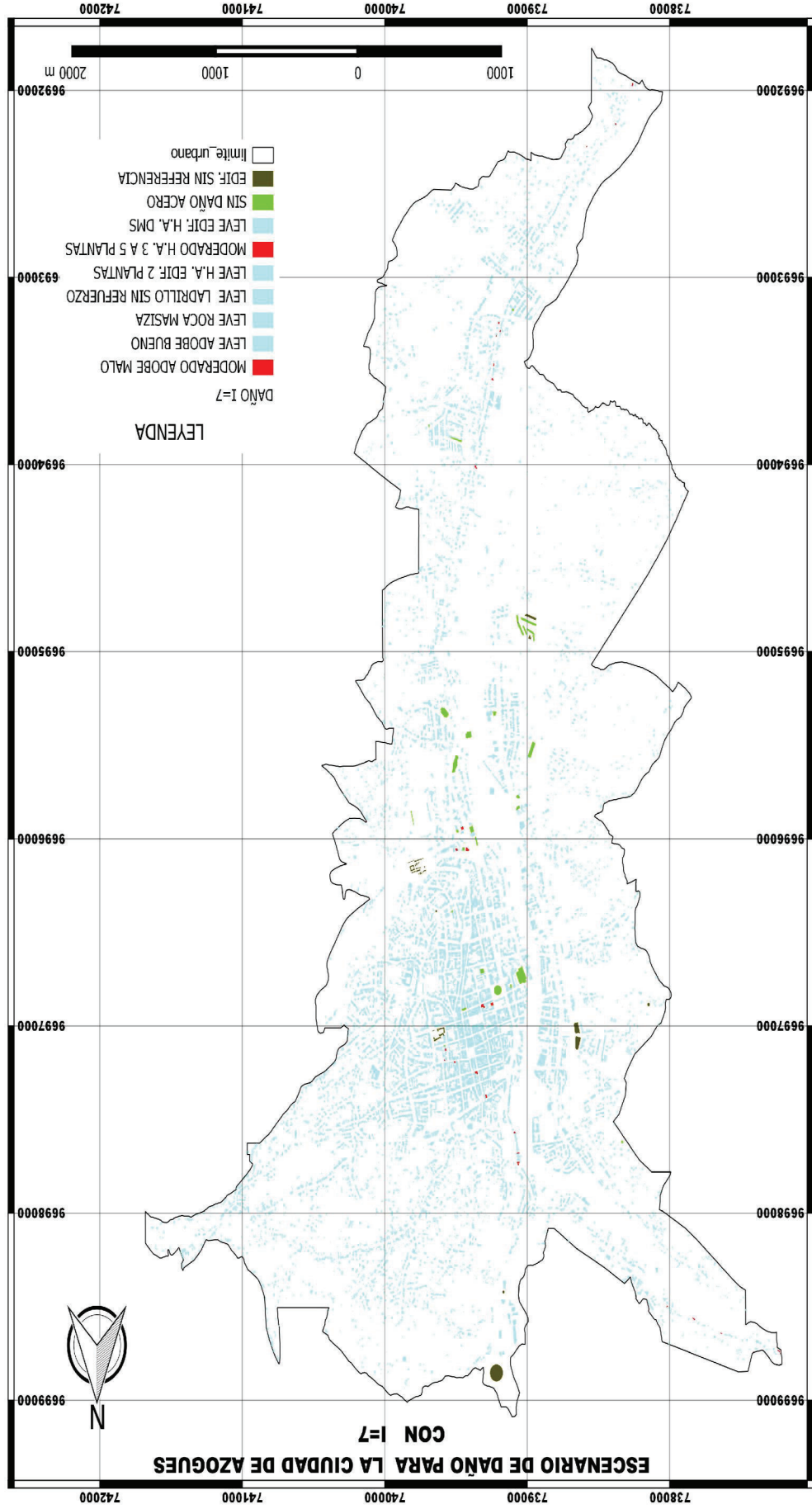


Para edificaciones de mampostería de adobe en buen estado, mampostería de roca masiva y mampostería de ladrillo no reforzado con pisos de hormigón armado presentan daños leves.

Para edificaciones de hormigón armado con diseño medio sismoresistente presenta daño leve; y para edificaciones de acero no presenta daño.

La representación de lo expuesto se puede ver en la figura 5.20.

FIGURA 5.20 CIUDAD DE AZOGUES GRADO DE DAÑO PARA UNA INTENSIDAD DE 7



Fuente: QGIS.2.8.1-Wien-DAÑO  
Elaboración: Neptalí Romero

## **CAPÍTULO 6**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **6.1 INTRODUCCIÓN**

En la evaluación de la vulnerabilidad de la ciudad de Azogues, la variedad de las tipologías existentes y el porcentaje elevado de vulnerabilidad clase A, propone un análisis detallado de los resultados obtenidos.

#### **6.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA CIUDAD DE AZOGUES.**

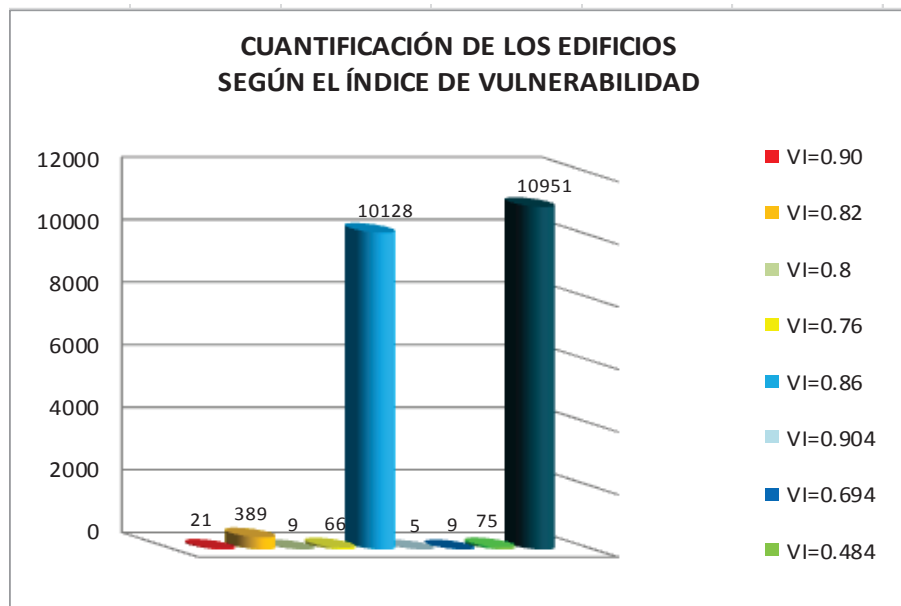
Como se puede visualizar en la Figura 6.1, las vulnerabilidades presentes son las siguientes:

- La vulnerabilidad clase A se presenta en 10742 edificaciones
- La vulnerabilidad clase B se presenta en 43 edificaciones
- La vulnerabilidad clase D se presenta en 45 edificaciones
- No se tiene vulnerabilidades clase C, E y F, debido a la no existencia de tipologías constructivas que satisfagan este criterio.

La cantidad de edificaciones evaluadas es de 10951, teniendo 121 edificaciones que no constan, debido al no estar concluida o están deshabitadas por el municipio de Azogues, hasta la fecha de la recopilación de datos en campo.

El figura 6.1 presenta la cantidad de edificaciones y sus índices de vulnerabilidad.

**FIGURA 6.1** CANTIDAD DE EDIFICACIONES EVALUADAS Y SU ÍNDICE DE VULNERABILIDAD



Fuente: archivo hoja de cálculo contador de edificaciones

Elaboración: Neptalí Romero

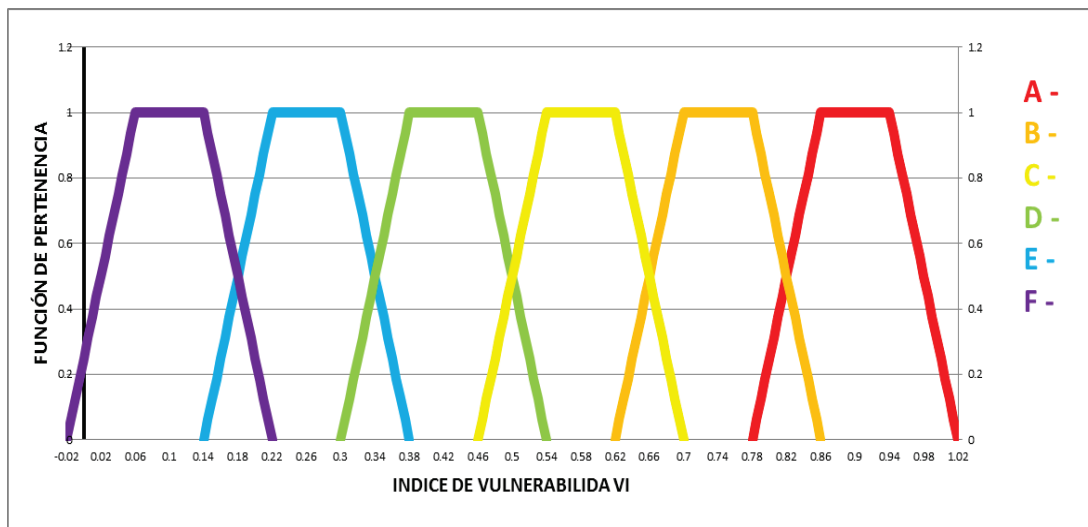
La vulnerabilidad clase A, es la más crítica en la clasificación de las vulnerabilidades según la metodología Macrosísmica Europea (EMS 98) y en la metodología propuesta por Giovinazzi y Lagomarsino.

En la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de Azogues, se presenta 10742 edificaciones con vulnerabilidad clase A.

Con esta clase de vulnerabilidad se presentan las siguientes tipologías:

1. La tipología de adobe en buen estado (T1MAM), con un valor del índice de vulnerabilidad de 0.82 según el gráfico de pertenencia de Giovinazzi y Lagomarsino, la función de pertenencia  $\chi$  es de 0.5.

**FIGURA 6.2** CLASES DE VULNERABILIDADES SEGÚN FUNCIÓN DE PERTENENCIA E ÍNDICE DE VULNERABILIDAD



Fuente: Giovinazzi y Lagomarsino 2004

Pero según la Escala Macrosísmica Europea EMS 98 la clase de vulnerabilidad más probable es de A. Véase figura 6.3.

**FIGURA 6.3** CLASES DE VULNERABILIDADES SEGÚN EMS-98

Tipo de Estructura		Clases de vulnerabilidad					
		A	B	C	D	E	F
<b>MAMPOSTERÍA</b>	Paredes de peña viva/roca de cantera	O					
	Adobe (ladrillo de tierra)	O—					
	Roca simple	-----O					
	Roca masiva		—O-----				
	Unidades de roca manufacturada		-----O-----				
	Ladrillo no reforzado, piso de HA		-----O-----				
	Reforzado o confinado			-----O—			

Fuente: EMS 98

Elaboración: Neptalí Romero

Se puede concluir que en los dos casos la vulnerabilidad designada coincide. Esta tipología presenta penalizaciones en su evaluación en los siguientes sistemas estructurales:

- La estructura del techo y la cubierta es demasiado pesado comparado con el peso total de la estructura.
  - La cimentación no se encuentra anclada, está solo asentada.
  - La posición de la edificación en el grupo de viviendas también está penalizado, debido a no poseer espacio necesario para los posibles desplazamientos diferenciales debido a cargas laterales (efecto de golpeteo).
2. La tipología de adobe en mal estado (T2MAM), con un valor de índice de vulnerabilidad de 0.90 según el gráfico de pertenencia de Giovinazzi y Lagomarsino, se ubica en la clase A, de igual manera según EMS 98 la vulnerabilidad más probable es A.

Se puede concluir, que esta clase de tipología es la más vulnerable, ya que el valor del índice de vulnerabilidad está cerca de lo requerido por las metodologías. Esta tipología se refiere a la misma anterior, pero con la particularidad que la estructura no presenta el mantenimiento necesario, lo que se penaliza.

3. La tipología de ladrillo no reforzado con piso de hormigón armado (T3MAM) que presenta un valor de índice de vulnerabilidad de 0.76 según la figura 6.2, corresponde a la intersección entre la clase de vulnerabilidad A y B, de igual manera según EMS 98, la vulnerabilidad probable es C y las más probable es B.

La diferencia que se encuentra en los valores de clase de vulnerabilidad entre las dos metodologías, se debe a los estudios de vulnerabilidad realizados comparando con terremotos ocurridos en los últimos años y el grado de pertenencia según el índice de vulnerabilidad.

Esta tipología penaliza por:

- La falta de refuerzo
- Por la falta de anclaje del techo

- Por la falta de anclaje de losas y cimientos existentes, al no tener refuerzos.
  - No presenta refuerzos para soportar carga lateral
  - No está construida con materiales dúctiles o no se conoce de la ductilidad de su estructura.
4. La tipología de mampostería de roca masiva (T4MAM ROCA), con un valor de índice de vulnerabilidad de 0.80 según la figura 6.2, se ubica en la clase de vulnerabilidad A; de igual manera, según EMS 98 la vulnerabilidad probable es C y la más probable es B.

La diferencia que se encuentra en los valores de clase de vulnerabilidad entre las dos metodologías, se debe a la calibración de las clases de vulnerabilidad realizadas con terremotos ocurridos en los últimos años y la cuantificación según el grado de pertenencia a cada clase.

La penalización de esta tipología radica en:

- La falta de refuerzo,
  - La falta de anclaje, entre techo y paredes, cimentación y paredes, pisos y paredes.
  - La roca masiva no soporta cargas laterales.
  - Los materiales de esta tipología no son dúctiles.
5. La tipología de hormigón armado, con armazón sin diseño sismoresistencia (T1HA), para edificaciones de dos plantas, con un valor de índice de vulnerabilidad de 0.784 según la figura 6.2, se ubica en la clase de vulnerabilidad A; de igual manera según EMS 98 la vulnerabilidad probable es C y los casos excepcionales es A.

La diferencia que se encuentra en los valores de clase de vulnerabilidad entre las dos metodologías, se debe a la calibración de las clases de vulnerabilidad hecha por Giovinazzi y Lagomarsino con terremotos

ocurridos en los últimos años y el grado de pertenencia según el índice de vulnerabilidad.

La penalización de esta tipología radica en:

- El diseño sin consideración de cargas laterales.
  - Insuficientes articulaciones sísmicas.
  - El no conocer el tipo de cimentación
  - La falta de supervisión técnica en la construcción de la edificación
  - El no saber el grado de ductilidad de la edificación
6. La tipología de hormigón armado con armazón sin diseño sismoresistencia (T2HA), para edificaciones de tres a cinco plantas, con un valor de índice de vulnerabilidad de 0.784 según la figura que representa los valores de pertenencia de Giovinazzi y Lagomarsino, corresponde a la clase de vulnerabilidad A; de igual manera según EMS 98 la vulnerabilidad probable es C y los casos excepcionales es A. La penalización es la misma para lo expuesto en el caso anterior.
7. La tipología de hormigón armado con armazón sin diseño sismoresistencia (T3HA), para edificaciones de más de cinco plantas, con un valor de índice de vulnerabilidad de 0.824 según la figura 6.2, corresponde a la clase de vulnerabilidad A; de igual manera según EMS 98 la vulnerabilidad probable es C y los casos excepcionales es A. La penalización es la misma para lo expuesto en el caso anterior con la variedad que el número de pisos también es penalizado.
8. La tipología de hormigón armado con diseño mederado sismoresistente (T1HADMSR), con un valor de índice de vulnerabilidad de 0.614, pertenece a la clase de vulnerabilidad B; de igual manera según EMS 98 la vulnerabilidad probable es D y en casos excepcionales es B.

La penalización de esta tipología radica en:



- El diseño sin considerar el código vigente de construcción
  - Insuficientes articulaciones sísmicas.
  - No se conoce el tipo de cimentación.
  - La falta de supervisión en la construcción de la edificación
  - El no saber el grado de ductilidad de la edificación
  - El número de plantas de la edificación, cuando sobrepasa los seis pisos.
9. La tipología de estructura de acero (T1AC) con un valor de índice de vulnerabilidad de 0.404 según la figura de los valores de pertenencia de Giovinazzi y Lagomarsino, corresponde a la clase de vulnerabilidad D; de igual manera según EMS 98 la vulnerabilidad probable es E y los casos excepcionales es D.

La penalización de esta tipología radica en:

- El diseño sin considerar el código vigente de construcción
- En no conocer el tipo de cimentación.
- La falta de supervisión en la construcción de la edificación

Las bonificaciones son consideradas debido a las propiedades mecánicas del acero, como es la ductilidad.

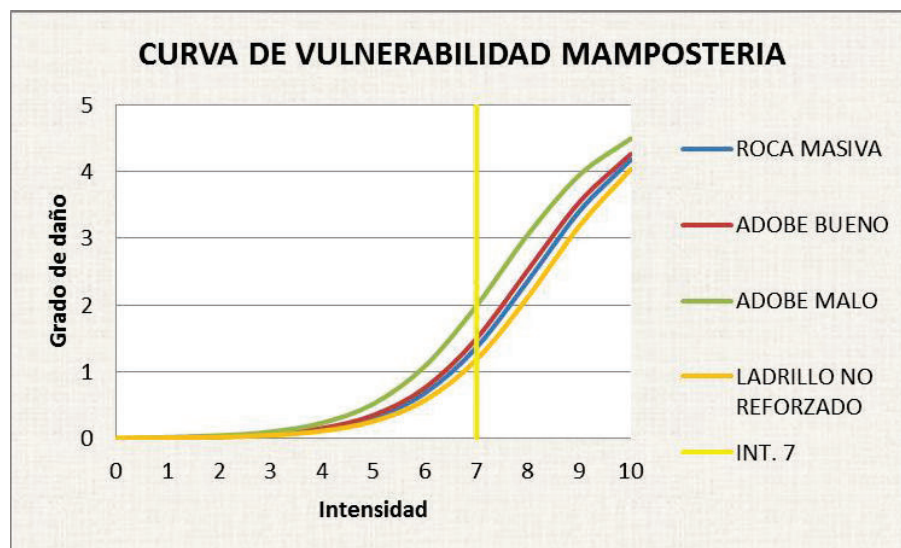
### **6.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS POSIBLES ESCENARIOS DE DAÑO DE LA CIUDAD DE AZOGUES.**

Teniendo como sismo histórico el de diciembre de 1970, considerado el más fuerte en la ciudad de Azogues al evaluar el daño sísmico; se presenta los resultados de daño en la tabla 5.3.

Hasta 1970 en la ciudad de Azogues solo se tenía dos tipologías constructivas, la de mampostería de adobe (bahareque) y mampostería de roca masiva, los resultados obtenidos según el criterio de Giovinazzi y Lagomarsino, presentan daños leves y daños moderados.

Estos resultados obtenidos se puede visualizar en las curvas de vulnerabilidad, representados en la figura 6.4.

**FIGURA 6.4** CURVAS DE INTENSIDAD VS GRADO DE DAÑO PARA MAMPOSTERÍA



Elaboración: Neptalí Romero

Para daño moderado según EMS 98 presenta: daño estructural leve y daño no estructural moderado, esto es:

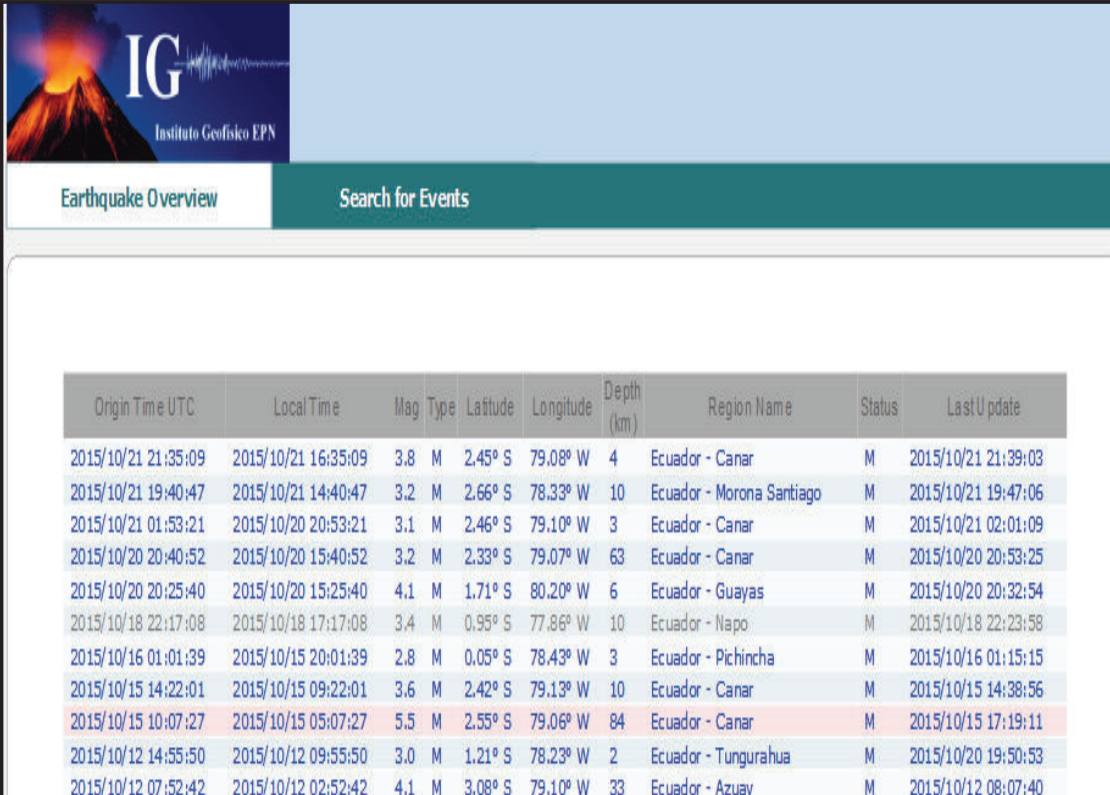
- Grietas en muchos muros
- Caída de pedazos de guarnecido
- Colapso parcial de chimeneas

Según datos obtenidos por conversaciones con personas que vivieron esos eventos sísmicos en la ciudad de Azogues, confirman lo que expone la Metodología Macrosísmica Europea con referencia a los Daños.

## 6.4 ANÁLISIS DE RESULTADO COMPARADO CON EL SISMO DEL 15 DE OCTUBRE DEL 2015 EN CAÑAR.

El 15 de octubre del 2015 en la provincia de Cañar alrededor de las 5 horas tiempo local, se registra un sismo de magnitud 5.5 en la escala de Richter; según el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. Véase figura 6.5.

**FIGURA 6.5** SISMO DE LA PROVINCIA DEL CAÑAR



Origin Time UTC	Local Time	Mag	Type	Latitude	Longitude	Depth (km)	Region Name	Status	Last Update
2015/10/21 21:35:09	2015/10/21 16:35:09	3.8	M	2.45° S	79.08° W	4	Ecuador - Canar	M	2015/10/21 21:39:03
2015/10/21 19:40:47	2015/10/21 14:40:47	3.2	M	2.66° S	78.33° W	10	Ecuador - Morona Santiago	M	2015/10/21 19:47:06
2015/10/21 01:53:21	2015/10/20 20:53:21	3.1	M	2.46° S	79.10° W	3	Ecuador - Canar	M	2015/10/21 02:01:09
2015/10/20 20:40:52	2015/10/20 15:40:52	3.2	M	2.33° S	79.07° W	63	Ecuador - Canar	M	2015/10/20 20:53:25
2015/10/20 20:25:40	2015/10/20 15:25:40	4.1	M	1.71° S	80.20° W	6	Ecuador - Guayas	M	2015/10/20 20:32:54
2015/10/18 22:17:08	2015/10/18 17:17:08	3.4	M	0.95° S	77.86° W	10	Ecuador - Napo	M	2015/10/18 22:23:58
2015/10/16 01:01:39	2015/10/15 20:01:39	2.8	M	0.05° S	78.43° W	3	Ecuador - Pichincha	M	2015/10/16 01:15:15
2015/10/15 14:22:01	2015/10/15 09:22:01	3.6	M	2.42° S	79.13° W	10	Ecuador - Canar	M	2015/10/15 14:38:56
2015/10/15 10:07:27	2015/10/15 05:07:27	5.5	M	2.55° S	79.06° W	84	Ecuador - Canar	M	2015/10/15 17:19:11
2015/10/12 14:55:50	2015/10/12 09:55:50	3.0	M	1.21° S	78.23° W	2	Ecuador - Tungurahua	M	2015/10/20 19:50:53
2015/10/12 07:52:42	2015/10/12 02:52:42	4.1	M	3.08° S	79.10° W	33	Ecuador - Azuay	M	2015/10/12 08:07:40

Fuente: [www.igenp.edu.ec](http://www.igenp.edu.ec) (2015)

Para calcular el grado de daño según el método propuesto por Giovinazzi y Lagomarsino se aplica la ecuación 2.12, la misma que relaciona al daño con la intensidad sísmica y el índice de vulnerabilidad.

Como se puede confirmar en la figura 6.5, la información sobre fuerza del sismo se presenta en valor de magnitud, esta propuesto por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. Para cambiar el valor de magnitud a un valor de intensidad, se utiliza la metodología propuesta por C. Beauval et al. (2010), que

establece el modelo de atenuación para calibración de eventos. Propone la siguiente ecuación, que relaciona: la magnitud de momento ( $M_w$ ) y la distancia epicentral, para valorar el intensidad macrosísmica en el lugar que se desea evaluar.

$$I = - (0.85 \pm 0.76) + (2.41 \pm 0.14) M_w - (5.39 \pm 0.35) \log \Delta h \quad (\text{Ec. 2.13})$$

Para hallar la Intensidad macrosísmica en la ciudad de Azogues para el sismo del 15 de octubre del 2015 se tiene:

$$M_w = 5.5$$

$\Delta h = 30$  km. (Distancia en línea recta desde el centro urbano de Azogues hasta el Epicentro sector de la Delicia).

$$I = - (0.85 \pm 0.76) + (2.41 \pm 0.14) M_w - (5.39 \pm 0.35) \log \Delta h$$

$$I = - (0.85 + 0.76) + (2.41 + 0.14) * 5.5 - (5.39 + 0.35) \log 30$$

$$\mathbf{I = 3.91}$$

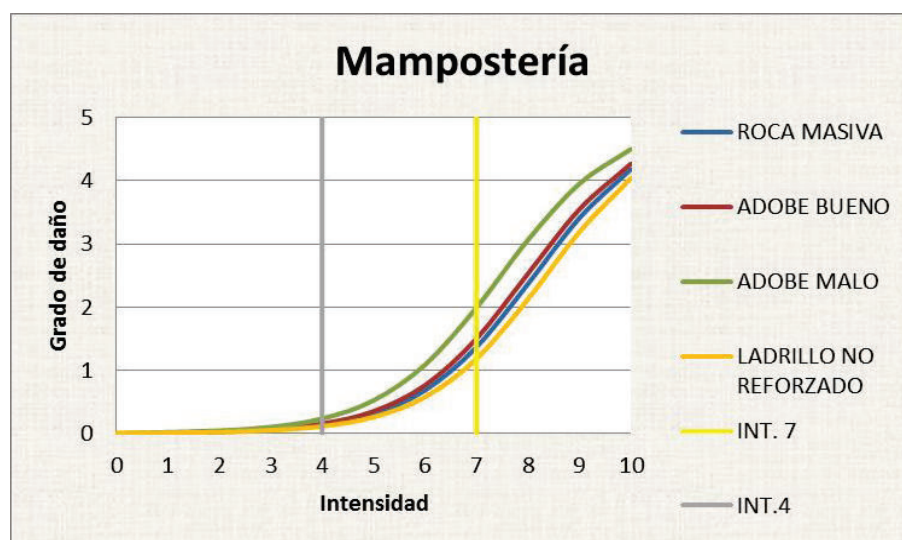
Como la Intensidad macrosísmica Europea se valora con números enteros el valor tomado es 4.

**TABLA 6.1** CÁLCULO DEL DAÑO PARA UNA INTENSIDAD DE 4 EN LA ESCALA EMS-98

ESCENARIO DE DAÑO CIUDAD DE AZOGUES CALCULO DEL GRADO DE DAÑO							
$\mu_D = 2.5 \left[ 1 + \tanh \left( \frac{I + 6.25V_I - 13.1}{2.3} \right) \right]$							
DAÑO	0	1	2	3	4	5	
	SIN DAÑO	LEVES	MODERADOS	SEVEROS	MUY SEVEROS	COLAPSOS	
	I	VI		μD=			
T1MAM	4	0.82	-0.9389	0.1529	0	SIN DAÑO	
T2MAM	4	0.9	-0.9071	0.2323	0	SIN DAÑO	
T3MAM	4	0.76	-0.9555	0.1113	0	SIN DAÑO	
T4MAMROCA	4	0.8	-0.9450	0.1376	0	SIN DAÑO	
T1HA	4	0.784	-0.9494	0.1264	0	SIN DAÑO	
T2HA	4	0.784	-0.9494	0.1264	0	SIN DAÑO	
T3HA	4	0.824	-0.9375	0.1561	0	SIN DAÑO	
T1DMSR	4	0.614	-0.9796	0.0510	0	SIN DAÑO	
T1AC	4	0.4	-0.9936	0.0160	0	SIN DAÑO	

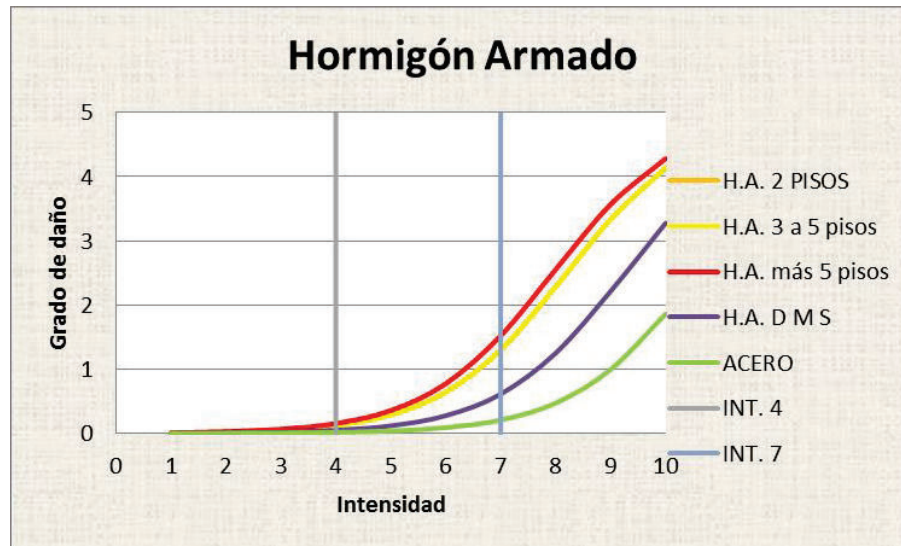
Elaboración: Neptalí Romero

**FIGURA 6.6** CURVAS DE INTENSIDA VS GRADO DE DAÑO, TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS DE AZOGUES, I = 4



Elaboración: Neptalí Romero

FIGURA 6.6 CONTINUACIÓN



Elaboración: Neptalí Romero

Los resultados de la cuantificación del daño con intensidad de 4, que corresponde a una magnitud de 5.5 en la escala de Richter establecen, que la mayoría de las edificaciones no sufren daños.

De los datos obtenidos en los medios de comunicación de la ciudad de Azogues, después del sismo del 15 de octubre del 2015, no se presenta información de daños en las edificaciones de la ciudad de Azogues.

Los datos obtenidos según Giovinazzi y Lagomarsino ratifican los resultados obtenidos del estudio.

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 CONCLUSIONES

Luego de haber evaluado la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de la ciudad de Azogues, se presentan las siguientes conclusiones:

- El 98% de las edificaciones de la ciudad de Azogues presentan un grado de vulnerabilidad clase "A", siendo la más alta en las clases de vulnerabilidad; lo que hace prever que se necesita un estudio de reforzamiento estructural para disminuir la vulnerabilidad.

El resto de edificaciones se dividen en vulnerabilidad clase "C" con un 0.39% referido a edificaciones con un diseño sismoresistente moderado, estas edificaciones son estructuras de hormigón armado de más de 6 plantas, construidas en los últimos años; y tan solo el 0.41% presenta una clase de vulnerabilidad tipo "D", esto se entiende por ser edificaciones construidas en los últimos años utilizando estructuras de acero. Como se puede visualizar en los resultados obtenidos de vulnerabilidad de la ciudad de Azogues no se presentan otras clases de vulnerabilidad como: la E o F de menor vulnerabilidad debido quizá a la falta de diseño sismoresistente o la construcción de edificaciones rigiéndose a códigos vigentes.

- Dentro de los objetivos de esta trabajo está la presentación de un mapa de vulnerabilidades de la ciudad de Azogues, que represente con mayor claridad la ubicación de las edificaciones con sus clases de vulnerabilidad; para esto se procedió a realizar dicho mapa, representando el valor de los índices de vulnerabilidad calculados, con el fin de dar una mejor

caracterización de las vulnerabilidades de las edificaciones, ya que si se presentase un mapa con los valores alfabéticos agrupados de los índices de vulnerabilidad según su pertenencia, que se clasifican en tres grupos, como se había mencionado en el párrafo anterior, no representaría con claridad la tipología y la ubicación de las edificaciones estudiadas dentro del mapa de vulnerabilidades de Azogues .

Las conclusiones referentes al proceso de evaluación de la vulnerabilidad, se puede describir de la siguiente manera:

- La ayuda del software IDCT de inventariado de datos, garantiza la correcta y plena recopilación de las características tipológicas de las edificaciones, debido a que la base de datos de encuestas del software, fue codificado según los requerimientos de la Escala Macrosísmica Europea.
- Para que exista un alto grado de certeza en la adquisición de datos, se tienen que realizar las encuestas con personal calificado, pudiendo ser este egresados de Ingeniería Civil, o estudiantes de Ingeniería Civil con un curso de preparación y supervisado por un Ingeniero con experiencia.
- La metodología propuesta por Giovinazzi y Lagomarsino, evidentemente que reduce el tiempo de levantamiento de datos, ya que utiliza la semejanza entre tipologías constructivas; si esta se compara con la metodología de la Escala Macrosísmica Europea (EMS 98) que no emplea la semejanza tipológica; se puede considerar la utilización de la metodología de Giovinazzi y Lagomarsino como idónea para ser utilizada en urbes de gran extensión.
- Tener el catastro de las edificaciones de la ciudad de estudio, levantadas por personeros de la municipalidad, se convierte en una información importante en la verificación de datos.



El procesamiento y cuantificación de los datos recopilados de las tipologías constructivas conlleva a las siguientes conclusiones:

- La falta de certeza en las características estructurales y constructivas en ciertas edificaciones, hace prever un grado de incertidumbre en el verdadero valor del índice de vulnerabilidad. Ejemplo de lo dicho:
  - Las casas de bahareque que se encuentran restauradas con enlucidos de hormigón, puede llevar a un error fácil en la clasificación de la tipología.
  - El hecho de no poder realizar una revisión interior del inmueble debido a la molestia de los ocupantes, también conlleva un grado de incertidumbre en la evaluación estructural.
  - El enlucido con hormigón de las paredes de ciertas viviendas consideradas de ladrillo no reforzado, no permite verificar su refuerzo.
  - La falta de poder verificar el tipo de cimentación de las viviendas, también conlleva a tener un grado de incertidumbre, que está reflejada en el cálculo del índice de vulnerabilidad.
  
- Se considera de gran ayuda los datos del catastro municipal de la ciudad de Azogues por las siguientes razones:
  - La fecha de construcción de las edificaciones encuestadas, contrastadas con la que tiene el catastro municipal, es valiosa, para poder identificar la tipología constructiva. Por ejemplo, hasta el año de 1970, solo se tiene tipologías de mampostería de adobe, bahareque, roca masiva.
  - El catastro municipal presenta el tipo de materiales empleados en la construcción de las edificaciones, que es importante para contrastar con lo evaluado en campo.
  - La clasificación en cuanto a la utilización de las edificaciones también ayuda para identificar el tipo de procedimientos

constructivos. Por ejemplo una edificación de vivienda unifamiliar es de dos plantas y de hormigón armado, con relleno de bloque de hormigón.

- Es de mucha importancia las conversaciones realizadas con profesionales dedicados al diseño y construcción de edificaciones, ellos han provisto de información importante sobre el cambio de la metodología constructiva a lo largo de los años de vida de la ciudad, la aplicación de normas vigentes de la construcción en el proceso constructivo y los criterios tomados para el diseño de las edificaciones; todo esta información recopilada favorece en la cuantificación del índice de vulnerabilidad.
- La recopilación de información verbal de personas que tienen referencias de sismos ocurridos en la Ciudad, que confirman el registro histórico de sismos en Azogues, revalidan la cuantificación del índice de vulnerabilidad regional.

El realizar una aproximación de escenarios de daño con las vulnerabilidades obtenidas, se presentan las siguientes conclusiones:

- La mayoría de las edificaciones presentan un índice de vulnerabilidad alta (clase A), esto da a prever un grado de daño elevado según la intensidad del sismo. La presencia de edificaciones de mampostería en mal estado con una vulnerabilidad clase A, presentan daños moderados con sismos de intensidad 7 (Escala Macrosísmica Europea).
- El índice de vulnerabilidad de las edificaciones es un valor importante en la cuantificación del daño, ya que se trata de un valor directamente proporcional al daño; como también la intensidad del sismo es directamente proporcional al daño, pero con la particularidad que el valor de la intensidad del sismo no se puede variar; como al contrario el valor de la vulnerabilidad si se puede reducir.

Las estructuras mal diseñadas y mal construidas son las más afectadas frente a un evento sísmico.

Luego de las conclusiones inherentes a la vulnerabilidad de la ciudad en discusión, se presenta conclusiones sobre la aplicabilidad de la metodología.

- La metodología de evaluación de vulnerabilidad, presentado por Giovinazzi y Lagomarsino, se puede calificar como versátil, adecuado y de fácil aplicación en urbes de gran tamaño, debido a que en las ciudades grandes se construyen ciudadelas o complejos habitacionales que presentan tipologías constructivas semejantes que acorta el tiempo de recopilación de datos. A diferencia de ciudades pequeñas que la construcciones son eventuales y de diseños personalizados.
- La variedad de tipologías presentes en la metodología cubre la totalidad de las tipologías constructivas presentes en las ciudades de la región andina ecuatoriana; lo que abaliza la utilización de las metodologías en las diferentes ciudades del Ecuador.
- El software para inventariado de edificaciones (IDCT), es una herramienta importante en el trabajo de campo, debido a la facilidad en recopilación de datos, y como consecuencia el rápido procesamiento de los mismos para el cálculo del índice de vulnerabilidad. Esta aplicación en las urbes de gran tamaño sería de gran apoyo para la aplicación de la metodología.
- Por la facilidad, rapidez y bajo costo como cualidades ventajosas de la aplicación de la metodología de Giovinazzi y Lagomarsino, puede servir como resultado preliminar de la situación de vulnerabilidad de una ciudad, y en base a esto resultados se puede hacer un balance para la aplicación o no de metodologías que valores de una manera más exhaustivas y puntual las edificaciones dentro de una urbe.

Entre las limitaciones que presenta la metodología de Giovinazzi y Lagomarsino tenemos:

- La evaluación del índice de vulnerabilidad regional, que como se expuso en los fundamentos de la metodología, se refiere a las formas tradicionales constructivas de cada región y textualmente recomienda su valoración sobre la base de juicio de expertos o sobre la base de datos históricos disponibles. En el caso del presente estudio se calibró dicho valor utilizando datos de terremotos históricos, en cuanto se refiere a la ciudad de Azogues con el terremoto de 1970, para calibrar el valor del índice regional para mampostería, y con la premisa de que en el Ecuador se tiene métodos constructivos semejantes, el índice de vulnerabilidad regional para hormigón armado se calibró basándose en el sismo de Baeza de 1987. Pero en el caso de realizar estudios de ciudades donde no se tenga datos de información constructiva estructural o que no se tenga registros de sismos y daños producidos, no se pudiera valorar el índice de vulnerabilidad regional, convirtiéndose un limitante para la aplicación de la metodología.
- Otras de las limitantes de la aplicación de la metodología de Giovinazzi y Lagomarsino, es la incertidumbre que se genera en los datos, cuando no se puede realizar una verificación completa del edificio encuestado, esto por la falta de colaboración de los moradores al no permitir la inspección interna. Lo cual se salvaría, haciendo una socialización sobre la importancia de las encuestas a nivel de ciudad, sectores, manzanas y barrios.
- La falta de factores de modificadores sísmicos del índice de vulnerabilidad para estructuras de acero, se convierte un limitante cuando se trate de evaluar la vulnerabilidad de edificios de algunos pisos con estructura de acero, donde: la irregularidad en planta, la irregularidad vertical, la cimentación, los muros de corte se presenten en dichas edificaciones. Conociendo que en las grandes urbes, la presencia de las edificaciones en acero son cada vez más.

## 7.2 RECOMENDACIONES

La recomendación evidente, es la recuperación estructural de las edificaciones de mampostería de adobe en mal estado, ya que estas presentan la vulnerabilidad más alta, clase "A".

Al realizar un escenario de daño con intensidades que van entre 1 y 10 en la Escala Macrosísmica Europea, se puede observar que esta tipología, mampostería de adobe (bahareque) es la que primero se daña, y según el sismo histórico de 1970 cuya intensidad fue de 7, se calcula que los daños son moderados. Daños moderados en la Escala Macrosísmica Europea implica: Grietas en muchos muros, caída de tejas, caída de pedazos grandes de guarnecido, colapso parcial en la chimenea; si se toma en cuenta estos daños se recomienda reforzar los muros, cambiar los materiales del techo por materiales más livianos y reforzar chimeneas.

Hasta 1970, en la ciudad de Azogues se encuentra tipologías de: Adobe, Bahareque, y roca masiva; estas tipologías se encuentran evaluadas con vulnerabilidad clase A; la recomendación evidente es la recuperación estructural con materiales modernos y más livianos, en cuanto se refiere a reforzamiento de muros, paredes y techos.

Desde el año de 1970 en adelante, se cambia la tipología constructiva, se comienza a utilizar el ladrillo como base de las construcciones, y mortero de cal viva mezclada con cemento, no se tiene refuerzos y los pisos son de madera u hormigón armado, según la disponibilidad económica; la estructura del techo es de madera y su cubierta es de teja; es evidente que las recomendaciones van por el reforzamiento de las paredes, el cambio de material de la estructura del techo y la cubierta, para lograr reducir el peso.

Desde el año de 1980 en adelante la tipología constructiva se cambia a armazón de hormigón armado con paredes de ladrillo o bloque, o una combinación de los dos. Las edificaciones se levantan de más de dos pisos, siendo las

predominantes las viviendas de dos pisos. En este tipo de edificaciones que ya poseen refuerzos se recomienda el diseño estructural rigiéndose al código de la construcción vigente, además se recomienda en la dirección de la construcción a un profesional del área, que aplique las normas constructivas vigentes.

Las más recientes construcciones son de estructuras de acero, que por la ductilidad, propiedad intrínseca de este material, su vulnerabilidad se clasifica en D, siendo la de menor vulnerabilidad en la Ciudad de Azogues. Las recomendaciones para esta tipología, también radican en la aplicación del código para la ejecución de soldadura y tratamiento del material; como en el Ecuador no se tiene códigos sobre edificaciones en acero, se puede aplicar códigos extranjeros como: la AWS, ANSI, AISC.

Los edificios de más de 6 pisos existentes en Azogues, han sido diseñados para soportar cargas laterales, por lo que están relacionados con la tipología de armazón de hormigón armado con diseño sismoresistente moderado propuesto por la Escala Macrosísmica Europea. Además la construcción de estos edificios fueron supervisados por un ingeniero residente, lo que abaliza su vulnerabilidad clase C. Las recomendaciones radican en la estricta aplicación de la norma de sismoresistencia de los códigos vigentes en su diseño y construcción.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, A. (2011). Evaluación probabilística del riesgo sísmico de edificios en zonas urbanas. (Tesis de Doctorado). Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

ATC 40, (1996), Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Applied Technology Council. California, USA.

Barbat, A., Mena, U., Yépez, F. (1998). Evaluación probabilista del riesgo sísmico en zonas urbanas, Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, 14 (2), 247-268

Barbat, A., Pujades, L.I., (2004). Evaluación de la Vulnerabilidad y del Riesgo Sísmico en Zonas Urbanas. Aplicación a Barcelona. Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Sísmica. Barcelona, España.

Barbat, A. “y” Aguiar, R. (2007). Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras. *Escuela Politécnica del Ejército*. 12(1), 15-29.

Beauval C., Yepes H., Bakun W., Egred J., Alvarado A., Singaicho J., (2010). Locations and magnitudes of historical earthquakes in the Sierra of Ecuador (1587–1996). *Geophysical Journal International*, 2

Bernardini, A., Giovinazzi, S., Lagomarsino, S. (2007). The Vulnerability assessment of current buildings by a macroseismic approach derived the EMS-98 scale. *Asociación de Española de Ingeniería Sísmica*. 8-11.

Benedetti, D. and Petrini, V. (1984). “Sulla Vulnerabilità Di Edifici in Muratura: Proposta Di Un Metodo Di Valutazione”, *L’industria delle Costruzioni*, Vol. 149, No. 1, pp. 66-74.

Bolt, B. (2000). Eathquakes. University of California

Calvi, G., Pinho, R., Magenes, G., Bommer, J., Restrepo, L.F., y Crowley, H. (2006). Development of seismic vulnerability assessment methodologies over the past 30 years. *ISET Journal of Earthquake Technology*, 43(3), 75-104.

Cardona, O.D., Sarmiento, J.P., (1990) Análisis de Vulnerabilidad y Evaluación del Riesgo para la Salud de una Población expuesta a Desastres. Cruz Roja Colombiana.

FEMA. (1996). NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 273), Federal Emergency Management Agency, Washington DC, U.S.A.

FEMA. (2000). HAZUS 99 Estimated annualised earthquake losses for the United States, Washington DC, U.S.A.

Giovinazzi, S., y Lagomarsino, S. (2004). A macroseismic method for the vulnerability assessment of buildings. *13th World Conference on Earthquake Engineering*, (896), 16

García, L. (1998). Dinámica Estructural Aplicada al Diseño Sísmico. Universidad Los Andes. Bogotá D.C.

Grünthal, G. (1998). European Macroseismic Scale 1998 - EMS- 98, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie. 15, Luxemburgo.

Herrera, G., Vielma, J., Barbat, A., Pujades, LL., (2010), Estado del Conocimiento sobre Metodología de Evolución de la Vulnerabilidad Sísmica de Edificios. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.

Lantada, M. (2007). Evaluación del riesgo sísmico mediante métodos avanzados y técnicas GIS. Aplicado a la Ciudad de Barcelona. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.



Llanos, L., Vidal, L. (2003). Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de las Escuelas Públicas de Calí: Una Propuesta Metodologica. (Tesis). Universidad del Valle, Santiago de Calí.

Mañà, F. (1997). Vulnerabilidad sísmica de los edificios de la ciudad de Barcelona. ITEC, Instituto de Tecnología de la Construcción de Catalunya, Barcelona.

Milutinovic, Z. & Trendafiloski, G. (2003). RISK-UE. An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns. WP4: Vulnerability of currentbuil

NIBS. (1999). HAZUS 99 Technical Manuals, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C, U.S.A.

Ross T.J. (1995). "Fuzzy Logic with Engineering Applications". McGraw Hill, New York.

SANDI, H. (1986) Vulnerability and risk analysis for individual structures and systems. Proceeding of the Eight European Conference on Earthquake Engineering, 8EECE. Vol. 7, Topic 2. Lisboa.

SINGAUCHO, J.C. (2009). Mapa de máximas intensidades sísmicas del Ecuador. Criterios estructurales para mejorar la estimación de intensidades. Escuela Politécnica Nacional, Quito.

SINGAUCHO, J. (2013). Apuntes del curso Riesgo Sísmico; Maestría en Ingeniería Estructural Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, marzo, Ecuador.

Tapia, P. (2002). Vulnerabilidad Sísmica de las Ciudades y el Planteamiento Urbano. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad Católica del Norte de Chile

USGS (2002). Probabilistic Hazard Curves con datos de 2002, obtenidas del Software: Seismic Hazard Curves and Uniform Hazard Response Spectra, USGS, Earthquake Ground Motion Parameters. Version: 5.0.9a.

Priestley, M. (1997). Displacement-based seismic assessment of reinforced concrete buildings. Journal of Earthquake Engineering, 1(1), 157-192.

Wong, D., Samudio, R., Mora, H., (1997). Determinación de la Vulnerabilidad de Daños ante los Desastres Naturales en los Centros Educativos en la República de Panamá. Universidad de Panamá.

.

.

## **ANEXOS**

## **ANEXOS No. 1**

**Fotos de tipologías  
constructivas de Azogues**

1.- Edificaciones de hormigón armado sin diseño sismoresistente de dos y tres plantas. Tipología constructiva utilizada en viviendas y locales comerciales



2.- Edificaciones de hormigón armado sin diseño sismoresistente, tipología constructiva de mayor aplicación en la ciudad de Azogues



3.- Tipología constructiva de bahareque, esta tipología constructiva sigue existiendo en la actualidad, pero se dejó de emplear este método constructivo alrededor del año 1970. Cuando se inaugura la fábrica del cemento en la ciudad de Azogues.



4.- Típicas viviendas unifamiliares de la ciudad de Azogues, todas las ciudadelas existentes en Azogues presentan esta tipología constructiva



5.- Vista general de la ciudad de Azogues, tomadas desde la parte occidental de la ciudad.



6.- Vista de la zona urbana nororiental de la ciudad, su característica es la baja densidad de edificaciones.



7.- Vista de un barrio del centro urbano de la ciudad de Azogues, se puede apreciar las edificaciones de bahareque restauradas y en buen estado.



8.- Vista de un barrio de viviendas unifamiliares con tipología constructiva de armazón de hormigón armado sin diseño sismoresistente, edificaciones típicas de uno y dos plantas.

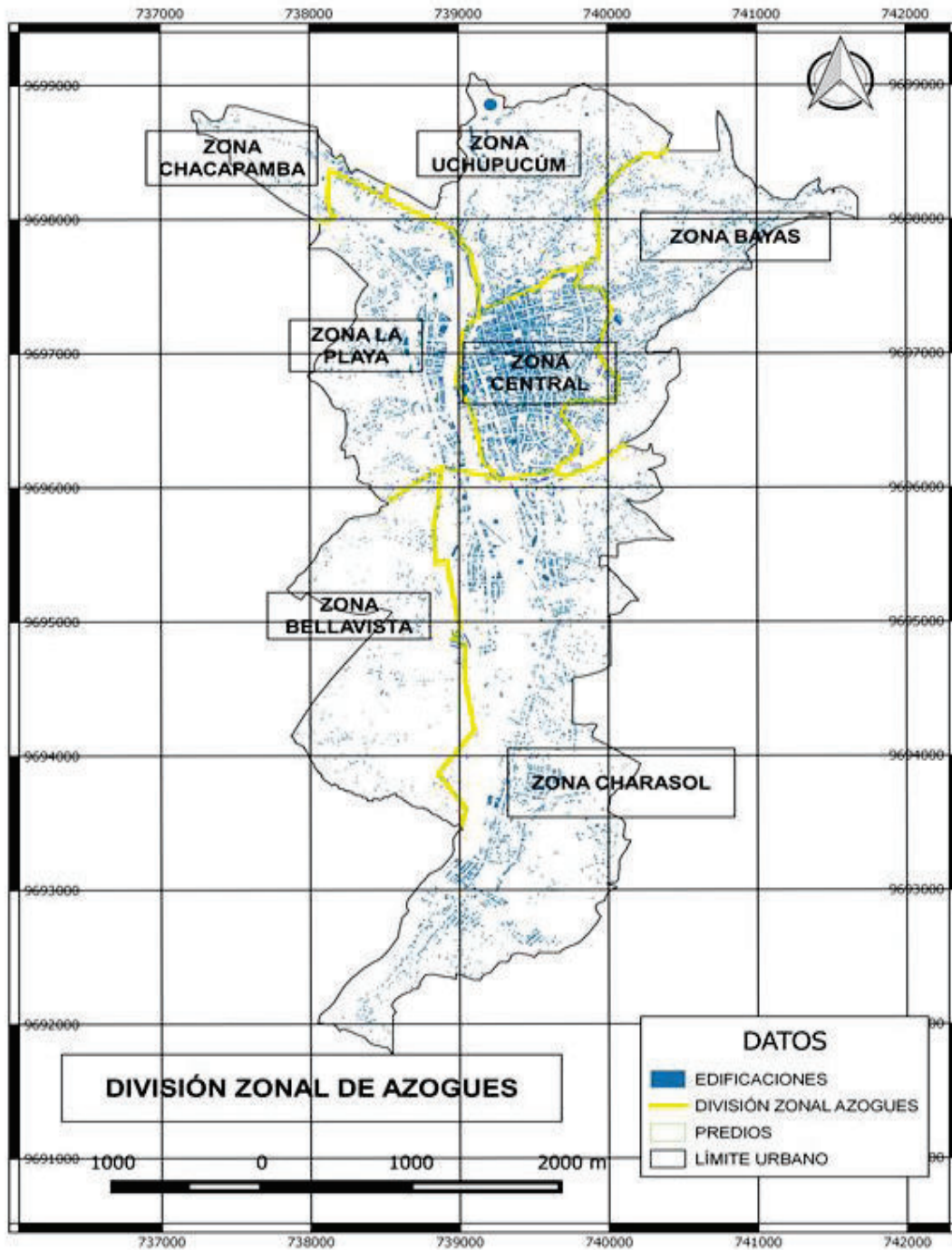




**ANEXOS No. 2**

**División urbana de la ciudad de  
Azogues**

En el mapa se presenta la zona urbana de Azogues, se puede identificar con una línea continua de color negro, también se puede ver la división zonal detallada por una línea continua amarilla.



## **ANEXOS No. 3**

**Resumen de los datos  
obtenidos en campo por el  
software IDCT**

## Resumen de los datos obtenidos de IDCT, para una de las manzanas de la ciudad de Azogues

OBJ_UID	PROJ_UID	X	Y	SOURCE	COMMENTS	PLAN_SHAP	POSITION	NONSTRCEV	ROOF_CONN
a9b455d5-f445-4ae1-9c3b-b	Manzana saenz,alcaldes,castanier	-78.8459	-2.74834	FIELD	Vivienda flia. Pinos	PLFL	BP1	EWMA	RWC99
05ef7361-3e60-4820-a741-f	Manzana saenz,alcaldes,castanier	-78.8466	-2.74783	FIELD	Edificio Calle	PLFR	BPD	EWMA	RWC99
c96beb31-d197-49c5-b00a-	Manzana saenz,alcaldes,castanier	-78.8465	-2.74777	FIELD	Edificacion bar restauran	PLFR	BPD	EWMA	RWCP
c66866ef-3b9d-437b-ba09-	Manzana saenz,alcaldes,castanier	-78.8442	-2.74764	FIELD	Vivienda flia .....	PLFR	BP1	EWMA	RWC99
4d9c0296-7654-4e05-ad34-f	Manzana saenz,alcaldes,castanier	-78.8444	-2.74791	FIELD	vivienda .....	PLFR	BP1	EWMA	RWC99
0de3b87d-3b8a-45e1-8e74-	Manzana saenz,alcaldes,castanier	-78.8446	-2.74802	FIELD	taller desrrvicio automot	PLFR	BP2	EWO	RWC99
4d3781a9-8df7-477a-80fb-7	Manzana saenz,alcaldes,castanier	-78.8447	-2.74797	FIELD	vivirnda flia munoz	PLFR	BP2	EWMA	RWC99
13df3068-1e41-4b8e-9204-	Manzana saenz,alcaldes,castanier	-78.845	-2.74805	FIELD	vivienda flia. Leon	PLFR	BP2	EWMA	RWC99
8a11b873-417c-4c1b-96c0-8	Manzana saenz,alcaldes,castanier	-78.8451	-2.74808	FIELD	casa flia zhindon	PLFR	BP2	EWMA	RWC99
7252aaf9-93cc-47d4-bbe2-5	Manzana saenz,alcaldes,castanier	-78.8453	-2.74815	FIELD	vivienda 1_28	PLFR	BP1	EWMA	RWC99
0a34133c-c8e6-4b45-933f-1	Manzana saenz,alcaldes,castanier	-78.8455	-2.74821	FIELD	vivienda flis pobre	PLFSQO	BP2	EWMA	RWC99
0739633a-4f71-4f65-a1d4-9	Manzana saenz,alcaldes,castanier	-78.8456	-2.749	FIELD	Edificio de flia Lema	PLFL	BP3	EWMA	RWC99
807b17d6-3ae3-4be0-95c2-f	Manzana saenz,alcaldes,castanier	-78.8457	-2.74871	FIELD	Casa flia. Lema	PLFL	BP2	EWMA	RWC99
a9b455d5-f445-4ae1-9c3b-b	Manzana saenz,alcaldes,castanier	-78.8459	-2.74834	FIELD	Vivienda flia. Pinos	PLFL	BP1	EWMA	RWC99
88b94abb-b0e0-48de-ab3b-	manzana saenz,alvaldes , castanier	-5.1378	52.5996	FIELD	Edificio del ministro de	PLFR	BP1	EWMA	RWC99
b762f75c-b99a-43a6-b232-c	manzana saenz,alvaldes , castanier	-5.13741	52.6	FIELD	Edificio ferreteria con col	PLFR	BP2	EWMA	RWC99
0b4ed234-41eb-479d-a0a5-	manzana saenz,alvaldes , castanier	-5.1368	52.5999	FIELD	Vivienda familia Carlin	PLFR	BP2	EWMA	RWC99
88ef7973-c513-492b-923c-8	manzana saenz,alvaldes , castanier	-5.1369	52.5998	FIELD	Edificio multifamiliar	PLFR	BP1	EWMA	RWC99
11cb2793-096b-4b8e-8178-f	manzana saenz,alvaldes , castanier	-5.13712	52.5996	FIELD	Edificio Picopico posible	PLFR	BP2	EWMA	RWC99
8eece332-6537-40d1-a840-	manzana saenz,alvaldes , castanier	-5.13755	52.5995	FIELD	Edificio farmacia,posible	PLFR	BPD	EWMA	RWC99
11a73bf3-1e77-4eaa-a028-c	manzana saenz,alvaldes , castanier	-5.13646	52.5998	FIELD	Oficinas de taller autom	PLFR	BPD	EWMA	RWC99

ROOFSYMATDOFCOV	MROOF	SHAPROOFSYSTYP	S_MORTIAS	MORT	MAS_REIN	L_MAS_REIN	TMAT_TECH	LMAT_TECH	TMAT_TYPE	LMAT_TYPE	T	
RWO	RMT2	RSH2	RWO99						CT99	CT99	C99	C99
RC	RMN	RSH1	RC1						CIP	CIP	CR	CR
RME	RMT2	RSH2	RME1						CT99	CT99	SRC	SRC
RWO	RMT2	RSH2	RWO99						CT99	CT99	C99	C99
RME	RMT2	RSH2	RME99						CT99	CT99	C99	C99
RME	RMT2	RSH8	RME99						MEIR		ME	
RC	RMN	RSH1	RC1						CIP	CIP	CR	CR
RWO	RMT2	RSH2	RWO99						CT99	CT99	C99	C99
RWO	RMT2	RSH3	RWO99						CT99	CT99	C99	C99
RWO	RMT2	RSH2	RWO99						CT99		C99	
RWO	RMT2	RSH2	RWO99						ET99		EU	
RC	RMN	RSH1	RC99						CT99	CT99	C99	C99
RWO	RMT2	RSH2	RWO1						CT99	CT99	C99	C99
RWO	RMT2	RSH2	RWO99						CT99	CT99	C99	C99
RC	RMN	RSH1	RC1						CIP	CIP	CR	CR
RC	RMN	RSH1	RC1						CIP	CIP	CR	CR
RWO	RMT2	RSH2	RWO99						CIP	CIP	CR	CR
RC	RMN	RSH1	RC1						CIP	CIP	CR	CR
RC	RMN	RSH1	RC1						CIP	CIP	CR	CR
RC	RMN	RSH1	RC1						CIP		CR	
RME	RMT2	RSH2	RME1						CIP	CIP	CR	CR

LLRS_QUAL	LLRS_L	LLRS_T	LLRS_DCT_L	LLRS_DCT_T	STR_HZIR_P	STR_HZIR_S	STR_VEIR_P	STR_VEIR_S	STR_IRREG	FLOOR_CONN	FLOOR_MAT	FLOOR_TYPE	FOUNDN	SYSTORY	AG_O
D99	L99	L99	D99	D99	TOR	TOR	IRN	IRN	IRIR	FWC99	FC	FC99	FOS99	HAPP	
	L99	L99	D99	D99	IRN	IRN	SOS	SOS	IRIR	FWC99	FC	FC1	FOS99	HEX	
	L99	L99	D99	D99					IRRE	FWC99	FC	FC99	FOS99	HEX	
D99	L99	L99	D99	D99					IRRE	FWC99	FC	FC99	FOS99	HEX	
D99	L99	L99	D99	D99					IRRE	FWC99	FC	FC99	FOS99	HEX	
	LN	LN	DUC	DUC					IRRE	FWC99	FE	FE99		HEX	
D99	L99	L99	D99	D99					IRRE	FWC99	FC	FC99	FOS99	HEX	
D99	L99	L99	D99	D99					IRRE	FWC99	FC	FC99	FOS99	HEX	
D99	L99	L99	D99	D99					IRRE	FWC99	FC	FC99	FOS99	HEX	
D99	L99	L99	D99	D99					IRRE	FWC99	FC	FC99	FOS99	HEX	
D99	L99	L99	D99	D99					IRRE	FWC99	FW	FW99	FOS99	HEX	
D99	L99	L99	D99	D99	TOR	TOR	IRN	IRN	IRIR	FWC99	FC	FC99	FOS99	HEX	
D99	L99	L99	D99	D99	TOR	TOR	IRN	IRN	IRIR	FWC99	FC	FC99	FOS99	HAPP	
D99	L99	L99	D99	D99	IRN	IRN	SOS	SOS	IRIR	FWC99	FC	FC1	FOS99		
D99	L99	L99	D99	D99	IRN	IRN	SOS	SOS	IRIR	FWC99	FC	FC1	FOS99	HEX	
D99	L99	L99	D99	D99					IRRE	FWC99	FC	FC1	FOS99	HEX	
	L99	L99	D99	D99	IRN	IRN	SOS	SOS	IRIR	FWC99	FC	FC1	FOS99	HEX	
D99	L99	L99	D99	D99	IRN	IRN	SOS	SOS	IRIR	FWC99	FC	FC1	FOS99	HEX	
D99	L99	L99	D99	D99	IRN	IRN	SHC	SHC	IRIR	FWC99	FC	FC1	FOS99	HEX	
D99	LN	LN	D99	D99					IRRE	FWC99	FC	FC1	FOS99	HEX	

Ejemplo de fotos obtenidas de las diferentes edificaciones, mediante el software IDCT.

