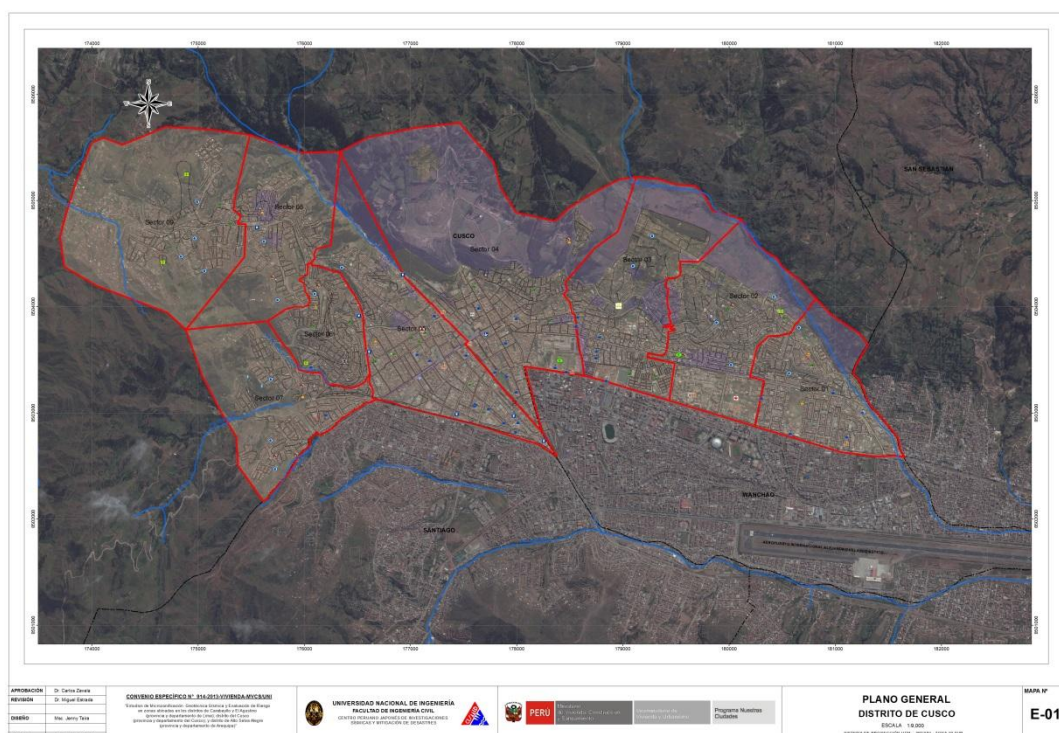


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES**



**“ESTUDIOS DE MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA SÍSMICA Y EVALUACIÓN DEL RIESGO EN ZONAS UBICADAS EN LOS DISTRITOS DE CARABAYLLO Y EL AGUSTINO (PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LIMA); DISTRITO DEL CUSCO (PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DEL CUSCO); Y DISTRITO DE ALTO SELVA ALEGRE (PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA)”**

***PRODUCTO 05 - DISTRITO DE CUSCO - TOMO III***  
**ESTIMACIÓN DEL RIESGO**



**LIMA – DICIEMBRE 2013**



**PRODUCTO 05 – DISTRITO DE CUSCO– TOMO III – ESTIMACIÓN DEL RIESGO**

**ÍNDICE**

<b>1. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA .....</b>	<b>6</b>
1.1. Mapas de Zonas de Isoperiodos .....	6
1.2. Mapa de Microzonificación Sísmica .....	6
1.3. Mapas de Zonas de Aceleraciones .....	8
1.4. Zonas de Velocidades .....	8
<b>2. MAPAS DE VULNERABILIDAD .....</b>	<b>9</b>
2.1. Exploración de Campo de Tipo Muestral .....	9
2.1.1. Preparación de Actividades, Coordinación y Personal .....	9
2.1.2. Sectorización y Levantamiento de Datos de Campo .....	10
2.1.3. Procedimiento y Control de Calidad de Datos de Campo .....	11
2.1.4. Georreferenciación y Compatibilización de Planos .....	12
2.1.5. Sistematización de la Información .....	12
2.1.6. Ubicación de las manzanas a evaluar .....	12
2.2. Base de datos geo-espacial .....	14
2.2.1. Mapa de Uso de Suelo .....	16
2.2.2. Mapa de Materiales Predominantes .....	17
2.2.3. Mapa de Alturas de Edificación .....	17
2.2.4. Mapa de Tipologías Estructurales .....	18
2.2.5. Mapa de Estado de Conservación .....	19
2.2.6. Mapa de Vulnerabilidad .....	19
<b>3. MAPAS DE RIESGO .....</b>	<b>63</b>
3.1. ESTUDIO DE RIESGO PARA UN ESCENARIO SÍSMICO .....	63
3.2. MAPA DE SECTORES CRÍTICOS .....	66
<b>4. ESTUDIO PRELIMINAR DE RIESGO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA .....</b>	<b>74</b>
4.1. Acerca de la Vulnerabilidad de sistemas de agua .....	74



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES**



---

4.2.	Sistema de Agua .....	74
4.3.	Mapa de Tipo de Tubería de Agua.....	78
4.4.	Conclusiones y recomendaciones del diagnóstico preliminar del sistema de agua y alcantarillado .....	81
<b>5.</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>82</b>



## Índice de Figuras

Figura 1. Formato de Ayuda para Codificación del Lote. ....	10
Figura 2. Formato para vivienda representativa de la manzana .....	10
Figura 3. Sectores del distrito de Cusco.....	11
Figura 4. Manzanas totales (1103) versus manzanas seleccionadas (251).....	13
Figura 5. Base de datos de los lotes representativos por manzana.....	14
Figura 6. Base de datos Geo-espacial, integración de información cartográfica, descriptiva y procesamiento. ...	16
Figura 7 - Distribución del uso del suelo de la muestra del distrito de Cusco. ....	17
Figura 8. Distribución de los materiales de construcción de la muestra del distrito de Cusco. ....	17
Figura 9. Distribución del número de pisos de las edificaciones del distrito de Cusco.....	18
Figura 10. Distribución del uso del sistema estructural muestra del distrito de Cusco.....	18
Figura 11 - Estado de conservación de la muestra de edificaciones del distrito de Cusco. ....	19
Figura 12. Viviendas de adobe de dos niveles.....	23
Figura 13. Edificaciones con deficiencias constructivas.....	23
Figura 14. Edificaciones multifamiliares de cinco niveles.....	24
Figura 15. Viviendas de adobe de dos niveles.....	24
Figura 16. Viviendas de albañilería. ....	25
Figura 17. Viviendas de adobe.....	25
Figura 18. Viviendas multifamiliares.....	26
Figura 19. Viviendas de adobe de dos niveles.....	26
Figura 20. Edificaciones de viviendas comercio.....	27
Figura 21. Edificaciones porticadas de varios niveles.....	27
Figura 22. Edificaciones de piedra-adobe.....	28
Figura 23. Edificaciones de adobe con piedras lajas de cobertura. ....	28
Figura 24. Vistas de edificaciones de adobe con piedras, donde su principal material predominante es adobe. .	28
Figura 25. Edificaciones de adobe con base tipo pircas de piedras.....	28
Figura 26. Muros trapezoidales en edificaciones de piedra- adobe.....	29
Figura 27. Construcción de pircas de piedras.....	29
Figura 28. Viviendas de adobe de dos niveles del sector 05. ....	29
Figura 29. Viviendas de albañilería del sector 05.....	30
Figura 30. Edificaciones porticadas de varios niveles del sector 05.....	30
Figura 31. Viviendas de adobe del sector 06. ....	31
Figura 32. Viviendas de adobe y albañilería del Sector 06. ....	31
Figura 33. Edificación típica de adobe de dos pisos con techo en pendiente a dos aguas. Uso para vivienda. Regular estado de conservación. ....	32
Figura 34. Edificaciones adobe ubicadas en pendiente de cerros. Regular estado de conservación. Uso destinado a vivienda.....	32
Figura 35. Edificaciones de adobe de dos niveles con uso destinado a vivienda y comercio.....	33
Figura 36. Edificaciones de adobe ubicadas en laderas de cerros. Se aprecia la cubierta de tejas acanaladas de arcilla cocida.....	33
Figura 37. Edificaciones de adobe ubicadas en laderas de cerros. Se aprecia la cubierta de tejas acanaladas de arcilla cocida.....	34
Figura 38. Edificaciones de mampostería de dos niveles. Regular estado de conservación. Uso destinado a vivienda.....	34
Figura 39. Edificaciones de adobe de dos niveles con uso destinado a vivienda. No existe ningún refuerzo vertical ni horizontal y el aparejo de la mampostería de adobe es deficiente.....	35
Figura 40. Edificaciones de adobe de dos niveles con uso destinado a vivienda y comercio.....	35
Figura 41. Edificación de mampostería de dos niveles con uso destinado a vivienda y comercio. Buen estado de conservación. ....	36





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Figura 42. Edificación de adobe al lado de edificación de mampostería. Ambas con uso de vivienda y comercio a la vez. ....	36
Figura 43. Edificación de adobe de dos niveles con refuerzo de contrafuertes de adobe en las esquinas.....	37
Figura 44. Edificaciones de adobe ubicadas en laderas de cerros. Se aprecia la cubierta de tejas acanaladas de arcilla cocida.....	37
Figura 45. Mapa de Niveles de Vulnerabilidad del Distrito de Cusco.....	38
Figura 46. I.E. San Agustín. ....	39
Figura 47. Universidad nacional San Antonio Abad del Cusco. ....	39
Figura 48. I.E. Ucchullo Grande Sagrado Corazón de Jesús. ....	40
Figura 49. Comisaría de Ucchullo. ....	40
Figura 50. Iglesia de Ucchullo. ....	41
Figura 51. Jardín de Niños América. ....	41
Figura 52. Iglesia en manzana 985. ....	42
Figura 53. I.E. Virgen de Guadalupe. ....	42
Figura 54. I.E. Nuestra Señora de Gracia. ....	43
Figura 55. Parroquia Nuestra Señora de Gracia. ....	43
Figura 56. I.E. Santa Mónica. ....	44
Figura 57. Iglesia en la manzana 1082. ....	44
Figura 58. I.E. Mariscal Gamarra. ....	45
Figura 59. I.E. 89.....	45
Figura 60. I.E. Garcilazo de la Vega.....	46
Figura 61. I.E. Alto Ucchullo Cusco.....	46
Figura 62. I.E. Republica de México.....	47
Figura 63. Iglesia La Recoleta.....	47
Figura 64. Jardín Los Pimpollitos. ....	48
Figura 65. I.E.P. Emilia Barcia Bonifatti.....	48
Figura 66. I.E.P. Santa María Reyna.....	49
Figura 67. Universidad Alas Peruanas. ....	49
Figura 68. Mercado Rosaspata. ....	50
Figura 69. Palacio de Justicia.....	50
Figura 70. Municipalidad del Cusco. ....	51
Figura 71. Paraninfo de la Universidad Nacional San Antonio de Abad.....	51
Figura 72. Iglesia Compañía de Jesús. ....	52
Figura 73. Catedral del Cusco.....	52
Figura 74. I.E. Clorinda Mato de Turner. ....	53
Figura 75. I.E. Colegio Salesiano. ....	53
Figura 76. I.E. N°50021 San Cristóbal.....	54
Figura 77. Comisaría.....	54
Figura 78. I.E. Colegio Real San Francisco de Borja. ....	55
Figura 79. I.E. Colegio La Salle.....	55
Figura 80. Centro Médico Municipal.....	56
Figura 81. I.E. Colegio Nacional de Ciencias. ....	56
Figura 82. Iglesia San Francisco.....	57
Figura 83. Jefatura de Policías.....	57
Figura 84. Edificio de la SUNAT.....	58
Figura 85. I.E. Colegio Rosario. ....	58
Figura 86. I.E. Colegio Humberto Luna.....	59
Figura 87. Estación de Servicio.....	59
Figura 88. I.E. Colegio Simón Bolívar y Tanque elevado.....	60



Figura 89. Puesto de Salud Miraflores. ....	60
Figura 90. Salón Comunal. ....	61
Figura 91. Jardín Particular San Gabriel de los Cielos. ....	61
Figura 92. Institución Educativa El Niño Divino Cusco. ....	62
Figura 93. Colegio Particular Divino Jesús. ....	62
Figura 94. Proceso de generación del mapa de riesgo. ....	64
Figura 95. Resultado del cálculo del costo de reparación para las manzanas evaluadas. ....	64
Figura 96. Imagen de interpolación del costo de reparación (método IDW). ....	65
Figura 97: Ubicación de manzanas a intervenir. ....	68
Figura 98: Alternativa de refuerzo con estera. ....	69
Figura 99. Alternativa de refuerzo con costalillo. ....	69
Figura 100: Detalle de refuerzo sobre las caras del muro. ....	70
Figura 101: Reforzamiento con bandas de refuerzo. ....	70
Figura 102: Detalle de reforzamiento para columna existente y esquinera. ....	71
Figura 103: Detalle de reforzamiento de zapata para columna. ....	71
Figura 104: Detalle de refuerzo de columna con placa y su cimentación. ....	72
Figura 105: Detalle de la cimentación de la placa visto en planta. ....	73
Figura 106: Roturas por Km. en tubos CIP y PVC. ....	76
Figura 107: Roturas por Km. En tubos de acero dúctil. ....	76
Figura 108: Curvas extremas de tasa de daño en CIP y PVC. ....	77
Figura 109: Curvas extremas de tasa de daño en tubería de hierro dúctil. ....	77
Figura 110: Distribución de las redes de agua. ....	79
Figura 111: Roturas por criterio de Yamazaki (2008) en el Distrito de Cusco. ....	80
Figura 112: Roturas por criterio de Isoyama (2000) en el Distrito de Cusco. ....	81

## Índice Tablas

Tabla 1. Descripción de los campos de la base de datos. ....	15
Tabla 2: Resultados del daño en el distrito de Cusco para un escenario de sismo severo. ....	65
Tabla 3: Resultado de daño esperado en edificaciones esenciales. ....	66
Tabla 4: Composición por material de la muestra estudiada. ....	66
Tabla 5: Composición de la muestra por nivel de daño esperado. ....	67
Tabla 6. Descripción de la base de datos del sistema de distribución de agua para el distrito de Cusco. ....	75
Tabla 7: Tipo de tuberías de agua en el distrito de Cusco. ....	78
Tabla 8: Respuesta de las tuberías frente a un evento sísmico severo en distrito de Ventanilla. ....	79



## Producto 05 – Distrito de Cusco - Tomo III: Estimación del Riesgo

### 1. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

#### 1.1. Mapas de Zonas de Isoperiodos

El mapa III-1 del presente Tomo III muestra el mapa de isoperiodos para el distrito de Cusco, el cual presenta cuatro zonas que se detallan a continuación;

La zona I mostrada en color verde oscuro representa periodos de vibración menores a 0.2 s. Esta zona se encuentra en la parte alta de los cerros ubicados en la zona oeste del distrito. Además, comprende también el extremo este del distrito. Las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo rígido.

La zona II mostrada en color verde claro, está definida para periodos de vibración de 0.20 a 0.30s. Esta zona abarca las partes bajas de los cerros ubicados en la zona oeste del distrito. Además, comprende también una zona del centro del mismo. Las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo medianamente rígido.

La zona III en color amarillo, está definida para periodos de vibración de 0.3 a 0.5 s. Esta zona se localiza en áreas circundantes al centro del distrito. Las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo medianamente flexible.

La zona IV en color naranja, está definida para periodos de vibración mayores a 0.5s. Esta zona se concentra en la zona oeste, en la ruta a Poroy. Las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo flexible.

#### 1.2. Mapa de Microzonificación Sísmica

Para determinar el comportamiento de un suelo ante la ocurrencia de un sismo, se tienen que tomar en cuenta las características mecánicas y dinámicas que presentan los diferentes materiales del terreno. Estas características han sido determinadas para el distrito de Cusco y representadas en los mapas de Microzonificación Geotécnica (Mapa II-3, Tomo II) y de Isoperiodos (Mapa III-1 del presente Tomo III) respectivamente. Los resultados de estos mapas son superpuestos en la superficie del área de estudio, permitiendo identificar tres zonas en el Mapa de Microzonificación Sísmica (Mapa III-2 del presente Tomo III). A continuación se describen estas zonas:



### **Zona I**

Esta zona incluye a las formaciones rocosas, que se encuentran en los cerros, y a los depósitos de gravas, que se registran alrededor del distrito del Cusco. Los tipos de materiales descritos en esta zona presentan las mejores características geotécnicas para la cimentación de edificaciones.

La capacidad de carga admisible en esta zona, para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho, varía entre 2.0 y 4.0 kg/cm<sup>2</sup>, si se desplanta sobre la grava a una profundidad mínima de 0.8 m; y mayor a 5.0 kg/cm<sup>2</sup>, si se desplanta sobre la roca ligeramente alterada o sana a una profundidad mínima de 0.4 m.

Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

Los valores de microtemores del suelo en esta zona son menores a 0.25 s

### **Zona II**

Esta zona incluye a las arcillas de consistencia media a semi-dura y las arenas arcillosas de compacidad media, que se encuentran en la mayor parte del área de estudio. El tipo de suelo descrito en esta zona presenta características geotécnicas menos favorables, en relación al caso anterior, para la cimentación de edificaciones.

La capacidad de carga admisible en esta zona para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho, desplantada entre 1.00 y 1.50 m de profundidad, varía entre 0.70 y 2.5 kg/cm<sup>2</sup>. En el caso de que la cimentación se desplante sobre material gravoso la capacidad de carga admisible sería mayor. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

Los valores de microtemores del suelo en esta zona son menores a 0.35 s

### **Zona III**

Esta zona incluye a las arcillas de consistencia media a semi-dura y las arenas arcillosas de compacidad media, que se encuentran en la mayor parte del área de estudio. El tipo de suelo descrito en esta zona presenta características geotécnicas menos favorables, en relación al caso anterior, para la cimentación de edificaciones.

La capacidad de carga admisible en esta zona para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho, desplantada entre 1.00 y 1.50 m de profundidad, varía entre 0.70 y 2.5 kg/cm<sup>2</sup>. En el caso de que la cimentación se desplante sobre material gravoso la capacidad de carga admisible sería mayor. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.



Los valores de microtemores del suelo en esta zona son mayores a 0.35 s

### 1.3. Mapas de Zonas de Aceleraciones

Una vez determinado el mapa de microzonificación sísmica en el área de estudio, es necesario caracterizar las zonas identificadas de manera cuantitativamente estimando el valor de aceleración horizontal máxima esperada para el suelo; para ello se utilizará como dato de entrada el resultado de la aceleración esperada para terreno firme del estudio de peligro sísmico para el distrito Cusco (ver ítem 6.5, Tomo II) que corresponde para un suelo “Tipo C” (IBC) un valor de aceleración horizontal máxima de diseño PGA de 286.45 gals; los valores de aceleración máxima proyectados para las diferentes zonas mostrados en el mapa de Microzonificación Sísmica III-3 se obtienen multiplicando los parámetros del suelo propuestos en la Norma Técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente por la aceleración máxima PGA de 286.45 gals de la siguiente manera:

Zona	Factor	Aceleración Máxima
I	1.0	286.45 cm/s <sup>2</sup>
II	1.2	343.74 cm/s <sup>2</sup>
III	1.3	3.72.38 cm/s <sup>2</sup>

Los valores obtenidos para cada zona son mostrados en el mapa III-3 del presente Tomo III

### 1.4. Zonas de Velocidades

Es necesario determinar los valores de velocidad máxima del suelo que pueden presentarse en la zona de estudio con la finalidad de estimar el riesgo al que se encuentra expuesto el sistema de tuberías de la red de saneamiento.

Para la elaboración del mapa de velocidades máximas se utiliza la relación matemática presentada en el artículo técnico titulado “Correlación entre la aceleración y velocidad máxima del suelo: Aplicación en el análisis del peligro sísmico”, (Miguel A. Jaimes, Eduardo Reinoso, Mario Ordaz y Cesar Arredondo, 2009), publicado en la Revista de Ingeniería Sísmica No. 81, pag. 19-35 (2009), editada por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica (SMIS). La relación es la siguiente:

$$\ln V_{\max} = -1.8349 + 1.1146 \ln A_{\max} + 0.4043 \ln T_s$$

donde la velocidad máxima esperada del suelo ( $V_{\max}$ ) se expresa en función de la aceleración máxima esperada del suelo ( $A_{\max}$ ) y del periodo de oscilación del suelo ( $T_s$ ) para sismos de tipo subducción. Entonces para determinar el mapa de velocidades máximas del suelo para el distrito El Agustino, se deberá utilizar como datos de entrada la aceleración



máxima del suelo y el periodo de oscilación del suelo estimados anteriormente y representados en el mapa III-3 y el mapa III-1 del presente informe, respectivamente. Los valores de velocidades máximas esperadas del suelo para el distrito El Agustino se muestran en el mapa III-4 del presente Tomo III.

## 2. MAPAS DE VULNERABILIDAD

### 2.1. Exploración de Campo de Tipo Muestral

#### 2.1.1. Preparación de Actividades, Coordinación y Personal

Para el desarrollo de las actividades de toma de datos de campo, se inició el trabajo con la selección de los ingenieros coordinadores, responsabilidad que recayó en el Dr. Miguel Estrada y el Dr. Carlos Zavala e Ing. Francisco Ríos. Se organizaron 4 grupos de trabajo seleccionándose dos personas por cada grupo para el levantamiento de información de campo, contado con un total de 8 personas para el levantamiento de la información. Este personal recibió un entrenamiento basado en el procedimiento de evaluación. Este procedimiento ha sido diseñado para nuestra realidad a fin que sea utilizado en los sistemas constructivos predominantes en la zona de estudio.

##### *a) Metodología de toma de datos*

Este procedimiento se basa en la toma de información rápida en edificaciones de adobe, albañilería, quincha y concreto. La metodología consiste en una inspección visual de las edificaciones identificando las debilidades aparentes en las edificaciones de una manzana. De acuerdo al porcentaje de lotes visualmente evaluados, se determinan los parámetros del lote representativo de la manzana como el material predominante, el estado de conservación del sistema representativo, el número de pisos y otros aspectos importante para el cálculo de su respuesta sísmica.

##### *b) Plantilla para la encuesta*

Para tal efecto se utiliza una ficha de evaluación de daños utilizada por nuestra Institución en la evaluación rápida de estructuras, la cual se presenta en la Figura 2

La Ficha está dividida en cinco áreas:

- Número de pisos
- Material
- Usos
- Sistema estructural
- Conservación

Esta información es complementada con la toma de una fotografía del lote representativo de la manzana, donde se pueda identificar a la estructura. Asimismo debido a la prohibición dada por algunos vecinos no se tomaron fotos en aquellas zonas con alta seguridad, se utilizará la imagen satelital para mostrar en el sistema de información la ubicación y estado de la estructura.



CONVENIO CISMID/IC/UNI - MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO ESTUDIO DE RIESGO SISMICO DEL DISTRITO DE COMAS					
INFORMACIÓN DE LA MANZANA CÓDIGO DE LA MANZANA:					
LEYENDA PARA LA CODIFICACIÓN DEL LOTE					
No. Pisos (1)	Material (2)	Usos (3)	Sistema Estructural (4)		Conservación (5)
	Adobe (A) Mampostería (M) Concreto (C) Quincha (Q) Acero (S) Madera (W) Otro (O)	Vivienda (V) Vivienda y Comercio (Y) Comercio (C) Multifamiliar (M) Policía o Bomberos (B) Educativo (E) Hospital (H) Industrial (I) Baldío (B) Otros (O)	S M W L A C W I L F B U W T	Mampostería de Arcilla Sin Refuerzo Mampostería Armada o Confinada con Diafragmas Rígidos Mampostería Armada o Confinada con Diafragmas Flexibles Construcción Informal en Albañilería Adobe y Quincha Pórticos de Concreto Estructura de Concreto Armado con Placas Pórticos de Concreto con Vanos Rigidizados con Mampostería Estructura Celular de Concreto Pórtico de Acero Resistentes a Momento Pórtico de Acero Armados con Diagonales Estructura de Perfiles Livianos Entramados de Madera Estructuras Industriales / Comerciales	(B) Bueno (R) Regular (M) Malo
*Nota: La información de la manzana irá en plano lotizado adjunto similar al ejemplo de llenado que se muestra.			Nota 2: No Evaluado Use (X) Caso Valido Use (V)		
1AVSR			Foto 5 - Numero		
Foto 1 - Numero			Actuarial/lotización representativa	Foto 2 - Numero	
			2MCMB		
			1AVSR		
			3MMMB		
Foto 3 - Numero			2SVSR		
			1AVSR		
Foto 4 - Numero					

**Figura 1. Formato de Ayuda para Codificación del Lote.**

CONVENIO CISMID/IC/UNI - MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO ESTUDIO DE RIESGO SISMICO DEL DISTRITO DE COMAS					
CÓDIGO DE MANZANA		CÓDIGO INTERNO			
ESTRUCTURACIÓN					
Material	Adobe	Mampostería	Concreto	Observaciones	
Estado de Conservación	Bueno	Regular	Malo		
Cimentación	Asentamiento	Si	No		
	Humedad en la Base	Si	No		
Techo					
Adobe	Mampostería	Concreto	Otros		
Madera	Losa de CA	Losa de CA			
Caña	Aligerado	Aligerado			
Torta Barro	Calamina	Placa Colaborante			
Otro	Otro	Otro			
Elementos Estructurales					
Fisuración					
Columnas	Fisuras	NOTA		Fisura Vertical (V)	
Vigas	Fisuras	Sin Fisuras (X)		Fisura Diagonal (D)	
Muros	Fisuras			Fisura Horizontal (H)	
Estado de Muros					
Unidad	Artisanal	Industrial	Sólido	Tubular/Hueco	
Confinamiento	Si	No			
Fisuras	Si	No			
Tarrajeo	Si	No			
Estado de conservación	Bueno	Regular	Malo		
Actuarial/lotización representativa					
			2MCMB		
			1AVSR		
			3MMMB		
			2SVSR		
			1AVSR		

**Figura 2. Formato para vivienda representativa de la manzana**

### 2.1.2. Sectorización y Levantamiento de Datos de Campo

- Preparación de planos para la toma de datos: Basado en la información de planos georeferenciados del INEI del último censo de vivienda del año 2007 y aquellos proporcionados por la Municipalidad de Cusco, se imprimieron los planos para la elaboración de los trabajos de campo en las zonas de estudio. A partir de la información suministrada el distrito se dividió en 9 sectores, tal como se muestra en el Mapa No. E-01b.
- Para tener una mejor referencia de las zonas a las cuales se va a levantar la información y disponer los equipos para este fin, se integró una imagen satelital de alta resolución a través de la información proporcionada en una plataforma SIG.

- c) Distribución de coordinadores responsables de los equipos de evaluadores: Con los cuatro equipos de dos evaluadores cada uno se realizaron salidas periódicas de campo por un espacio de una semana. Los coordinadores de grupo, sectorizaron el distrito, para que cada grupo trabajase en zonas involucradas reportando la información levantada a los coordinadores, quienes con sus asistentes, transfirieron la información generada en las fichas a una base de datos utilizando una hoja de cálculo con campos similares al de la ficha. Esta información fue introducida a un sistema de información geográfica (SIG) para su georreferenciación espacial.

La sectorización del distrito se muestra en la Figura 3, que se adjunta a continuación, en donde son identificados los 9 sectores en que se dividió el distrito de Cusco.

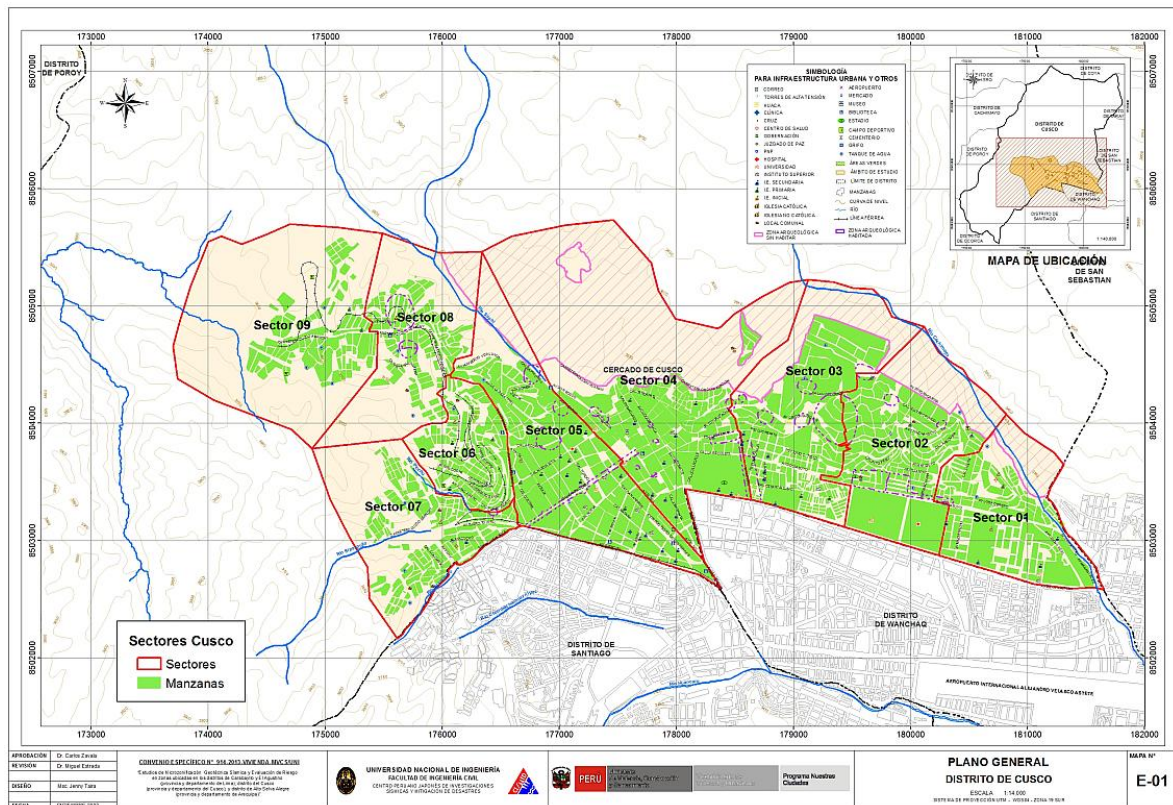


Figura 3. Sectores del distrito de Cusco.

### 2.1.3. Procedimiento y Control de Calidad de Datos de Campo

- a) Digitalización de datos de campo en una plataforma de sistemas de información geográfica  
La información recabada en campo fue vertida en una base de datos en formato SHAPE, la cual fue procesada por el programa ArcGIS. La digitalización fue desarrollada por asistentes y un supervisor, quienes procesaron la información de campo.
- b) Clasificación de datos  
Se clasificó la base de datos según las características físicas de los predios levantados como: material predominante, número de pisos, uso y estado de conservación.
- c) Verificación de los datos recogidos



Se llevaron a cabo dos niveles de control de calidad:

c1 - Un control de calidad en campo:

Donde los coordinadores realizaron visitas de campo para verificar la información recolectada por los diferentes equipos tomándose al azar manzanas y lotes que fueron verificadas en el campo. Se realizó el control de calidad durante la campaña de levantamiento de datos por 2 profesionales.

c2 – Un control de calidad en gabinete:

El método de verificación usado fue mediante la comparación de los formatos llenados en campo con las fotografías digitales tomadas en el lugar, la verificación se hace comparando la foto con los atributos de los lotes, por ejemplo observando el número de pisos en la foto y comparándolo con el valor almacenado en la base de datos.

#### 2.1.4. Georreferenciación y Compatibilización de Planos

a) Definición del sistema de georreferenciación

Según normatividad actual, todos los planos producidos deben estar georreferenciados usando la proyección del sistema de coordenadas planas UTM, teniendo como base el DATUM WGS84.

b) Compatibilización de planos provenientes de diferentes fuentes sobre la misma base cartográfica

Los planos que estuvieron en otro sistema de coordenadas fueron convertidos al sistema en mención mediante los parámetros por defecto que otorga el programa ArcGIS.

#### 2.1.5. Sistematización de la Información

Para el procesamiento de la información se creó una base de datos geoespacial donde se integrarían no solo los datos cartográficos, como los límites de las manzanas, sino también los datos descriptivos de cada una de ellas. Los datos con los sectores, las manzanas y los lotes dentro los límites distritales son implementados al sistema SIG.

La evaluación de las edificaciones, si bien es cierto que se identificó una evaluación genérica a nivel de lote, la presentación de los resultados se basa en la identificación del lote representativo de la manzana. Para realizar la evaluación y trabajo de campo se seleccionó una muestra estadística distribuida espacialmente entre todas las manzanas del distrito. Para la selección de manzanas se definió que por lo menos el 14% del total de manzanas debe ser evaluado.

#### 2.1.6. Ubicación de las manzanas a evaluar

Para la selección de la ubicación de las manzanas a evaluar se utilizó una función estadística de distribución continua. La distribución que se utilizó fue la distribución uniforme. En estadística la distribución uniforme es una distribución de probabilidad cuyos valores tienen la misma probabilidad.

Se define la función de probabilidad uniforme como:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{para } a \leq x \leq b \\ 0 & \text{para el resto} \end{cases}$$

Donde:  $a$  y  $b$  son los límites geográficos para el distrito de Cusco y  $x$  toma los valores para las coordenadas Norte y Este. Esta función tiene como característica que su media es  $(a + b)/2$ .





## 2.2. Base de datos geo-espacial

Organizada la información a recolectar y las manzanas donde se evaluarán los lotes se procedió al trabajo de campo para luego pasar al trabajo de gabinete donde se procesó la información adquirida.

En cada manzana seleccionada se levantó los datos de todos los lotes que se encuentran en esa manzana, indicándose las características de la edificación así como el código de la manzana. De todos estos lotes se seleccionó uno representativo el cual es llevado a una base de datos separada para luego ser incorporada a la plataforma SIG. En la selección del lote representativo, se considera aquel que representa las características más frecuentes, es decir, aquella edificación que se repite más veces, dentro de la manzana evaluada- En la Figura 5 se muestra la base de datos de las características de las edificaciones representativas de cada una de las manzanas levantadas.

Num	CodMta	Sec_Mta	LoteRepre	Cond. De Cimentación	Techo	FisurasCol	FisurasVig	FisurasMur	Unidad de Albañilería	Tipología	Confina	Terrajeo	FotoRepres	
1	975	S01_1	05CVIB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artisanal	Tubular	SI	SI	\\Fotos\Fotos_501\P1100805.jpg
2	353	S01_2	02MVSJR	SI	NO	Aligerado	X	X	D	Artisanal	Sólido	SI	SI	\\Fotos\Fotos_501\P1100806.jpg
3	1102	S01_3	03MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artisanal	Tubular	SI	NO	\\Fotos\Fotos_501\P1100807.jpg
4	1059	S01_4	03MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artisanal	Tubular	SI	SI	\\Fotos\Fotos_501\P1100809.jpg
5	351	S01_5	02AVSR	NO	NO	Torta de Barro	X	X	X	ND	ND	NO	NO	\\Fotos\Fotos_501\P1100810.jpg
6	385	S01_6	02AVSR	NO	NO	Torta de Barro	X	X	X	ND	ND	NO	SI	\\Fotos\Fotos_501\P1100811.jpg
7	699	S01_7	02AVSR	NO	NO	Torta de Barro	X	X	X	ND	ND	NO	SI	\\Fotos\Fotos_501\P1100813.jpg
8	398	S01_8	04MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	\\Fotos\Fotos_501\P1100814.jpg
9	820	S01_9	04MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	\\Fotos\Fotos_501\P1100815.jpg
10	393	S01_10	04MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	\\Fotos\Fotos_501\P1100816.jpg
11	399	S01_11	02AVSR	NO	NO	Torta de Barro	X	X	D	ND	ND	NO	SI	\\Fotos\Fotos_501\P1100817.jpg
12	679	S01_12	02AVSR	NO	NO	Torta de Barro	X	X	D	ND	ND	NO	SI	\\Fotos\Fotos_501\P1100819.jpg
13	677	S01_13	02AVSR	NO	NO	Torta de Barro	X	X	D	ND	ND	NO	SI	\\Fotos\Fotos_501\P1100820.jpg
14	675	S01_14	02AVSR	NO	NO	Torta de Barro	X	X	X	ND	ND	NO	SI	\\Fotos\Fotos_501\P1100821.jpg
15	671	S01_15	02AVSR	NO	SI	Torta de Barro	X	X	X	ND	ND	NO	SI	\\Fotos\Fotos_501\P1100822.jpg
16	892	S01_16	02AVSB	NO	NO	Torta de Barro	X	X	X	ND	ND	NO	SI	\\Fotos\Fotos_501\P1100823.jpg
17	894	S01_17	01AVSB	NO	NO	Torta de Barro	X	X	X	ND	ND	NO	SI	\\Fotos\Fotos_501\P1100824.jpg
18	884	S01_18	02AVSR	NO	NO	Torta de Barro	X	X	X	ND	ND	NO	SI	\\Fotos\Fotos_501\P1100825.jpg
19	888	S01_19	02MVMR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Artisanal	Tubular	SI	SI	\\Fotos\Fotos_501\P1100827.jpg
20	882	S01_20	02AVSR	NO	NO	Torta de Barro	X	X	X	ND	ND	NO	SI	\\Fotos\Fotos_501\P1100828.jpg
21	274	S01_21	03MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	\\Fotos\Fotos_501\P1100830.jpg
22	276	S01_22	02MVMR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Artisanal	Sólido	SI	SI	\\Fotos\Fotos_501\P1100831.jpg
23	879	S01_23	02MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artisanal	Sólido	NO	SI	\\Fotos\Fotos_501\P1100832.jpg
24	269	S01_24	02MVMB	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Artisanal	Tubular	SI	SI	\\Fotos\Fotos_501\P1100834.jpg
25	897	S01_25	03MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artisanal	Tubular	SI	SI	\\Fotos\Fotos_501\P1100833.jpg
26	1061	S01_26	04MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artisanal	Tubular	SI	SI	\\Fotos\Fotos_501\P1100835.jpg
27	1062	S01_27	03MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artisanal	Tubular	SI	SI	\\Fotos\Fotos_501\P1100836.jpg

**Figura 5.** Base de datos de los lotes representativos por manzana.

Esta base de datos elaborada en hoja de cálculo se transfiere a la plataforma SIG y se integra a la base de datos de las manzanas, de manera de cada una de las manzanas tenga los datos necesarios para su evaluación mediante el programa de cálculo de nivel de daño o reparación.

En la plataforma SIG se genera la base de datos geo-espacial la cual permite una rápida observación de las condiciones de las edificaciones de las manzanas, no sólo desde el punto de vista descriptivo, sino también gráfico, ya que se integran a la base de datos las fotografías de las manzanas. Por cada manzana se tomaron 5 fotografías, una por cada esquina y una del detalle del lote representativo.

La Tabla 1 presenta la base de datos descriptiva. En esta tabla se muestran todos los campos ordenados alfabéticamente. Esta base de datos contiene la integración de todos los datos, es decir de los datos levantados en campo así como los valores obtenidos del procesamiento de la información, para finalizar con el valor del costo de reparación, que es explicado más adelante.



Tabla 1. Descripción de los campos de la base de datos.

Nombre del Campo	Descripción
AcelMax	Aceleración máxima del terreno en cm/s <sup>2</sup>
Avg_GRID_C	Promedio del porcentaje del costo de reaparación
CimentA	Asentamiento en la cimentación
CimentH	Humedad en la cimentación
Codaza	Código de la manzana
Confina	Confinamiento en muros
CostRep3	Porcentaje del costo de reparación calculado
Esen_Dano	Uso de suelo y nivel de daño
Estado	Estado de la edificación
FabricaAlb	Tipo de unidad de albañilería
FID	Identificador de elemento
FisuraCol	Fisuras en las columnas
FisuraMur	Fisuras en muros
FisuraVig	Fisuras en vigas
FotoEsq1	Foto de una esquina de la manzana
FotoEsq2	Foto de una esquina de la manzana
FotoEsq3	Foto de una esquina de la manzana
FotoEsq4	Foto de una esquina de la manzana
FotoRepres	Foto del lote representativo
LoteRepre	Característica del lote representativo
Material	Tipo de material construcción
MatNivDan	Tipo de material y nivel de daño
Max_GRID_C	Valor máximo del porcentaje del costo de reparación interpolado
Min_GRID_C	Valor mínimo del porcentaje del costo de reparación interpolado
Num	Número de manzana interpolada
NumMza	Número de sector y manzana
Pisos	Número de pisos promedio en la manzana
Rango_Dano	Nivel de daño final
SD_GRID_CO	Desviación estándar de los valores del porcentaje de reparación interpolados
Shape	Tipo de entidad geométrica
Sist_Est	Sistema estructural
Tarrajeo	Existencia de tarrajeo
Techo	Tipo de techo
TipoAlb	Tipo de unidad de albañilería
Uso	Tipo de uso
Verifica	Se evalúa

La Figura 6 muestra el detalle de los datos de una manzana evaluada. Como se puede apreciar en esta base de datos geo-espacial se ha integrado una imagen de satélite, obtenida desde Google Earth, la información cartográfica de los bordes de las manzanas y dentro de la base de datos descriptiva además de la información levantada en campo se encuentra la información procesada. Adicionalmente, se han integrado fotografía de las manzanas evaluadas por medio de hipervínculos a los archivos que contienen a estas fotos.



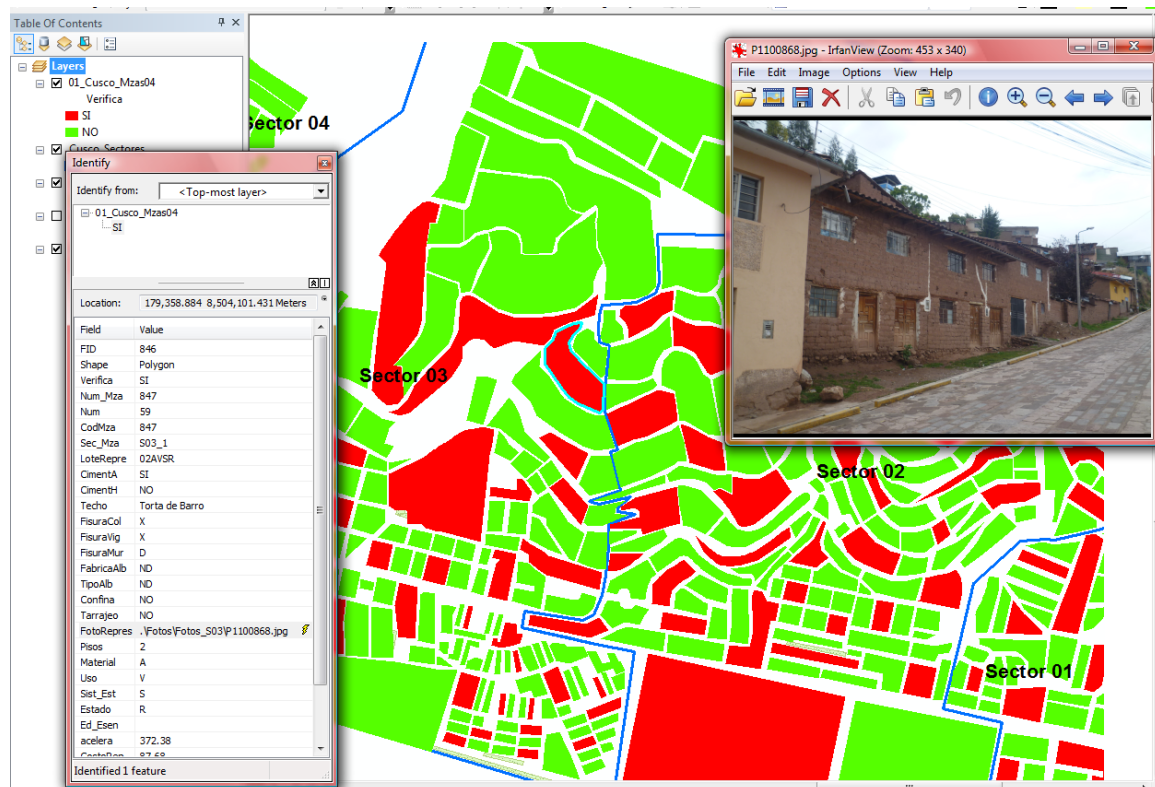


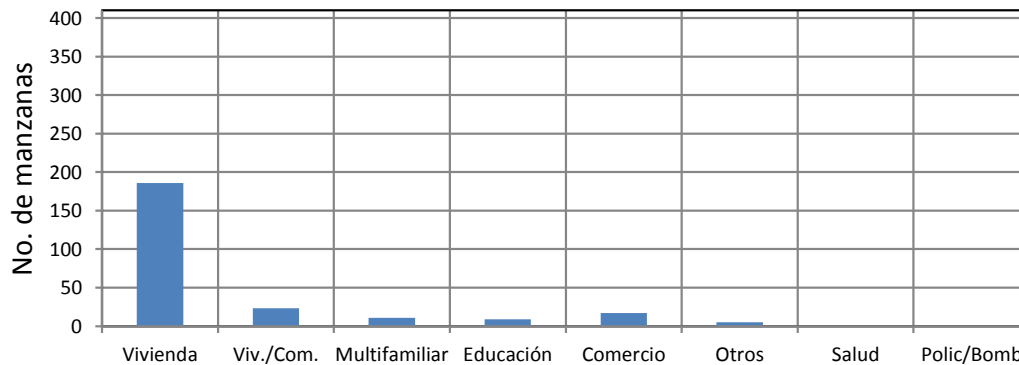
Figura 6. Base de datos Geo-espacial, integración de información cartográfica, descriptiva y procesamiento.

Como resumen de los datos adquiridos en campo se presenta en el mapa E-03 el número de pisos, en el mapa E-04 el material predominante de la edificación, en el mapa No. E-05 el uso de suelo, en el mapa E-06 el sistema estructural y en el mapa E-07 se muestra el estado de conservación.

### 2.2.1. Mapa de Uso de Suelo

En el mapa E-05 se presenta las manzanas evaluadas y clasificadas de acuerdo al uso del suelo de las edificaciones. En la Figura 7 se presenta el análisis estadístico de la muestra en lo referente al uso del suelo o uso de la edificación de la muestra estudiada. Puede leerse que es predominante el uso en viviendas que ocupan un 74% de la muestra, seguido de viviendas comercio que representan el 9% de la muestra, los colegios que representan un 4% y el comercio representa el 7% de las edificaciones en el área estudiada.

### Uso de la edificación

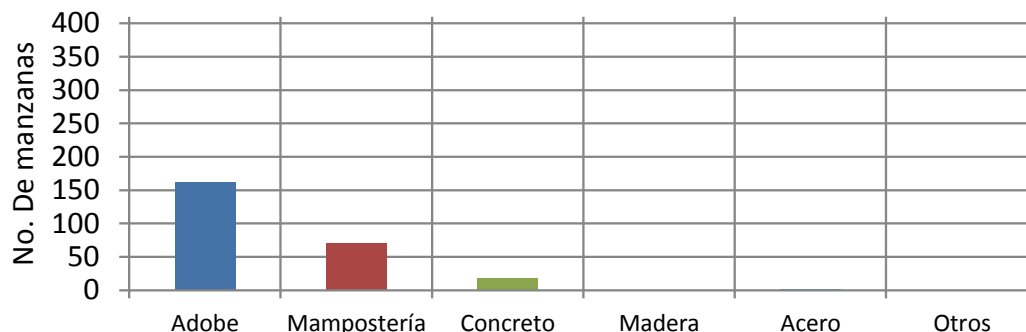


**Figura 7 -** Distribución del uso del suelo de la muestra del distrito de Cusco.

### 2.2.2. Mapa de Materiales Predominantes

En el mapa E04, referente a los materiales existentes en las edificaciones del distrito de Cusco, se realizó un análisis estadístico de la muestra, dando como resultado la gráfica que se presenta en la Figura 8, donde es notorio que el material predominante es el adobe que representa el 65% de la muestra. Debe destacarse que existen edificaciones de concreto que representan un 7% de la muestra, así como viviendas de albañilería que representan el 28% de las edificaciones muestreadas.

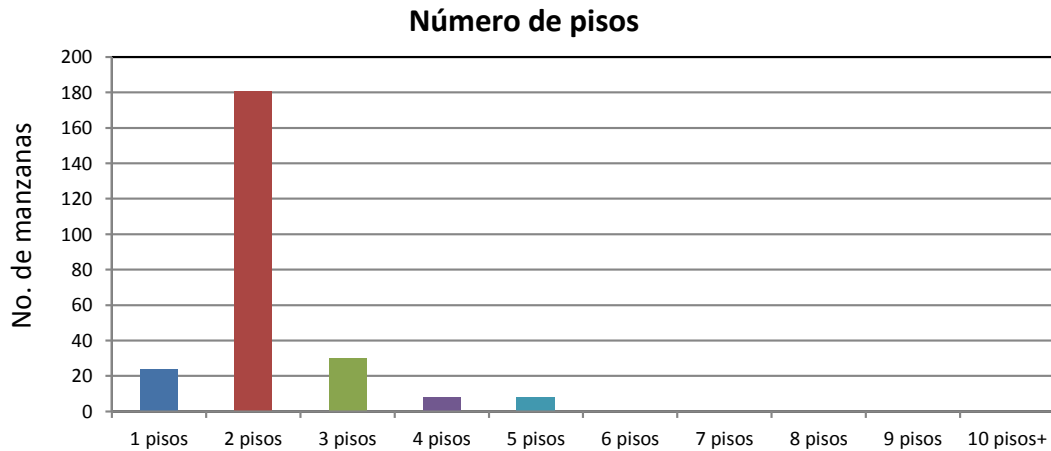
### Material de las edificaciones



**Figura 8.** Distribución de los materiales de construcción de la muestra del distrito de Cusco.

### 2.2.3. Mapa de Alturas de Edificación

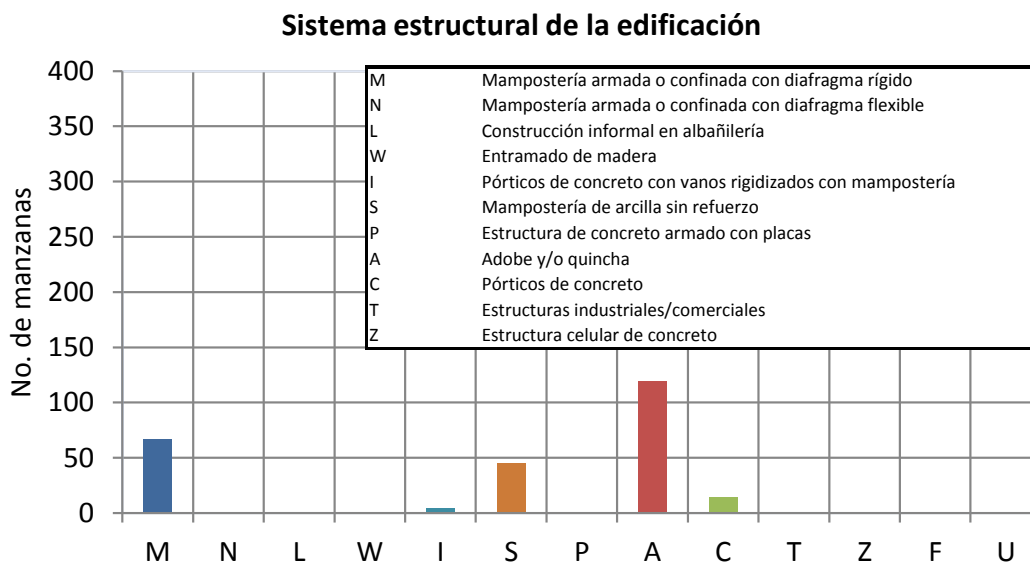
En el mapa E-03 se presenta el levantamiento de información de las manzanas evaluadas relacionadas con el número de pisos de las edificaciones representativas de las manzanas. Esta distribución de alturas se resume en la Figura 9, donde se puede apreciar que en el Distrito de Cusco, predominan las edificaciones de 2 pisos que corresponde al 72% del total de las edificaciones evaluadas y es la tendencia general en el distrito. En segundo lugar de repetición de niveles de altura son las edificaciones de tres pisos y que corresponde al 12% del total de las edificaciones evaluadas. Este distrito también cuenta con edificaciones de 1 piso, pero en un porcentaje mucho menor, equivalente al 10% del total de las edificaciones evaluadas. Este número relativamente bajo de altura de edificaciones se debe a que el Distrito de Cusco, es un distrito que está en pleno desarrollo y por lo tanto aún no se encuentran edificaciones de gran altura relativa.



**Figura 9.** Distribución del número de pisos de las edificaciones del distrito de Cusco.

#### 2.2.4. Mapa de Tipologías Estructurales

En el mapa E-06 se presenta el levantamiento de información de las manzanas evaluadas relacionadas con el sistema estructural usado en las edificaciones. La Figura 10 presenta la distribución del uso de los sistemas estructurales que arroja la estadística de la muestra usada en el distrito de Cusco. En el gráfico se entiende que el sistema estructural más utilizado es el adobe que ocupa el 47% de la muestra. Le siguen a este sistema en uso la albañilería confinada con diafragma rígido con un 27% de la muestra. Por otro lado un 18% de la muestra está representado por mampostería sin refuerzo. Las estructuras de pórticos de concreto armado representan un 6% de la muestra estudiada.



**Figura 10.** Distribución del uso del sistema estructural muestra del distrito de Cusco.



### 2.2.5. Mapa de Estado de Conservación

El mapa temático E-07 presenta el estado de conservación de las viviendas del distrito de Cusco. La Figura 11 presenta los resultados estadísticos de la muestra analizada. El 19% de las edificaciones evaluadas se encuentran en buen estado de conservación, mientras que el 79% de la muestra presenta un estado regular de conservación, en contra de un 2% que presenta un mal estado de conservación.

#### Estado de Conservación o Condición de las Edificaciones

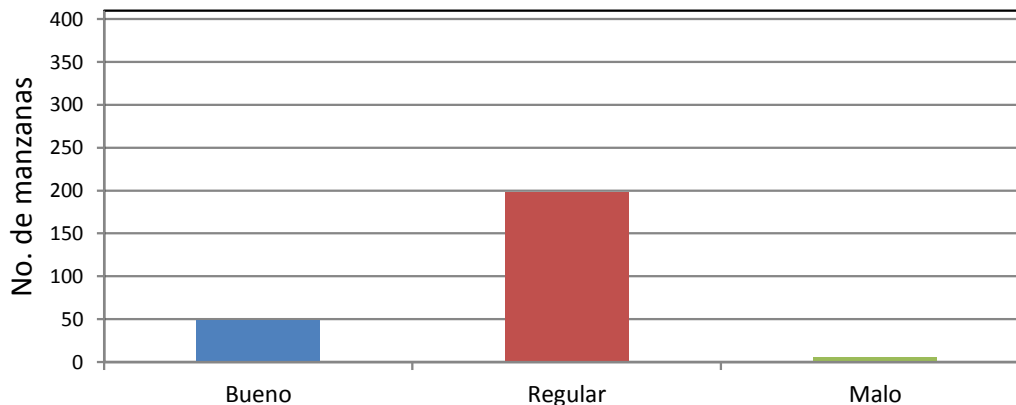


Figura 11 - Estado de conservación de la muestra de edificaciones del distrito de Cusco.

### 2.2.6. Mapa de Vulnerabilidad

#### Conceptos Generales

La determinación de la vulnerabilidad sísmica de una edificación es el grado de susceptibilidad de daño ante la ocurrencia de un terremoto. Conociendo este grado, que generalmente es expresado como edificación en buen estado, edificación regular, edificación en mal estado y edificación colapsada, es cuantificar el daño.

#### Formas de Evaluación

Su evaluación puede realizarse básicamente usando dos criterios: método determinístico y método por criterio.

#### Método Determinístico

El método determinístico se basa en un estudio detallado de la estructura. Este estudio se basa en la evaluación mediante una inspección, toma de muestra de materiales, medición de la vibración en la estructura, auscultación del de cimentación, verificación de profundidad del cimiento y la modelación matemática de la estructura a través de programas especializados competentes, para producir un diagnóstico de la respuesta sísmica y encontrar si la edificación resistirá las fuerzas y desplazamientos inducidos por el terremoto.

#### Método por Criterio

El método por criterio se basa o método empírico están basados, en simplificaciones dadas por la experiencia y desarrolladas por expertos con la finalidad de a través de un cuestionario y una lista de verificación de parámetros que son usados como entradas a curvas, funciones, o simuladores de la respuesta sísmica, con el fin de dar un diagnóstico de su estado luego del evento.



### Método adoptado para el análisis de la muestra en el presente estudio

Considerando la muestra de manzanas y lotes representativos se implementó una base de datos con la finalidad de determinar mediante el uso del método de estimación rápida de la respuesta sísmica de edificaciones [3] y [4], basado en la metodología propuesta por Miranda [2] para la estimación rápida de desplazamientos máximos y distorsiones de entrepiso, que ha sido adaptado en el CISMID para estudios de vulnerabilidad sísmica en edificaciones con tipologías propias del Perú.

Este método se basa en el diagnóstico de la respuesta sísmica de las edificaciones, considerando las aceleraciones máximas del terreno según los resultados del estudio del peligro sísmico presentado en el Anexo adjunto a este informe y el catálogo de tipologías de edificaciones representativas del distrito. Con este propósito se consideran variables claves como aceleración de demanda sísmica, material de la edificación, número de pisos, sistema estructural predominante y otros datos recabados en el levantamiento de campo lote a lote en la ciudad. Seguidamente se utiliza la metodología de índices  $\beta_i$ , que considera que la respuesta sísmica de una estructura se encuentra en base al producto de los índices  $\beta_i$  por el desplazamiento espectral ( $S_d$ ) para el periodo predominante de la estructura entre la altura del edificio ( $H$ ), dando una aproximación de la distorsión del entrepiso:

$$\left( \frac{\Delta \delta_j}{h_j} \right) = \frac{\beta_1 \beta_2 \cdot \beta_3 \beta_4}{H} S_d$$

El índice  $\beta_1$ , es una aproximación al factor de participación dado como una función del número de pisos:

$$\beta_1 = \frac{3N}{2N + 1}$$

El índice  $\beta_2$ , relaciona la aproximación de la distorsión máxima en la aproximación contra la distorsión en un sistema real:

$$\beta_2 = \frac{\max \left( \frac{\Delta \delta_j}{h_j} \right)}{\left( \frac{U_r}{H} \right)}$$

El índice  $\beta_3$ , relaciona la fuerza de respuesta con la sobre resistencia como función de la ductilidad asignada a cada tipología estructural:

$$\beta_3 = \frac{U^x + \Delta U^x}{U} = \frac{F^x \cdot \mu}{F}$$

El índice  $\beta_4$ , produce una aproximación de la relación existente entre la distorsión inelástica y la distorsión elástica, que expresan una medida de ductilidad:

$$\beta_4 = \frac{\varphi_{inelastico}}{\varphi_{elastico}}$$



El periodo que sirve de base en el diagnóstico, es dependiente de la tipología estructural y del número de pisos, que produce una diagnosis del desplazamiento y distorsiones de cada piso. De esta manera se estiman las distorsiones de entrepiso que diagnostican el estado de la edificación basado en los límites de distorsión máxima de la norma de diseño sismorresistente NTE-030-RNE y ajustada en base la base de datos de experimentación muros, paneles y módulos a escala natural ensayados en CISMID a lo largo de sus 23 años de experiencia de laboratorio.

Este procedimiento fue automatizado utilizando el programa SRSND presentado en [5] y utilizado en [6], el mismo que produjo tanto la respuesta sísmica de la edificación representativa de la manzana de la muestra, así como el nivel de daño esperado para el escenario sísmico de demanda propuesto. Los resultados fueron implementados con el sistema GIS para producir los resultados esperados en los productos.

A continuación se presenta un resumen de los resultados, dando un énfasis en la zona con mayor vulnerabilidad.

#### **Edificaciones con Nivel de Vulnerabilidad Alto:**

Son edificaciones con gran probabilidad de falla total o de daños muy graves que hagan difícil su reparación (con un daño severo probable donde su costo de reparación sea superior o igual 85% de su valor), además de implicar peligro de muerte o heridos graves para sus ocupantes. Por ejemplo:

- Edificaciones de adobe antiguas debilitadas por la humedad, erosión, o sismos anteriores; y ubicados sobre suelos flexibles.
- Edificaciones de ladrillo sin refuerzo ni confinamiento, con poca densidad de muros; ubicados sobre suelos blandos.
- Muros altos de ladrillo o adobe, de poco espesor y sin ningún arriostre.
- Edificaciones construidas con materiales inestables y provisionales, sin ningún tipo de arriostamiento o refuerzo vertical u horizontal.
- Edificaciones con configuración en planta irregular.
- Techos o coberturas en mal estado de conservación.
- 

#### **Edificaciones con Nivel de Vulnerabilidad Medio:**

Son edificaciones donde se pueden producir daños importantes, que aunque no colapsen las estructuras, es difícil su utilización sin ser reparadas, estimándose su costo de reparación entre el 30 y 60% de su valor. Pueden producirse accidentes por caídas de bloques de albañilería o concreto, rotura, etc. Por ejemplo:

- Edificaciones de ladrillo con defectos de estructuración, que provoque concentración de esfuerzos en algunos puntos.
- Construcciones de adobe bien estructurado, de un solo piso y construido en terreno flexible.
- Construcciones con muros de ladrillo bien estructurado pero con coberturas en mal estado, que signifique algún riesgo.
- 

#### **Edificaciones con Nivel de Vulnerabilidad Bajo:**

Son edificaciones donde se estiman se producirán daños menores o leves. El sistema estructural conserva sin mayor peligro, gran parte de su resistencia y puede aún seguir siendo utilizado. Por ejemplo:

- Edificaciones de ladrillo con columnas de concreto armado, o acero, diseñadas de acuerdo a normas de diseño sísmico, con materiales de buena calidad, buena mano de obra, e inspección rigurosa.
- Edificaciones regulares de concreto con muros de corte o edificaciones regulares con pórticos de concreto con cajas de escalera y ascensor de concreto con existencia de muros de concreto y/o albañilería.





- Edificaciones en laderas de los cerros, donde su cimentación generalmente se apoya en muros de contención de piedra (pircas secas) no recomendables para tomar fuerzas de sismo.

### Evaluación y análisis estadístico de las edificaciones evaluadas

- Lotes:** Se evaluaron la totalidad de los lotes de la muestra, siendo el material predominante el adobe, con presencia en el 65% de los lotes.
- Muros:** Tal como se indicó, el adobe tiene una presencia del 65% en las viviendas cuyo sistema estructural son los muros, sean éstas de 1 piso o 2 pisos. De acuerdo a lo observado en varios casos, las construcciones son realizadas con intervención de maestros de obra y personal obrero, sin tener la asesoría técnica de un profesional de la especialidad. Asimismo, aproximadamente el 27% de las viviendas presentan columnas de confinamiento de concreto armado en sus paredes.
- Coberturas y Sistema de techos:** Del total de lotes inspeccionados, el 27% de ellos tienen techos aligerados de ladrillo con viguetas de concreto armado, y el 47%, poseen coberturas de calamina, esteras o madera. Estas coberturas se concentran en los sectores emergentes como las laderas de cerros y asentamientos humanos.
- Estado de Conservación:** El estado de conservación de las construcciones en un 19% es aceptable y bueno. Un 79% de las viviendas muestran un estado de conservación regular y otro 2% de las edificaciones presentan un mal estado de conservación, especialmente, por las condiciones provisionales de sus materiales en techos, la inestabilidad de los taludes, y las malas condiciones del suelo.

### RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS PRINCIPALES SECTORES

#### Sector 01

El Sector 01 está conformado por 28 manzanas para el muestreo de las edificaciones. Este sector está ubicado en la parte este del distrito de Cusco, delimitado por las avenidas de la Cultura al sur, Manzanares e Inca Roca al oeste y unas estribaciones al norte.

Se observó en la inspección que una de las edificaciones predominantes son las viviendas de adobe que varían de uno a tres niveles. Algunas de ellas se encuentran tarrajeadas en el frente por lo que se dificulta su identificación. En la Figura 12 se muestra una edificación típica de adobe en este sector.



**Figura 12.** Viviendas de adobe de dos niveles.

Algunas de las edificaciones de varios niveles relativamente nuevas se caracterizan por ser construidas sin un adecuado soporte, pues se evidencian defectos constructivos como cangrejeras en el concreto, cambio en las unidades de albañilería para muros estructurales, entre otras, como se observa en la Figura 13.



**Figura 13.** Edificaciones con deficiencias constructivas.

Existen otro gran grupo de edificaciones de varios niveles, conformado por pórticos de concreto armado y muros de albañilería, los cuales tienen una buena condición y un sistema estructural apropiado para su uso, como se observa en la Figura 14.



Figura 14. Edificaciones multifamiliares de cinco niveles.

### Sector 02

El Sector 02 está conformado por 30 manzanas para el muestreo de las edificaciones. Este sector se encuentra al este del distrito de Cusco, está delimitado por la avenida La Cultura al sur, Manzanares e Inca Roca al oeste y unas estribaciones al norte.

Una de las edificaciones características de este sector son las edificaciones de adobe de dos niveles, con y sin tarrajeo, como se observa en la Figura 15. En algunos casos, estas edificaciones están deterioradas debido al medio ambiente (lluvias), presentando grietas por el efecto de la gravedad y asentamientos.



Figura 15. Viviendas de adobe de dos niveles.

Otra de las edificaciones representativas de este sector son las viviendas de albañilería confinada, como se observa en la Figura 16; de unidades tubulares, sólidos y bloquetas, en su gran mayoría de fabricación artesanal.





Figura 16. Viviendas de albañilería.

### Sector 03

El Sector 03 está conformado por 36 manzanas para el muestreo de las edificaciones. Este sector se encuentra al este del distrito de Cusco, está delimitado por la avenida La Cultura al sur, Manzanares e Inca Roca al oeste, Santo Toribio de Mogrovejo al este y unas estribaciones al norte. Una de las edificaciones más comunes en este sector son las viviendas de adobe, como se observa en la Figura 17.



Figura 17. Viviendas de adobe.

En la parte sur de este sector predominan las viviendas multifamiliares de albañilería confinada hasta de cinco niveles, como se muestra en la Figura 18.



Figura 18. Viviendas multifamiliares.

#### Sector 04

El Sector 04 está conformado por 29 manzanas para el muestreo de las edificaciones. Este sector está ubicado en la parte este del distrito de Cusco, delimitado por las avenidas de Saphy, Plateros, Confitura Portal Comercio, Tulumayo al oeste, de la Cultura al sur, Retiro, Lucrepata y unas estribaciones al norte. Se observó en la inspección que una de las edificaciones predominantes son las viviendas de adobe que varían de uno a dos niveles. En la Figura 19 se muestra una edificación típica de adobe en este sector.



Figura 19. Viviendas de adobe de dos niveles.

Algunas de las edificaciones de varios niveles relativamente cerca al centro histórico, turístico y alrededor de la plaza de armas se encuentran muchas edificaciones de comercio de dos niveles, estos pueden ser restaurantes, hostales, hoteles discotecas, etc., como se observa en la Figura 20.



**Figura 20.** Edificaciones de viviendas comercio.

Existen otro gran grupo de edificaciones de varios niveles, conformado por pórticos de concreto armado y muros de albañilería, los cuales tienen una buena condición y un sistema estructural apropiado para su uso, como se observa en la Figura 21.



**Figura 21.** Edificaciones porticadas de varios niveles.

Así mismo muchas de las edificaciones en el cusco presentan como material de construcción de piedra-adobe (Ver Figura 22). En algunos casos solo se han usado piedras laja como cobertura a cierta altura como se muestra en las Figura 23 y Figura 24. En muchos casos se han encontrado muros trapezoidales en la base con pircas como se muestran en edificaciones o casonas (Ver Figura 25, Figura 26 y Figura 27).





Figura 22. Edificaciones de piedra-adobe.



Figura 23. Edificaciones de adobe con piedras lajas de cobertura.



Figura 24. Vistas de edificaciones de adobe con piedras, donde su principal material predominante es adobe.



Figura 25. Edificaciones de adobe con base tipo pircas de piedras.



**Figura 26.** Muros trapezoidales en edificaciones de piedra- adobe.



**Figura 27.** Construcción de pircas de piedras.

### Sector 05

El Sector 05 está conformado por 27 manzanas para el muestreo de las edificaciones. Este sector se encuentra al este del distrito de Cusco, está delimitado por Prolongación Arcopata al oeste, por la avenida La Ejercito al sur, Avenida el Sol, Avenida Plateros y Saphy al este y unas estribaciones al norte. Una de las edificaciones características de este sector son las construcciones de adobe de dos niveles cuyos usos son de vivienda y vivienda comercio, como se observa en la Figura 28.



**Figura 28.** Viviendas de adobe de dos niveles del sector 05.

Otra de las edificaciones representativas de este sector son las viviendas de albañilería confinada, como se observa en la Figura 29; con unidades tubulares, sólidas y bloquetas, en gran mayoría de fabricación artesanal y muchas de estas edificaciones con deficiencias constructivas.





**Figura 29.** Viviendas de albañilería del sector 05.

Por otro lado, existe otro gran grupo de edificaciones de varios niveles conformados por pórticos de concreto armado y muros de albañilería, los cuales tienen una buena condición y un sistema estructural apropiado para su uso, como se observa en la Figura 30.



**Figura 30.** Edificaciones porticadas de varios niveles del sector 05.

### Sector 06

El Sector 06 está conformado por 27 manzanas para el muestreo de las edificaciones. Este sector se encuentra al este del distrito de Cusco, está delimitado por la avenida Túpac Amaru, General Ollanta y Ricardo Palma al sur, Don José de San Martín al oeste, Prolongación Arcopata al este y Apu San Benito y estribaciones al norte. Una de las edificaciones más comunes en este sector son las viviendas de adobe, como se observa en la Figura 31.



**Figura 31.** Viviendas de adobe del sector 06.

Así mismo se observó que existen edificaciones de adobe que se encuentran en mal estado, debido a las lluvias y asentamiento. También se encontró algunas edificaciones de albañilería con deficiencias constructivas, como se muestra en la Figura 32.



**Figura 32.** Viviendas de adobe y albañilería del Sector 06.

### Sector 07

El Sector 07 está limitado por el Norte con la calle General Ollanta y cerros colindantes, por el Este con la calle Mariano Melgar y Precursores, por el Sur con la calle Precursores, y por el Oeste con cerros colindantes. En este sector fueron evaluadas 31 manzanas.

En general, este sector corresponde a una zona de viviendas unifamiliares y multifamiliares, donde un 84% de las edificaciones son de 2 pisos y el resto son de 01, 03 y 04 pisos.

El material predominante es el adobe con techos de madera (68%), siendo de mampostería confinada un 32%. Los principales materiales empleados son los siguientes: el adobe, el eucalipto, la teja de arcilla cocida de forma acanalada, la caña, el yeso, la piedra y la paja. Los muros están hechos de ladrillos de adobe (tierra y paja) de dimensiones variables pegados con tierra. Se observa un desconocimiento casi total de los criterios elementales de concepción de estructuras. No existe ningún refuerzo vertical ni horizontal y el aparejo de la mampostería de adobe es deficiente. El techo es en pendiente de dos aguas. La cubierta es de tejas acanaladas de arcilla cocida, colocadas sobre un mortero de tierra y paja.

El sistema estructural predominante es el de muros portantes de adobe con un 68% y en segundo término el de mampostería confinada con un 32%.

Un alto porcentaje de las edificaciones se encuentran en un regular estado de conservación (77%) y en menor medida, se encuentran las viviendas en buen (19%) y mal estado de conservación (4%). El uso predominante es la vivienda (81%) y el uso vivienda-comercio (19%), especialmente con pequeños negocios de tienda de abarrotes.

La Figura 33, Figura 34, Figura 35 y Figura 36 muestran algunos tipos de edificaciones encontradas en este sector.



**Figura 33.** Edificación típica de adobe de dos pisos con techo en pendiente a dos aguas. Uso para vivienda. Regular estado de conservación.



**Figura 34.** Edificaciones adobe ubicadas en pendiente de cerros. Regular estado de conservación. Uso destinado a vivienda.





**Figura 35.** Edificaciones de adobe de dos niveles con uso destinado a vivienda y comercio.



**Figura 36.** Edificaciones de adobe ubicadas en laderas de cerros. Se aprecia la cubierta de tejas acanaladas de arcilla cocida.

### Sector 08

El Sector 08 está limitado por el Norte con cerros colindantes, por el Este con la calle Apu San Benito y cerros colindantes, por el Sur con ladera de cerros, y por el Oeste con las calles Las Ilusiones y Castilla. En este sector fueron evaluadas 22 manzanas.

En general, este sector corresponde a una zona de viviendas unifamiliares y multifamiliares, donde un 90% de las edificaciones son de 2 pisos y un 10 % es de un piso.

El material predominante es el adobe con techos de madera (82%), siendo de mampostería confinada un 18%. Los principales materiales empleados son los siguientes: el adobe, el eucalipto, la teja de arcilla cocida de forma acanalada, la caña, el yeso, la piedra y la paja. Los muros están hechos de ladrillos de adobe (tierra y paja) de dimensiones variables pegados con tierra. Se observa un desconocimiento casi total de los criterios elementales de concepción de estructuras. No existe ningún refuerzo vertical ni horizontal y el aparejo de la mampostería de adobe es deficiente. El techo es en pendiente de dos aguas. La cubierta es de tejas acanaladas de arcilla cocida, colocadas sobre un mortero de tierra y paja.

El sistema estructural predominante es el de muros portantes de adobe con un 82% y en segundo término el de mampostería confinada con un 18%.

Un alto porcentaje de las edificaciones se encuentran en un regular estado de conservación (86%) y en menor medida, se encuentran las viviendas en buen (10%) y mal estado de conservación (4%). El uso predominante es la vivienda (77%) y el uso vivienda-comercio (23%), especialmente con pequeños negocios de tienda de abarrotes.

La Figura 37, Figura 38, Figura 39 y Figura 40 muestran algunos tipos de edificaciones encontradas en este sector.



**Figura 37.** Edificaciones de adobe ubicadas en laderas de cerros. Se aprecia la cubierta de tejas acanaladas de arcilla cocida.



**Figura 38.** Edificaciones de mampostería de dos niveles. Regular estado de conservación. Uso destinado a vivienda.



**Figura 39.** Edificaciones de adobe de dos niveles con uso destinado a vivienda. No existe ningún refuerzo vertical ni horizontal y el aparejo de la mampostería de adobe es deficiente.



**Figura 40.** Edificaciones de adobe de dos niveles con uso destinado a vivienda y comercio.

### Sector 09

El Sector 09 está limitado por el Norte con las calles Las Amapolas y Las Palmeras, por el Este con la calle Las Ilusiones y cerros colindantes, por el Sur con ladera de cerros, y por el Oeste con laderas de cerros. En este sector fueron evaluadas 19 manzanas.

En general, este sector corresponde a una zona de viviendas unifamiliares y multifamiliares, donde un 95% de las edificaciones son de 2 pisos y un 5 % es de un piso.

El material predominante es el adobe con techos de madera (89%), siendo de mampostería confinada un 6% y de concreto armado un 5%. Los principales materiales empleados son los siguientes: el adobe, el eucalipto, la teja de arcilla cocida de forma acanalada, la caña, el yeso, la piedra y la paja. Los muros están hechos de ladrillos de adobe (tierra y paja) de dimensiones variables pegados con tierra. Se observa un desconocimiento casi total de los criterios elementales de concepción de estructuras. No existe ningún refuerzo vertical ni horizontal y el aparejo de la mampostería de adobe es deficiente. El techo es en pendiente de dos aguas. La cubierta es de tejas acanaladas de arcilla cocida, colocadas sobre un mortero de tierra y paja.

El sistema estructural predominante es el de muros portantes de adobe con un 89% y en segundo término el de mampostería confinada con un 6%.

Un alto porcentaje de las edificaciones se encuentran en un regular estado de conservación (74%) y en menor medida, se encuentran las viviendas en buen estado de conservación (26%). El uso predominante es la vivienda (74%) y el uso vivienda-comercio (26%), especialmente con pequeños negocios de tienda de abarrotes.

La Figura 41, Figura 42, Figura 43 y Figura 44 muestran algunos tipos de edificaciones encontradas en este sector.



**Figura 41.** Edificación de mampostería de dos niveles con uso destinado a vivienda y comercio. Buen estado de conservación.



**Figura 42.** Edificación de adobe al lado de edificación de mampostería. Ambas con uso de vivienda y comercio a la vez.





**Figura 43.** Edificación de adobe de dos niveles con refuerzo de contrafuertes de adobe en las esquinas.



**Figura 44.** Edificaciones de adobe ubicadas en laderas de cerros. Se aprecia la cubierta de tejas acanaladas de arcilla cocida.

En la Figura 45 se puede apreciar que el distrito de Cusco tiene una vulnerabilidad baja, donde casi el 98% de las edificaciones, de las evaluadas, tienen una baja vulnerabilidad, contra un 2% que tienen una vulnerabilidad media.

Este resultado se debe al reciente desarrollo del distrito, donde las áreas de expansión se están urbanizando con viviendas nuevas y todas ellas o en su mayoría de albañilería.



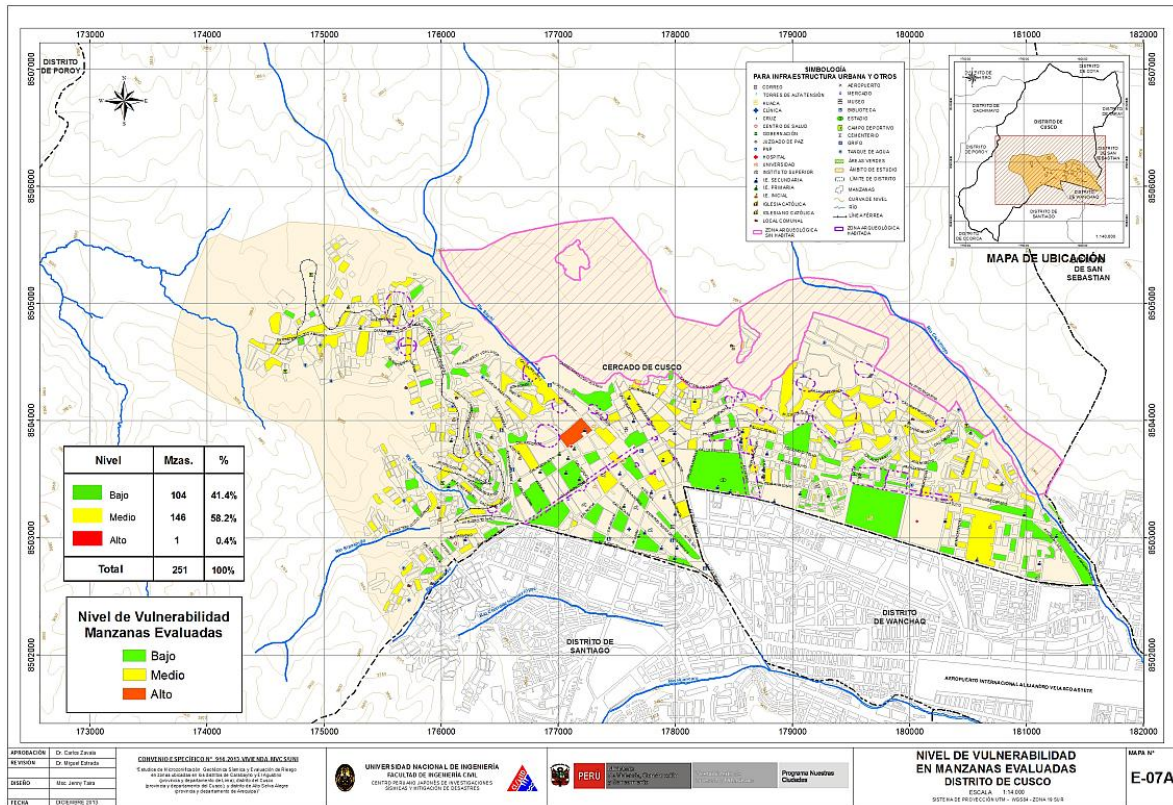


Figura 45. Mapa de Niveles de Vulnerabilidad del Distrito de Cusco.

### EVALUACIÓN DE EDIFICACIONES ESENCIALES

Para la evaluación de las edificaciones esenciales se consideró la edificación típica que formaba parte del complejo sea Colegio, Hospital, posta médica, comisaría, etc. de manera que fue tratada como una edificación sobre la cual deseamos conocer aproximadamente su respuesta sísmica. Bajo esta premisa, se encontró su demanda para las condiciones del estudio, de acuerdo a la demanda dada en el estudio de microzonificación geotécnica sísmica del distrito.

#### Sector 01

- Institución Educativa San Agustín, la edificación es de 06 niveles conformada por pórticos de concreto armado y losas aligeradas a excepción del último nivel, el cual tiene cobertura liviana, como se muestra en la Figura 46.



Figura 46. I.E. San Agustín.

## Sector 02

El Sector 02 está conformado por varias edificaciones esenciales, como centros educativos, Iglesias y comisaría.

- Universidad nacional San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), ubicado en la manzana 1095. Las edificaciones son predominantemente de tres niveles, conformado por pórticos de concreto armado en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 47.



Figura 47. Universidad nacional San Antonio Abad del Cusco.

- Institución Educativa Uchullo Grande Sagrado Corazón de Jesús, se observa la en la Figura 48, ubicada en la manzana 706. Esta edificación es de dos niveles de albañilería confinada en buen estado de conservación.



**Figura 48.** I.E. Ucchullo Grande Sagrado Corazón de Jesús.

- La comisaria de Ucchullo se muestra en la Figura 49. La edificación es de dos niveles de albañilería confinada, la cual está ubicada en la manzana 706. En esta misma manzana se encuentra una pequeña iglesia, como se muestra en la Figura 50.



**Figura 49.** Comisaria de Ucchullo.





**Figura 50.** Iglesia de Ucchullo.

- Jardín de Niños América, ubicada en la manzana 706 como se muestra en la Figura 51. Está conformado por edificaciones de adobe tarrajado de dos niveles.



**Figura 51.** Jardín de Niños América.

- Iglesia, ubicada en la manzana 985 la cual consiste en pórticos de concreto armado rigidizados por muros de albañilería de tres niveles, como se observa en la Figura 52.



Figura 52. Iglesia en manzana 985.

- Institución Educativa Virgen de Guadalupe, ubicada en la manzana 737. Esta edificación es de adobe con tarrajeo de un nivel, como se muestra en la Figura 53.



Figura 53. I.E. Virgen de Guadalupe.

- Institución Educativa Nuestra Señora de Gracia y la Parroquia Nuestra Señora de Gracia, ubicadas en la manzana 997, como se muestra en la Figura 54 y Figura 55. Estas edificaciones son de dos niveles conformadas por pórticos de concreto armado rigidizados por muros de albañilería.





Figura 54. I.E. Nuestra Señora de Gracia.



Figura 55. Parroquia Nuestra Señora de Gracia.

### Sector 03

- Institución Educativa Santa Mónica, ubicada en la manzana 866, la cual es una edificación de albañilería confinada de dos pisos, como se muestra en la Figura 56.



Figura 56. I.E. Santa Mónica.

- Iglesia, ubicada en la manzana 1082, consiste en una edificación de un nivel de albañilería confinada, como se muestra en la Figura 57.



Figura 57. Iglesia en la manzana 1082.

- I.E. Mariscal Gamarra, ubicada en la manzana 1080, conformado por pórticos de concreto armado rigidizados con muros de albañilería de dos niveles, como se muestra en la Figura 58.



**Figura 58.** I.E. Mariscal Gamarra.

- Institución Educativa 89 (Jardín), ubicada en la manzana 1097, esta edificación es de adobe de un nivel como se muestra en la Figura 59.



**Figura 59.** I.E. 89.

- I.E. Garcilazo de la Vega, ubicada en la manzana 1078, esta edificación está conformada por pórticos de concreto armado con muros de albañilería rigidizadores de tres niveles como se muestra en la Figura 60.



**Figura 60.** I.E. Garcilazo de la Vega.

- I.E. Alto Ucchullo Cusco, ubicada en la manzana 959, esta edificación está conformada por pórticos de concreto armado con muros de albañilería rigidizadores de dos niveles como se muestra en la Figura 61.



**Figura 61.** I.E. Alto Ucchullo Cusco.

- I.E. Republica de México, ubicada en la manzana 924, esta edificación está conformada por pórticos de concreto armado con muros de albañilería rigidizadores de dos niveles, como se muestra en la Figura 62.





**Figura 62.** I.E. Republica de México.

- Iglesia La Recoleta, ubicada en la manzana 913, esta edificación es de adobe de dos niveles, como se muestra en la Figura 63.



**Figura 63.** Iglesia La Recoleta.

- Jardín Los Pimpollitos, ubicado en la manzana 932, esta edificación es de adobe de dos niveles, como se muestra en la Figura 64.





**Figura 64.** Jardín Los Pimpollitos.

- I.E.P. Emilia Barcia Bonifatti, ubicada en la manzana 288, esta edificación es de adobe de dos niveles, como se muestra en la Figura 65.



**Figura 65.** I.E.P. Emilia Barcia Bonifatti.

- I.E.P. Santa María Reyna, ubicada en la manzana 288, esta edificación es de adobe de dos niveles, como se muestra en la Figura 66.



**Figura 66.** I.E.P. Santa María Reyna.

- Universidad Alas Peruanas, ubicada en la manzana 779, esta edificación está conformada por albañilería confinada de cinco niveles, como se muestra en la Figura 67.



**Figura 67.** Universidad Alas Peruanas.

- Mercado Rosaspata, ubicada en la manzana 1096. La edificación está conformada por pórticos de concreto armado con muros de albañilería rigidizadores de dos niveles, como se muestra en la Figura 68.



**Figura 68.** Mercado Rosaspata.

#### **Sector 04**

Dentro de las manzanas evaluadas para el muestreo de las edificaciones de este sector se identificó varias edificaciones esenciales e importantes que a continuación se muestran:

- Palacio de Justicia, esta edificación consta de 05 niveles conformada por pórticos de concreto armado y losas aligeradas con buen estado, como se muestra en la Figura 69. Esta edificación está ubicado en la manzana 420.



**Figura 69.** Palacio de Justicia.

- Municipalidad del Cusco, esta edificación consta de 02 niveles conformada por albañilería confinada y losas aligeradas, como se muestra en la Figura 70. Esta edificación está ubicado en la manzana 420.



**Figura 70.** Municipalidad del Cusco.

- Paraninfo de la Universidad Nacional San Antonio de Abad, esta edificación consta de 02 niveles conformada por mampostería y cobertura de madera y con un regular estado, como se muestra en la Figura 71. Esta edificación corresponde a la institución educativa San Agustín. Esta edificación está ubicado en la manzana 420.



**Figura 71.** Paraninfo de la Universidad Nacional San Antonio de Abad.

- Iglesia Compañía de Jesús, esta edificación consta de 01 nivel conformada por mampostería de piedra y de regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 72. Esta edificación está ubicado en la manzana 420 y está considerada como patrimonio cultural de la humanidad.





**Figura 72.** Iglesia Compañía de Jesús.

- Catedral del Cusco, esta edificación consta de 01 nivel conformada por mampostería de piedra y de regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 73. Esta edificación está ubicada en la manzana 591 y está considerada como patrimonio cultural de la humanidad.



**Figura 73.** Catedral del Cusco.

- I.E. Clorinda Mato de Turner, esta edificación consta de 03 niveles conformada por un sistema estructural porticado con separación de albañilería, con losas aligeradas y de buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 74. Esta edificación está ubicada en la manzana 430.



**Figura 74.** I.E. Clorinda Mato de Turner.

- I.E. Colegio Salesiano, esta edificación consta de 04 niveles conformada por un sistema estructural porticado, con losas aligeradas y de buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 75. Esta edificación está ubicado en la manzana 444.



**Figura 75.** I.E. Colegio Salesiano.

- I.E. N°50021 San Cristóbal, esta edificación consta de 02 niveles conformada por un sistema estructural de albañilería confinado, con losas aligeradas y de regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 76.



**Figura 76.** I.E. N°50021 San Cristóbal.

- Comisaría, esta edificación consta de 01 nivel conformada por un sistema estructural de albañilería confinado, con losa aligerada y de regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 77.



**Figura 77.** Comisaría.

- I.E. Colegio Real San Francisco de Borja, esta edificación consta de 02 niveles conformada por un sistema estructural de mampostería, con techo de madera y de regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 78.



**Figura 78.** I.E. Colegio Real San Francisco de Borja.

- I.E. Colegio La Salle, esta edificación consta de 04 niveles conformada por un sistema estructural porticado con apariencia de columnas cortas debido al estar rigidizados con muros de albañilería, con losa aligerada de regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 79.



**Figura 79.** I.E. Colegio La Salle.

- Centro Médico Municipal, esta edificación consta de 02 niveles conformada por un sistema estructural de albañilería, con losa aligerada de regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 80.





Figura 80. Centro Médico Municipal.

#### Sector 05

El Sector 05 está conformado por varias edificaciones esenciales, como centros educativos, Iglesias, sunat, grifo y comisaría.

- I.E. Colegio Nacional de Ciencias, esta edificación consta de 04 niveles conformada por un sistema estructural porticado, con losa aligerada y de regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 81. Esta edificación está ubicada en la manzana 546.



Figura 81. I.E. Colegio Nacional de Ciencias.

- Iglesia San Francisco, esta edificación consta de 01 nivel conformada por mampostería de piedra y de regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 82. Esta edificación está ubicada en la manzana 546 y está considerada como patrimonio cultural de la humanidad.



**Figura 82.** Iglesia San Francisco.

- Jefatura de Policías, esta edificación consta de 03 niveles conformada por albañilería y de regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 83. Esta edificación está ubicado en la manzana 576.



**Figura 83.** Jefatura de Policías.

- SUNAT, esta edificación consta de 02 niveles conformada por mampostería y de regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 84. Esta edificación está ubicado en la manzana 542.



**Figura 84.** Edificio de la SUNAT.

- I.E. Colegio Rosario, esta edificación consta de 02 niveles conformada por un sistema estructural porticado, con losa aligerado de regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 85. Esta edificación está ubicada en la manzana 39.



**Figura 85.** I.E. Colegio Rosario.

- I.E. Colegio Humberto Luna, esta edificación consta de 01 nivel conformada por un sistema estructural de mampostería, con techo de maderay de regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 86. Esta edificación está ubicada en la manzana 39.



Figura 86. I.E. Colegio Humberto Luna.

- Grifo, esta edificación consta de 02 niveles conformada por un sistema estructural de mampostería y para el propio grifo es de estructura de acero con cobertura ligera, de regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 87. Esta edificación está ubicado en la manzana 163.



Figura 87. Estación de Servicio.

### Sector 06

El Sector 06 está conformado por un centro educativo como se muestra a continuación.

- I.E. Colegio Simón Bolívar, esta edificación consta de 02 niveles conformada por un sistema estructural porticado con presencia de columna corta debido al estar rigidizados con muros de albañilería, con losa aligerado y de regular estado de conservación, así mismo se muestra el tanque elevado con presencia de humedad y con deficiencia de mantenimiento como se muestra en la Figura 88. Esta edificación está ubicado en la manzana 204.





Figura 88. I.E. Colegio Simón Bolívar y Tanque elevado.

### Sector 07

No se identificaron edificaciones esenciales en este sector.

### Sector 08

Se identificaron las siguientes edificaciones esenciales:

- Puesto de Salud Miraflores, Figura 89. Es una edificación de un nivel, en base a muros portantes de adobe y cobertura inclinada a dos aguas con tejas acalanadas. Regular estado de conservación.



Figura 89. Puesto de Salud Miraflores.

- Salón Comunal, Figura 90. Es una edificación de un nivel, en base a pórticos de concreto armado y divisiones de albañilería. Buen estado de conservación.



Figura 90. Salón Comunal.

#### Sector 09

Se identificaron las siguientes edificaciones esenciales:

- Jardín Particular San Gabriel de los Cielos, Figura 91. Es una edificación de dos niveles, en base a muros portantes de albañilería confinada y cobertura inclinada a dos aguas con tejas acalanadas. Buen estado de conservación.



Figura 91. Jardín Particular San Gabriel de los Cielos.

- Institución Educativa El Niño Divino Cusco, Figura 92. Es una edificación de dos niveles, en base a pórticos de concreto armado y divisiones de albañilería. Buen estado de conservación.



**Figura 92.** Institución Educativa El Niño Divino Cusco.

- Colegio Particular Divino Jesús, Figura 93. Es una edificación de un nivel, de muros portantes de adobe. Regular estado de conservación.



**Figura 93.** Colegio Particular Divino Jesús.



### 3. MAPAS DE RIESGO

#### 3.1. ESTUDIO DE RIESGO PARA UN ESCENARIO SÍSMICO

##### Definición de Riesgo Sísmico

Se define el riesgo sísmico como la pérdida material o humana, debido a la acción de un evento sísmico severo tomando en cuenta la magnitud de este y la vulnerabilidad de la edificación.

Para este propósito es necesario conocer el peligro sísmico del área de estudio y asimismo la vulnerabilidad de las edificaciones en el área.

El peligro sísmico, para este análisis se basa en las aceleraciones máximas por el tipo de suelo que han sido calculadas a partir de una microzonificación geotécnica sísmica de la zona, luego de haber caracterizado el comportamiento dinámico de los suelos en función de su sismicidad.

Por otro lado se puede identificar el tipo de sistema estructural y diagnosticar la respuesta sísmica de éste, producto de la aceleración máxima inducida por el sismo evaluada en el estudio de vulnerabilidad de las edificaciones. De esta manera puede estimarse el nivel de daño, ya que la respuesta sísmica de una edificación es dependiente de la caracterización dinámica del suelo.

Existen métodos de simulación del riesgo basados en la superposición de la estadística del daño sobre edificaciones durante los sismos, a través del levantamiento de información post evento, que al sobreponerse con las aceleraciones máximas producidas, generan curvas de aceleración versus nivel de daño esperado para un determinado sismo. Estas curvas reciben el nombre de Curvas de Fragilidad, ya que muestra lo frágil que un determinado material y/o sistema estructural puede ser frente a determinado nivel de aceleraciones inducidas sobre el sistema.

Asimismo existen métodos basados en la evaluación de la respuesta sísmica de los sistemas estructurales bajo cierto nivel de aceleración inducida y la estimación de su nivel de daño. Este tipo de metodología ha sido adoptada en el presente estudio.

Para la determinación del riesgo sísmico del distrito de Cusco, se ha utilizado el método de aproximación al valor de reparación de una vivienda, expresado como porcentaje del costo de la edificación. Conocida la respuesta sísmica de las edificaciones, utilizando la metodología presentada en [3] y [4], donde se estima el nivel de distorsión máxima, considerando el escenario sísmico propuesto en el estudio de peligro. Conocido el nivel de distorsión es posible estimar el nivel de daño por tipo de sistema estructural, para el lote representativo de la manzana en estudiada.

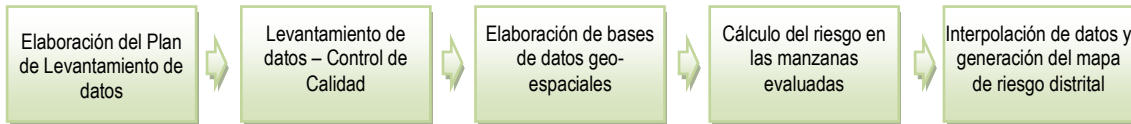
Un proceso de regresión de los diversos tipos de daño y la cuantificación del costo relacionan el valor de la reparación con la distorsión de la respuesta sísmica ( $\Delta\delta_j/h_j$ ) en cada lote. Este costo de reparación ( $Cr$ ) se expresa como el porcentaje del costo de la estructura, considerando  $\lambda$  y  $\epsilon$  parámetros de vulnerabilidad estructural, correspondientes al sistema estructural y al tipo de reparación involucrada para los materiales involucrados.

$$Cr = \left( \left( \frac{\Delta\delta_j}{h_j} \right) / \lambda \right)^\epsilon / 100$$



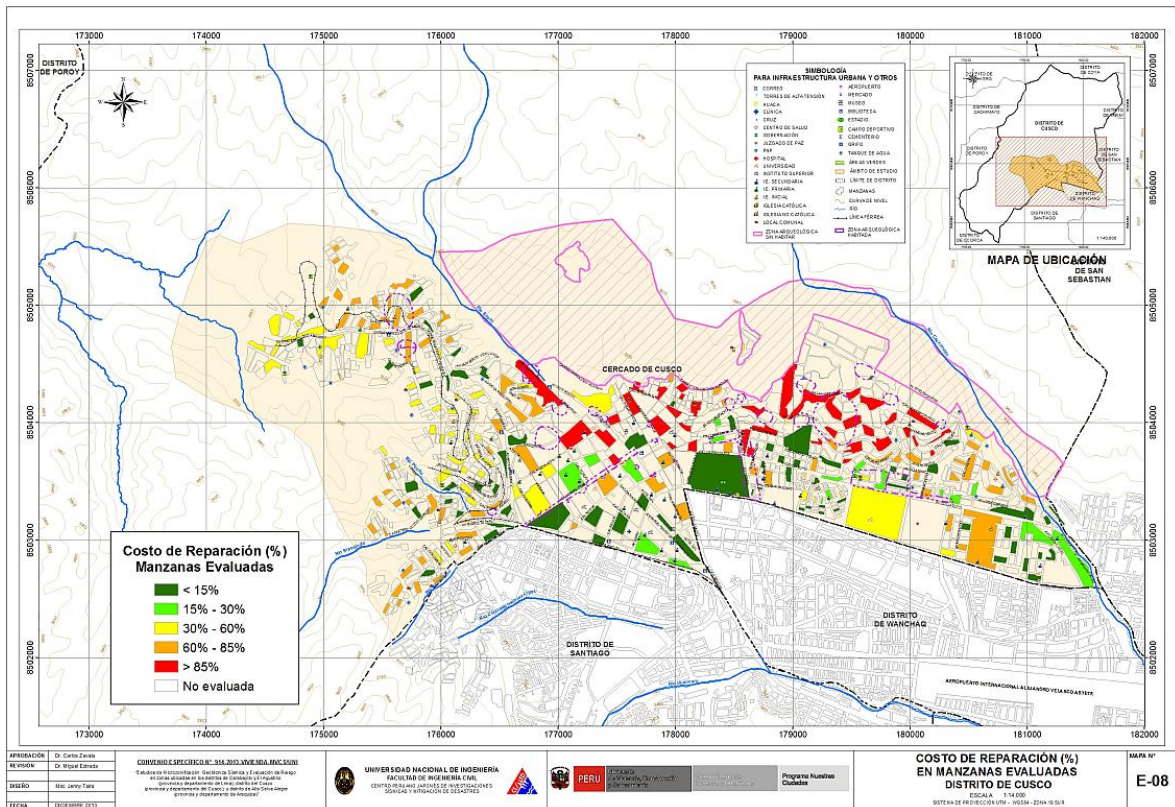
Para el diagnóstico del riesgo se consideró cada registro de la base de datos produciendo el diagnóstico de la distorsión y en base a esta se encontró el Mapa que representa el costo de reparación representativo para la manzana, considerando los resultados del lote representativo.

El desarrollo de este diagnóstico se realizó mediante el proceso que se presenta en la Figura 94.



**Figura 94.** Proceso de generación del mapa de riesgo.

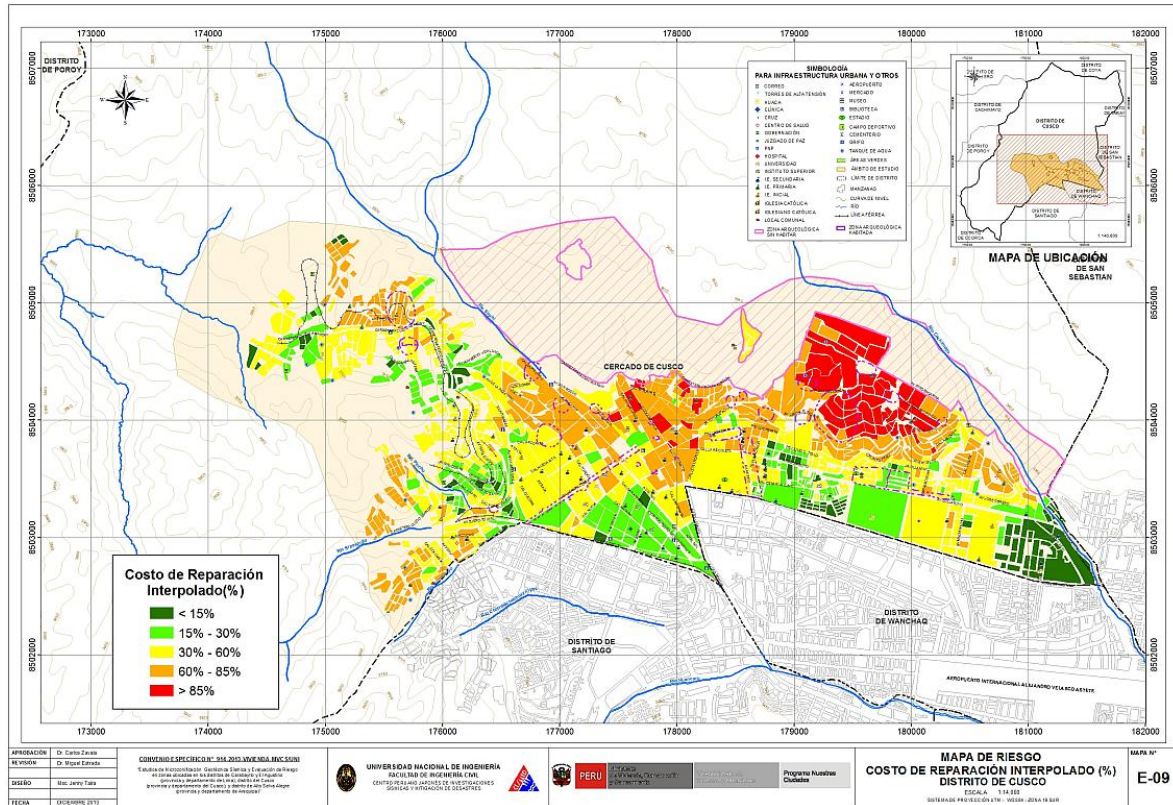
Basados en la información de campo se evaluaron 251 manzanas con los datos de sus lotes representativos, dando como resultado el mapa de costo de reparación mostrado en la Figura 95.



**Figura 95.** Resultado del cálculo del costo de reparación para las manzanas evaluadas.

Una vez calculado el costo de reparación para las manzanas evaluadas se genera, a través del método de interpolación IDW (Inverse Distance Weighted) un archivo de imagen (raster) donde el valor de cada pixel es el valor del costo de reparación para una edificación construida sobre ese terreno. La resolución espacial de este archivo es de 5 metros, es decir que cada pixel cubre un área de 25 metros cuadrados de terreno.

La Figura 96 muestra el resultado de la interpolación de los valores del costo de reparación sobre todo el distrito de Cusco.



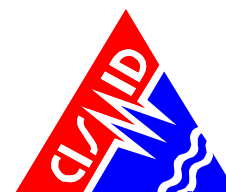
**Figura 96.** Imagen de interpolación del costo de reparación (método IDW)

Una vez realizada la interpolación, este archivo de imagen se convierte en un archivo de puntos equidistantes a 5 metros, donde el valor contenido en este punto es valor del costo de reparación. Finalmente para cada manzana se procede a promediar los valores de todos los puntos que caen dentro del polígono que representa a la manzana obteniendo finalmente el costo de reparación interpolado para todas las manzanas del distrito. La Tabla 2, presenta los resultados de la simulación de riesgo sísmico para las viviendas del distrito de Cusco.

**Tabla 2: Resultados del daño en el distrito de Cusco para un escenario de sismo severo**

Color	Rango	Nivel Daño	Nivel Daño	Número de Mzas.	%	%	Nivel de Daño
Verde	< 15%	Nivel I	1	45	24%	29%	Daño Leve o sin daño
Verde agua	15% - 30%	Nivel II	2	10	5%		
Amarillo	30% - 60%	Nivel III	3	40	21%	21%	Daño Moderado
Naranja	60% - 85%	Nivel IV	4	64	34%	34%	Daño Severo
Rojo	85%-100%	Nivel V	5	32	17%	17%	Colapso
				<b>191</b>	<b>100%</b>		

En el Anexo I, en el mapa No. E-08, que presenta el riesgo expresado como porcentaje del costo de la edificación para el distrito de Cusco bajo un escenario del sismo de Lima 1966. En el mapa se puede apreciar



que los sectores en verde tendrían un costo de reparación entre 0 ~ 15%. Aquellos sectores en verde agua poseen un costo de reparación entre 15 ~ 30% del valor de la edificación. Los sectores en amarillo poseerían porcentaje de reparación para sus viviendas entre 30 ~ 60%. Las zonas en color naranja, tendrían porcentaje de costo de reparación entre 60 ~ 85%, mientras que las zonas en rojo tendrían viviendas con costos de reparación entre 85% y 100%. Estos dos últimos grupos son diagnosticados como los grupos con indicadores de viviendas en riesgo de colapso que corresponden al 5% de las viviendas con daño severo y 46% con riesgo a colapso, para el escenario propuesto. Las aceleraciones asumidas para el diagnóstico son las presentadas en el informe del Microzonificación geotécnica.

Caso especial es el representado por las edificaciones esenciales que en caso de un evento sísmico severo deben de seguir funcionando luego del evento. Bajo esta premisa se tomaron aquellas edificaciones esenciales que formaron parte de la muestra, encontrándose el resumen de los resultados en la tabla siguientes.

**Tabla 3: Resultado de daño esperado en edificaciones esenciales**

Color	Rango	Nivel Daño	Nivel Daño	Número de Mzas.	%	%	Nivel de Daño
Verde	< 15%	Nivel I	1	0			
Verde agua	15% - 30%	Nivel II	2	3	38%	38%	Daño Leve o sin daño
Amarillo	30% - 60%	Nivel III	3	5	63%	63%	Daño Moderado
Naranja	60% - 85%	Nivel IV	4	0	0%	0%	Daño Severo
Rojo	85%-100%	Nivel V	5	0	0%	0%	Colapso
				<b>8</b>	<b>100%</b>		

Los resultados para las edificaciones esenciales son presentados en el mapa E-09A y el resumen de los resultados se pueden apreciar en la Tabla 3, que muestra que el 63% de las edificaciones esenciales de las manzanas evaluadas experimentarían un daño moderado, debido al nivel de demanda sísmica extrema sobre sus sistemas estructurales y los suelos donde se ubican.

### 3.2. MAPA DE SECTORES CRÍTICOS

#### PROPUESTA TÉCNICA DE REFORZAMIENTO DE EDIFICACIONES DE VIVIENDA POR TIPOLOGÍA

Con la finalidad de proponer la técnica de reforzamiento para las edificaciones en el distrito de Cusco, se estudió la composición de la muestra levantada en campo. Los resultados que se muestran en la Tabla 4 presentan que en el 92% de los casos las edificaciones de este distrito son de mampostería (albañilería) de ladrillo, seguido por un 6% de edificaciones de concreto y 1% de edificaciones de adobe. La representatividad de la muestra nos orienta a mostrar aquellas técnicas apropiadas para el reforzamiento de viviendas de mampostería y asimismo de edificaciones de concreto.

**Tabla 4: Composición por material de la muestra estudiada**

Material de las edificaciones	No. Manzanas	Porcentaje
Adobe	162	64.5%
Mampostería	70	27.9%
Concreto	18	7.2%
Madera	0	0.0%
Acero	1	0.4%
Otros	0	0.0%
<b>Total</b>	<b>251</b>	<b>100.0%</b>





Por otro lado luego del diagnóstico del riesgo sísmico en los sectores estudiados y considerando los resultados de los lotes representativos de la muestra, se encontró que dependiendo del nivel de daño diagnosticado por material, en la Tabla 5 se muestra el agrupamiento de los Niveles III, IV y V, que serían aquellos que demanden intervención para su refuerzo. Así por ejemplo de las 251 manzanas estudiadas, para edificaciones de adobe 158 manzanas necesitarían algún tipo de intervención.

Tabla 5: Composición de la muestra por nivel de daño esperado.

Adobe	Nivel I	4	
	Nivel II	0	
	Nivel III	42	
	Nivel IV	78	
	Nivel V	38	158
Mampostería	Nivel I	56	
	Nivel II	10	
	Nivel III	4	
	Nivel IV	0	
	Nivel V	0	0
Concreto	Nivel I	6	
	Nivel II	7	
	Nivel III	5	
	Nivel IV	0	
	Nivel V	0	0
Acero	Nivel I	1	
	Nivel III	0	
	Nivel V	0	0
Madera	Nivel I	0	
	Nivel II	0	
	Nivel III	0	
	Nivel IV	0	
	Nivel V	0	0

Considerando las manzanas que poseen nivel de daño IV y V, que son aquellas que tendrían que ser intervenidas de forma inmediata, se ha cuantificado que 116 manzanas requieren ser intervenidas para evitar un daño severo o el colapso. La ubicación de estas edificaciones es presentada en la Figura 97, donde se muestran aquellas viviendas cuyo costo de reparación es superior al 65% de su valor. Las zonas en color rojo muestran las manzanas con una mayor probabilidad de colapso, mientras que las zonas en color rosa claro muestran las manzanas con una alta probabilidad de daño severo. La intervención de estas viviendas debe realizarse luego de una evaluación al detalle de la edificación por parte de un especialista en diseño de estructuras antisísmicas.



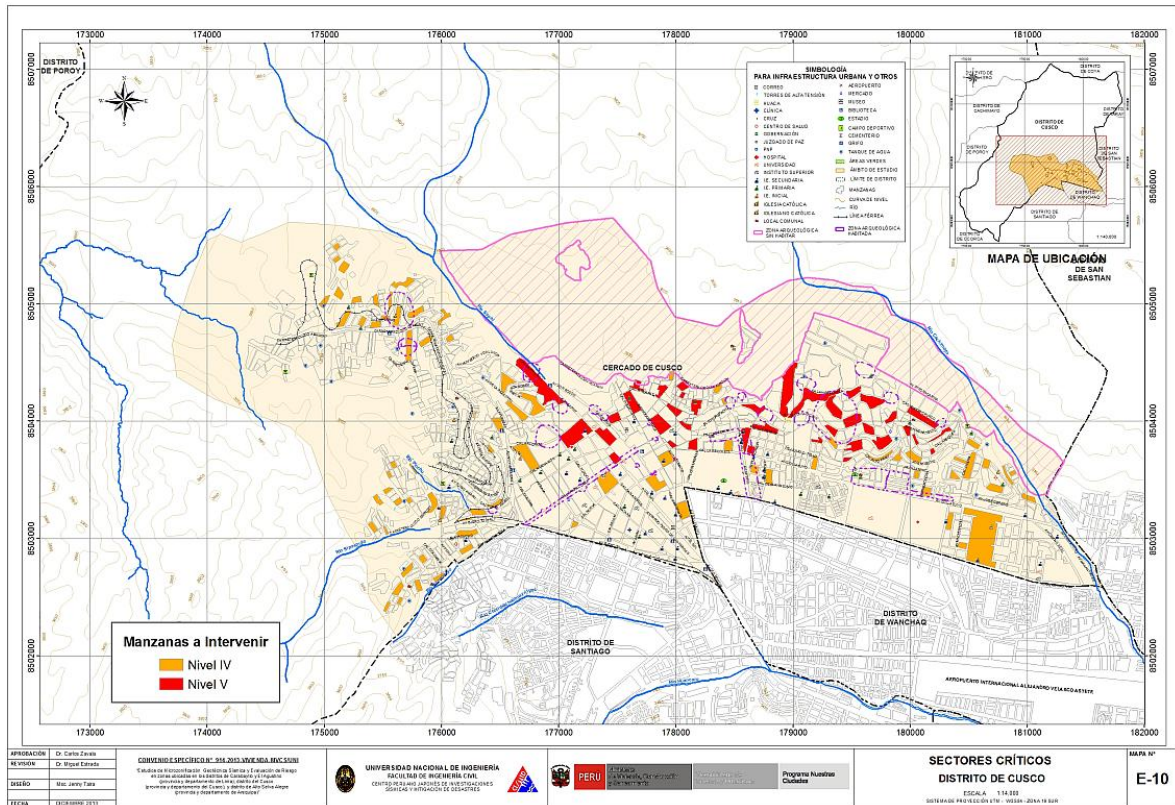


Figura 97: Ubicación de manzanas a intervenir.

### Propuestas representativas para el reforzamiento de edificaciones de adobe

En el congreso Sismo-Adobe el Dr. Carlos Zavala conjuntamente con la Ing. Lucía Igarashi presentaron un trabajo llamado “Propuesta de Reforzamiento para Muros de Adobe” en él se presenta una propuesta de confinamiento para muros sin refuerzo de adobe, presentándose dos alternativas económicamente factibles para la realidad Peruana: un refuerzo en usando estera más pie derechos de madera y otra alternativa usando costalillos de polietileno más pie derechos. Cuatro muros de adobe sin refuerzo de 2.45 m de largo por 2.30 m de altura con espesor de 0.20 m fueron construidos para ser ensayados en primera instancia sin refuerzo.

### Alternativa de refuerzo usando una estera

En áreas rurales y pueblos jóvenes de las ciudades del Perú, los pobladores utilizan el proceso de autoconstrucción de sus viviendas utilizando secciones de parantes de madera y cubriéndolos con una “Estera” también llamada manta de Carrizo o manta de Totorá, la que es muy popular como divisorio no estructural. La Estera tiene gran similitud con los marcos Japoneses de tatami, pero a la vez ha sido utilizado desde tiempos pre-Incas para la construcción de botes, cuartos, y muebles en el norte del Perú. La estera es bastante flexible y puede ser utilizada en conjunto con el adobe al fijarse con alambre de acero.

La idea de esta alternativa es el cubrir las esquinas de los muros de adobe con esterás, creando un confinamiento para el muro de adobe y dotándolo de una rigidez adicional, con la ayuda de unos elementos verticales de madera. Esto finalmente será recubierto con un mortero cemento-suelo que será fijado a la superficie como se muestra en la Figura 98.

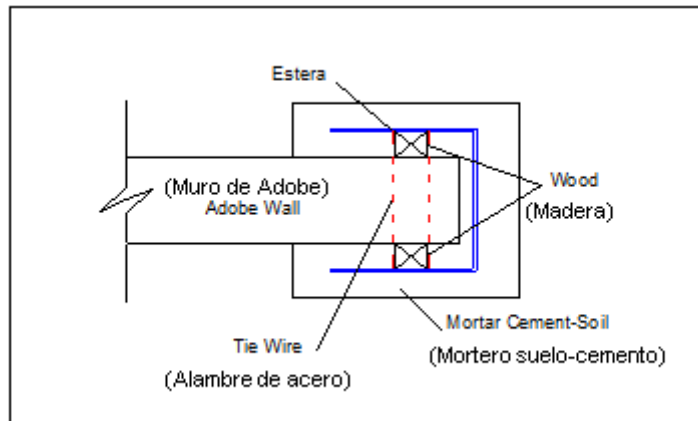


Figura 98: Alternativa de refuerzo con estera.

#### Alternativa de refuerzo usando un costalillo de polietileno

Otra alternativa de reforzamiento es el uso de un costalillo de polietileno, comúnmente utilizado con envase para arroz y granos. Este costalillo puede rodear la esquina y fijarse a elementos verticales de madera que proporcionarían en conjunto una rigidez adicional al muro. Finalmente sobre este refuerzo se fija un mortero suelo-cemento que será pulido sobre la superficie. El detalle de esta alternativa es presentada en la Figura 99.

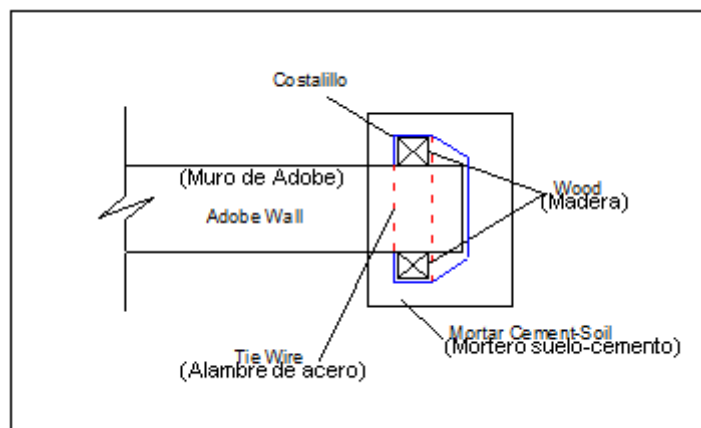
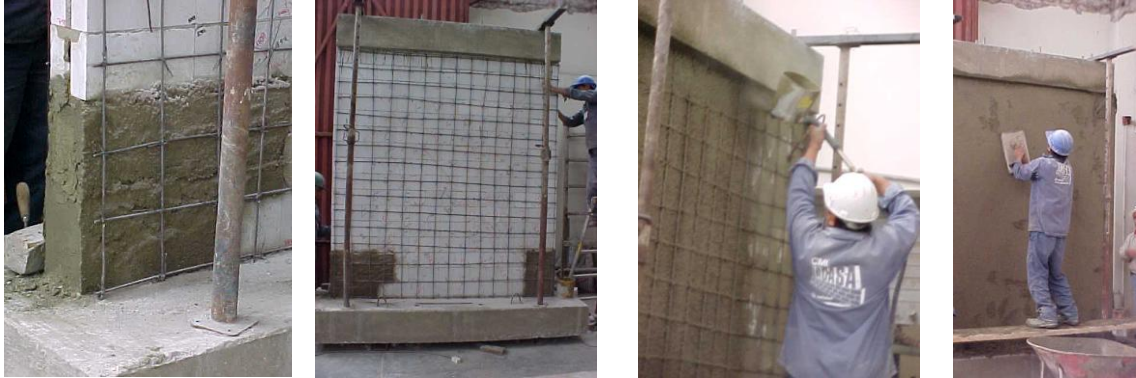


Figura 99. Alternativa de refuerzo con costalillo.

#### Reforzamiento de muros de albañilería existentes con deficiencia de tamaño o sección

De acuerdo a la norma de diseño de albañilería NTE-070-RNE, la densidad de muros de una edificación, se define como la relación entre el área de muros estructurales de elementos área del área techada del nivel en estudio. Esta relación se encuentra entre el 4% al 5% del área techada en estudio, dependiendo de la zona sísmica, la aceleración esperada y el tipo de suelo. Cuando este criterio no se cumple, existirá deficiencia en el tamaño o sección del muro. En este caso, ya que el muro existe, lo comúnmente adoptado para el refuerzo de este tipo de muro es el envolver al muro con una malla de fierro de  $\frac{1}{4}$ " de diámetro espaciados cada 10 cm en ambas direcciones. Este refuerzo puede hacerse con acero dúctil o con mallas electrosoldada.

En la se Figura 100 se muestra la secuencia del refuerzo de un muro de albañilería, considerando el incremento de la sección con la colocación de malla y recubrimiento.



**Figura 100:** Detalle de refuerzo sobre las caras del muro.

Otra alternativa para el refuerzo es el uso de bandas en diagonal de malla o fierro dúctil, de manera que se refuercen aquellas zonas que estarán sometidas a las tracciones. Esta técnica ha sido experimentada en CISMID con éxito, y representa una alternativa económica ya que se ahorra material y acero.



(a)

(b)

**Figura 101:** Reforzamiento con bandas de refuerzo.

### Reforzamiento de Columnas de Concreto

Cuando existen deficiencias en las secciones de concreto es necesario realizar el incremento de la sección considerando la extracción del recubrimiento y el uso de resinas epoxicas para pegar el concreto existente con el concreto nuevo, formando un suplemento de la columna con deficiencia estructural. En la Figura 102 se muestran dos casos de columna existente donde se requiere incrementar la sección. En el primer caso el incremento de la sección se realiza sobre una dirección mientras que en el segundo, considerando que es una columna esquinera, se incrementa la sección en ambas direcciones. Para esto es necesario retirar el recubrimiento de la columna existente para aplicar una resina epóxica, luego se coloca el acero de refuerzo que debe anclarse al refuerzo de la cimentación el cual describiremos en el siguiente ítem. Colocado el refuerzo, se coloca el encofrado y se coloca el nuevo concreto

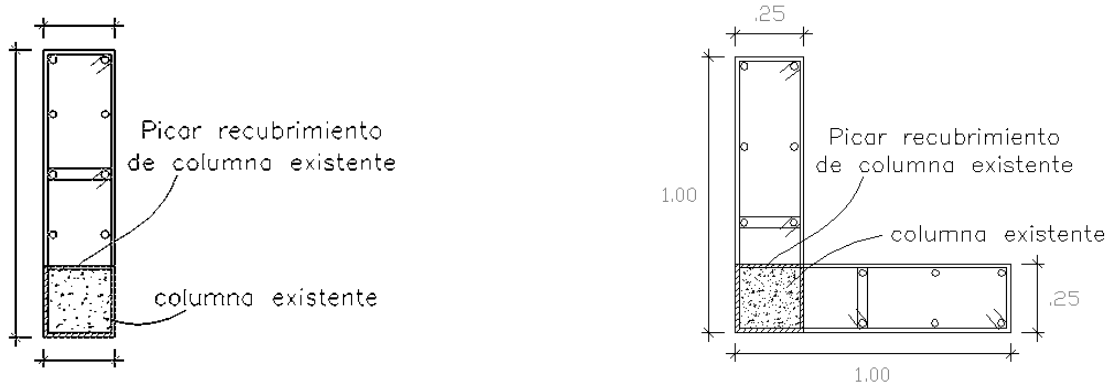


Figura 102: Detalle de reforzamiento para columna existente y esquinera.

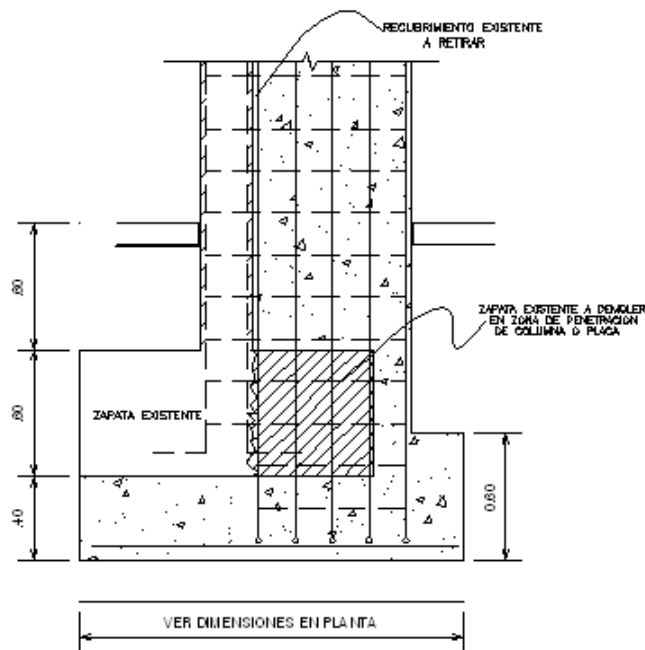


Figura 103: Detalle de reforzamiento de zapata para columna.

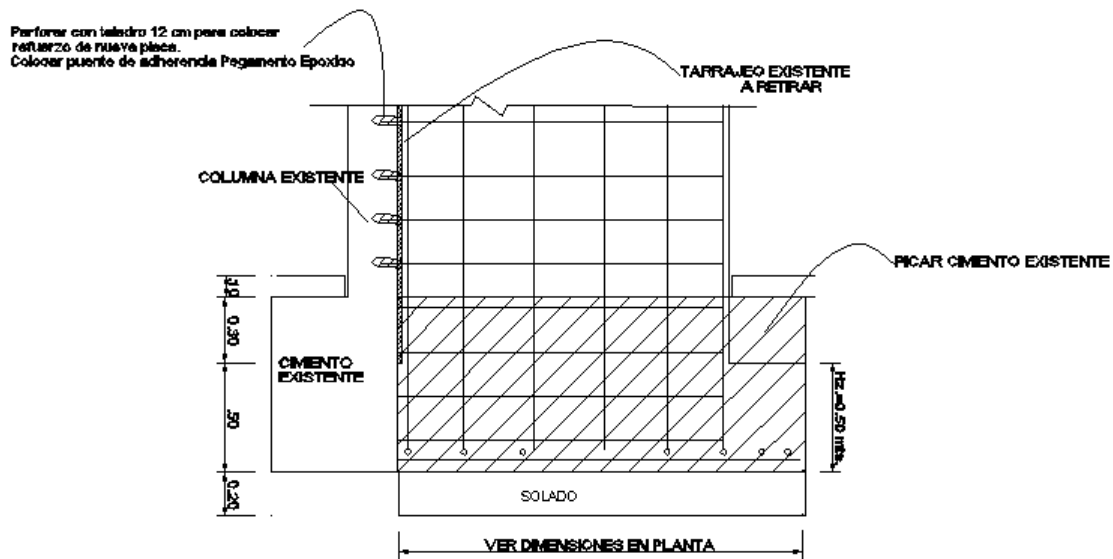
### Reforzamiento de Zapata Existente de Columna

Cuando se refuerza un muro o una columna, es necesario incrementar la sección de su cimentación ya que la inclusión del elemento generará momentos mayores sobre la base del elemento estructural. Así la cimentación existente no será lo suficiente eficiente para tomar las nuevas cargas, por esta razón la sección de cimiento debe incrementarse. La Figura 103 muestra un detalle típico para el reforzamiento de una columna. Aquí como se observa, parte del cimiento existente debe ser demolido, con la finalidad de dar paso al incremento de la sección de la cimentación. Al igual que en el caso de la columna será necesario el uso de resinas epoxicas para pegar el concreto existente con el nuevo concreto, al igual que la fijación de la nueva armadura del elemento a reforzar.



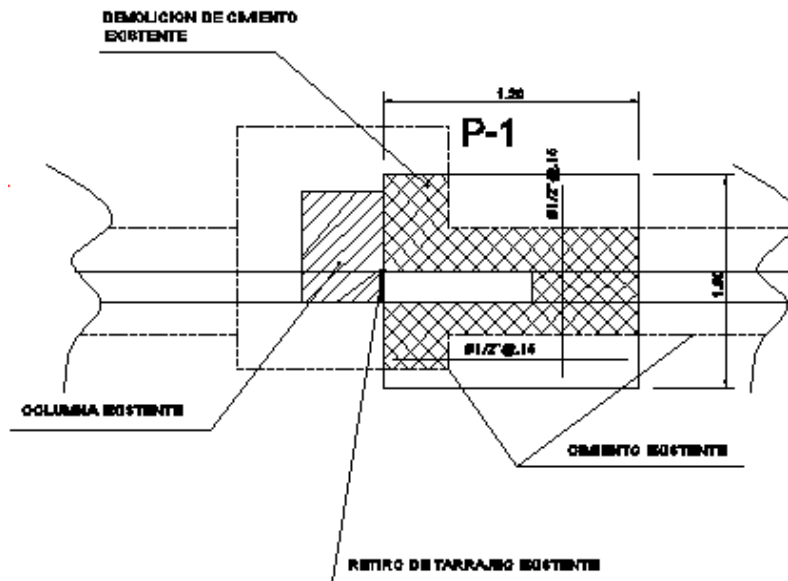
### Inclusión de Muros de Concreto a partir de Columnas Existentes

En este caso es necesario considerar un buen amarre entre el elemento placa y la columna existente. Por este motivo deben usarse barras de transferencia a través de cajuelas que deben calarse sobre la columna existente, y asimismo realizar un incremento del tamaño de la cimentación de los elementos. La Figura 104 presenta un detalle donde se puede observar las cajuelas para colocar el puente de adherencia con barra de transferencia que sirva de anclaje entre la nueva armadura y la columna existente. Asimismo aquí se debe de intervenir al cimiento de manera que pueda incluirse la cimentación de la nueva placa. La Figura 105 muestra un detalle en planta del cimiento incluido para la placa, de manera que el cimiento existente y el cimiento nuevo puedan integrarse.



### DETALLE TÍPICO DE CIMENTACION DE PLACA

Figura 104: Detalle de refuerzo de columna con placa y su cimentación.



DETALLE DE CIMENTACIÓN DE PLACA DE REFUERZO D-1

Figura 105: Detalle de la cimentación de la placa visto en planta.

#### Conclusiones y recomendaciones para el reforzamiento de edificaciones

- En los resultados del estudio de vulnerabilidad sísmica, se encontró que casi el 65% de las edificaciones evaluadas del distrito de Cusco son de adobe, seguido por un 28% de edificaciones de albañilería. La representatividad de la muestra nos orienta a mostrar aquellas técnicas apropiadas para el reforzamiento de viviendas de adobe y albañilería.
- Los resultados del estudio de riesgo sísmico de los sectores estudiados y considerando los lotes representativos de la muestra, identifican que los niveles de daño I y II (con costo de reparación inferior al 30%) demandan inversiones menores en la reparación. Los Niveles de daño III, IV y V, que serían aquellos que demanden intervención para su reforzamiento. Así por ejemplo de las 251 manzanas estudiadas para edificaciones, 153 manzanas necesitarían algún tipo de intervención.
- Considerando las manzanas que poseen nivel de daño IV y V, que son aquellas que tendrían que ser intervenidas de forma inmediata, se ha cuantificado que 129 manzanas requieren ser intervenidas para evitar un daño severo o el colapso. Estas edificaciones son aquellas cuyo costo de reparación es superior al 65% de su valor. La intervención de estas viviendas debe realizarse luego de una evaluación al detalle de la edificación por parte de un especialista en diseño de estructuras antisísmicas.
- Se presentan técnicas para el reforzamiento de muros, columnas y cimentaciones, típicas de un reforzamiento en viviendas para diferentes tipos de material. Siguiendo estas recomendaciones y con la asesoría de un ingeniero estructural se lograra disminuir el riesgo en estas edificaciones.



#### **4. ESTUDIO PRELIMINAR DE RIESGO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA**

##### **4.1. Acerca de la Vulnerabilidad de sistemas de agua**

Para la determinación de la vulnerabilidad de los sistemas agua y alcantarillado es necesario realizar una inspección a las instalaciones de la infraestructura involucrada en el desarrollo del sistema de agua y alcantarillado. Para esto es necesario contar con planos de las redes, tanto de agua como del alcantarillado, infraestructura de bocatomas, canales de conducción, planta de tratamiento, depósitos de agua tratada, base de datos en el tiempo con estadística de roturas por tipo de tubería originadas por fallas en el sistema y por sismo, entre otros.

En el presente estudio, se hace un diagnóstico preliminar de la vulnerabilidad del sistema de agua y alcantarillado. Se desarrolla un diagnóstico para el sistema de distribución de agua basado en las curvas de fragilidad desarrolladas por investigadores Japoneses. Ya que las tuberías de agua trabajan a presión durante eventos severos son muy susceptibles a tener daño en suelos poco competentes, y su análisis de daño se basa en el número de roturas que se producirían en la red. Por otro lado, las tuberías de desagüe, por trabajar como si fueran canales, el análisis de daño se basa en la separación de sus juntas. En este caso otra variable muy importante es el tiempo de uso del tubo de desagüe, ya que por conducir aguas servidas con altos contenidos de químicos, sufren de un deterioro mayor al de las líneas de agua.

En este estudio se presenta el diagnóstico de las líneas de conducción de agua solamente, ya que la base de datos de SEDACUSCO no dispone estadística de roturas en el tiempo para la línea de conducción de las alcantarillas.

La información entregada por SEDACUSCO, es un archivo en formato CAD donde se presenta los ejes de las líneas de conducción de agua y alcantarillado, el tipo de material y su diámetro.

##### **4.2. Sistema de Agua**

Para el estudio de los sistemas de agua es necesario conocer los tipos de tubería, material, tipo de junta, rango de diámetros y tener una base de datos de las roturas originadas por sismos severos en el tiempo. La estadística de estas roturas, debe ser registrada por la entidad competente, en este caso SEDACUSCO a fin de poder realizar un diagnóstico lo más cercano posible a la realidad.

El daño que afecta a las tuberías puede incluir la propagación de ondas, la deformación permanente del suelo y la ruptura de fallas. Las tasas de falla de las tuberías en áreas donde no se produce licuefacción pero sí se producen fallas del terreno (MM de VIII o menos, lugares donde se generen pequeños deslizamientos, grietas y terreno húmedo) equivalen aproximadamente a ocho veces las fallas debido a la propagación de ondas. Las tasas de falla de las tuberías en áreas donde sí ocurre la licuefacción son de aproximadamente 12 veces las tasas de falla por propagación de ondas.

Para la evaluación de los daños se necesita conocer las características físicas de las tuberías del sistema de distribución de agua. A pedido de CISMID se solicitó a SEDACUSCO el inventario de la red de distribución de agua. SEDACUSCO envió, en formato CAD, la red de agua de la Ciudad de Cusco, desde donde se extrajeron las tuberías correspondientes.

La información en formato CAD se exportó a una plataforma SIG donde se integró una base de datos que contiene la información mostrada en Tabla 6 y el mapa se presenta en el Anexo I en el mapa No. E-11.



Tabla 6. Descripción de la base de datos del sistema de distribución de agua para el distrito de Cusco

Nombre de Campo	Descripción
Tipo	Material de tubería
Diametro	Diámetro de tubería en milímetros
Longitud	Longitud de la tubería en metros
Tipo_Suelo	Zonificación del suelo
Velocidad	Velocidad máxima en el suelo
Rot_km_Yam	Número de roturas por kilómetro de tubería según Yamazaki (2009)
Rot_km_Pro	Número de roturas por kilómetro de tubería según Isoyama (2000)

La estimación de la tasa de daño de tuberías de distribución de agua (el número de daños o incidentes por kilómetro de longitud de una tubería) será estimada en este estudio utilizando el método propuesto en la Universidad de Chiba Japón por los profesores Yoshihisa Maruyama y Fumio Yamazaki. De acuerdo a esta metodología la fórmula para la estimación de la tasa de daño fue propuesta por Isoyama el año 2000, luego del sismo de Kobe.

$$R_m(v) = C_p C_d C_g C_l R(v) \dots\dots (1)$$

Donde  $R_m$  es la tasa de daño por kilómetro de tubería,  $C_p$ ,  $C_d$ ,  $C_g$ , y  $C_l$  son coeficientes de corrección para el material del tubo, diámetro, condición geológica, y ocurrencia de liquefacción, respectivamente, siendo  $v$  la velocidad máxima en el sector (PGV). El valor de  $R(v)$  se estima para una tasa de daño en tuberías de hierro fundido(CIP) con rango de diámetros entre 100–150 mm. en base a una regresión de valores de la base de datos de los tubos dañados por sismo en el sistema:

$$R(v) = c(v - A)^b \dots\dots\dots(2)$$

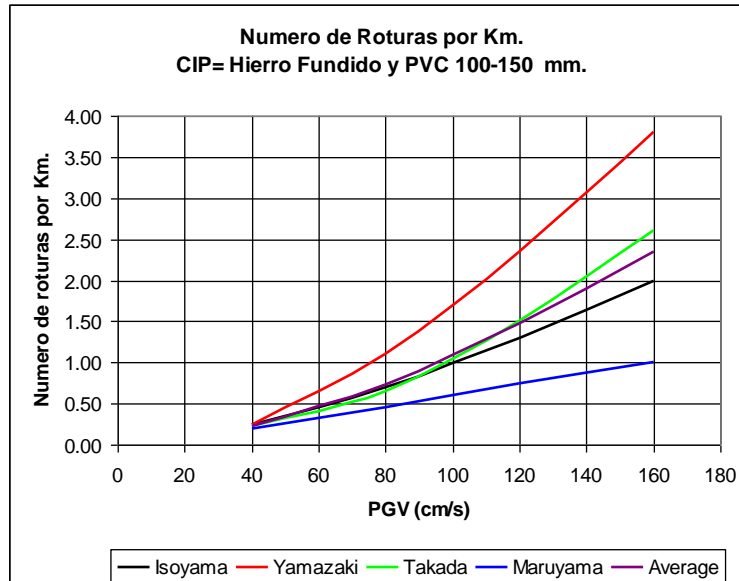
Donde  $b$ ,  $c$ , y  $A$  son los coeficientes de regresión. Considerando la base de datos del sismo de Kobe de 1995, Isoyama obtuvo el siguiente resultado para  $R(v)$ :

$$R(v) = 3.11 \times 10^{-3} (v - 15)^{1.30} \dots\dots(3)$$

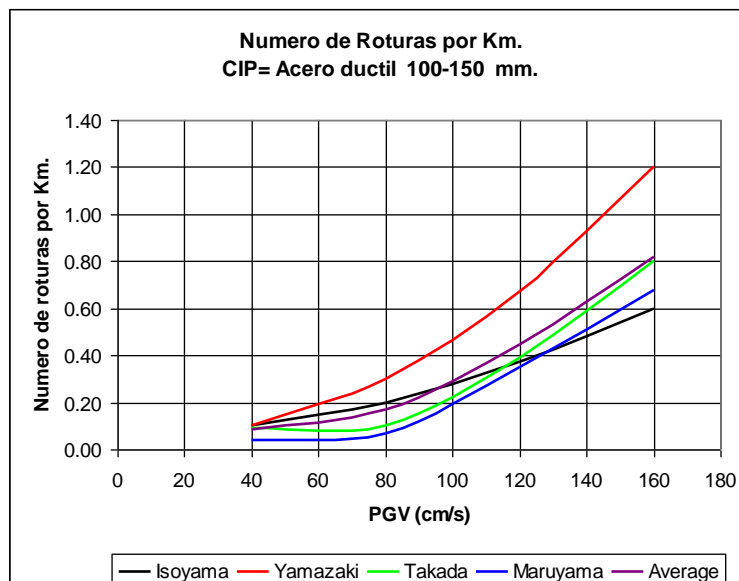
Yamazaki y Maruyama asumieron que el valor de  $A$  se encuentra entre 0 y 30 cm/seg. y experimentaron análisis de regresión con cambios de  $A$  en intervalos de 5 cm/seg. Según los autores consideran que el valor de  $A$  debe ser 15 cm/seg, pues con este valor la correlación entre PGV y la tasa de daño atenuada produce un valor máximo. Así, la constante  $A$  produce el mínimo PGV que causa daños en un sistema de distribución de agua. Los resultados presentados por Isoyama indican que los sistemas de distribución fallarían con PGV mayores a 15 cm/seg. Diversos autores proponen factores de  $b$ ,  $c$  y  $A$  que originan diferencia mínima en el diagnóstico. Por ejemplo en el caso de la ciudad de Tokio los valores particulares de los factores producen la siguiente fórmula:

$$R(v) = 2.24 \times 10^{-3} (v - 20)^{1.51} \quad (4)$$





**Figura 106:** Roturas por Km. en tubos CIP y PVC.



**Figura 107:** Roturas por Km. En tubos de acero dúctil.

La Figura 106 muestra las relaciones presentadas por diversos autores para determinar el número de roturas por kilómetro de tubería de hierro fundido y PVC en función de la velocidad máxima del suelo (PGV) alcanzada durante el sismo de diseño en la zona donde se encuentran. Utilizando los datos de estos autores es posible elaborar una curva promedio, la cual se indica con la leyenda "Average", en el gráfico. Para llevar a cabo el cálculo del número de roturas en las tuberías, se ha considerado la curva de Isoyama, ya que esta curva se encuentra cercana a la curva promedio, adicionalmente se ha considerado la curva de valores máximos (Yamazaki), que se presenta en la Figura 108.

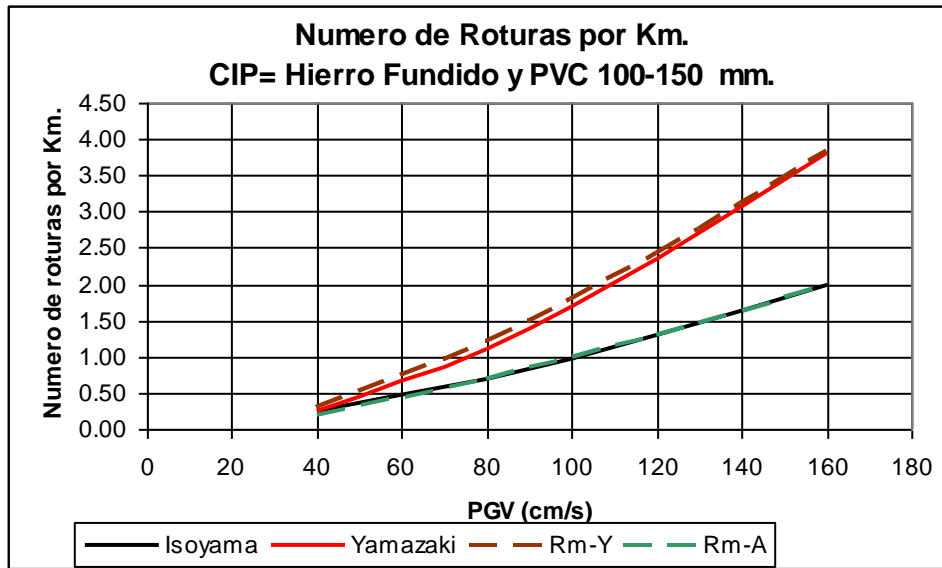


Figura 108: Curvas extremas de tasa de daño en CIP y PVC.

En el presente estudio se ha utilizado una regresión de los valores de la curva de Isoyama que aproxima el número de roturas por Km. Con la siguiente expresión:

$$R(v) = 3.0 \times 10^{-3} (v - 15)^{1.305} \quad (5)$$

La Figura 107 presenta las relaciones que desarrolladas por diversos autores para la estimación de la tasa de daño por kilómetro de tubería el caso de tuberías de hierro dúctil en forma similar, a los materiales arriba expuestos. Utilizando estos datos se construye una curva promedio ("Average") la que es presentada en el gráfico.

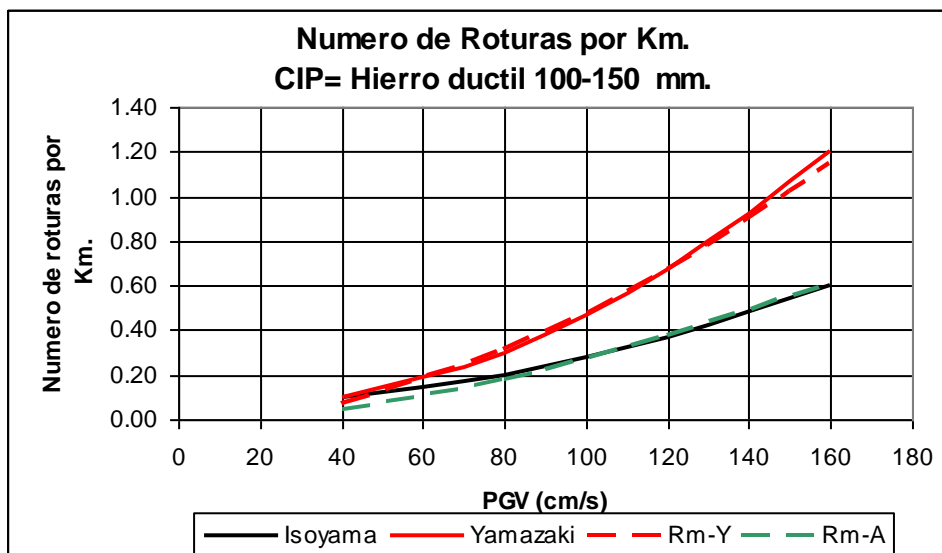


Figura 109: Curvas extremas de tasa de daño en tubería de hierro dúctil.



Usando un procedimiento similar al presentado anteriormente, en la Figura 109 se muestra las curvas de máximo valor y valor más cercano al promedio en el caso de tubería de acero dúctil. Considerando la curva de Isoyama y la curva de Yamazaki, es posible expresar mediante un análisis de regresión de los datos, el número de roturas de tuberías de acero dúctil por Kilómetro que serían afectadas por un sismo severo mediante la siguiente expresión que presenta la regresión en datos de Isoyama:

$$R(v) = 2.0 \times 10^{-4} (v - 9)^{1.6} \quad (6)$$

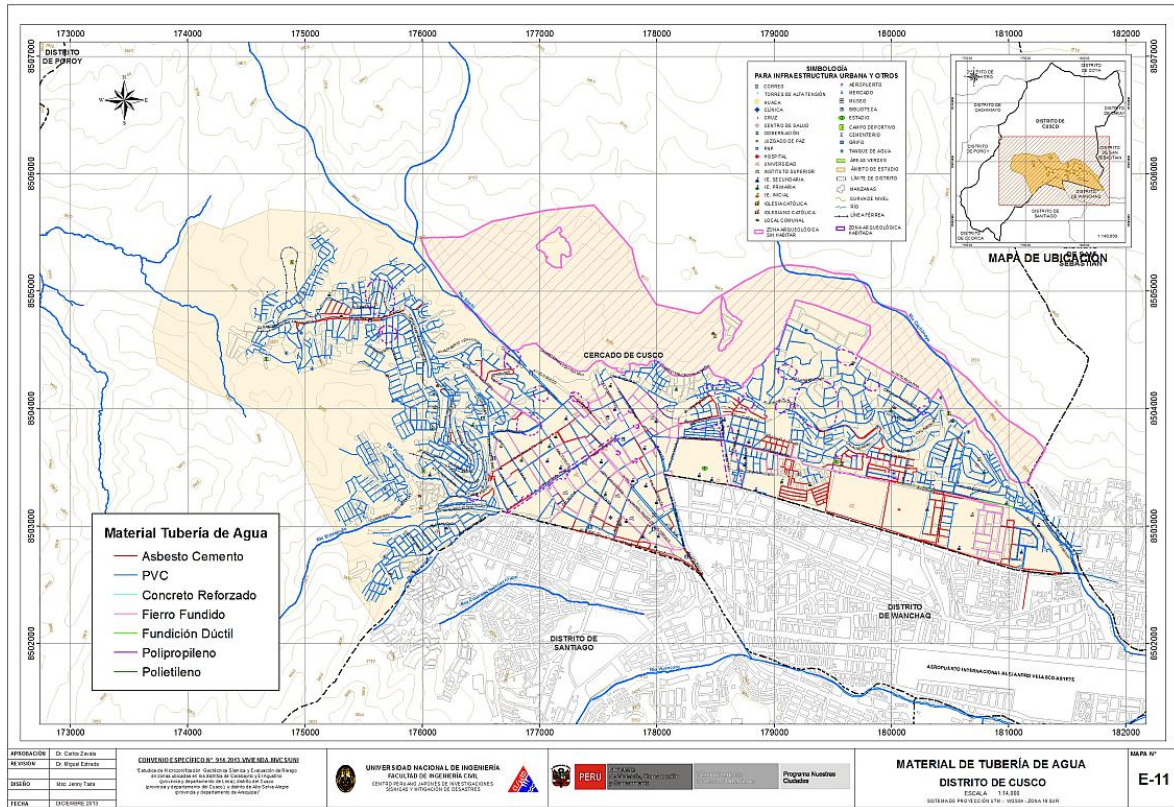
Considerando las funciones presentadas en las ecuaciones (5) y (6) se determina el número de roturas en las tuberías, según el tipo de material y diámetro. Estas funciones son implementadas dentro del sistema GIS para la presentación de la vulnerabilidad de las líneas de conducción.

### 4.3. Mapa de Tipo de Tubería de Agua

La Tabla 7 presenta los tipos de tubería por material que existen en el distrito de Cusco. Esta información se ha preparado en base de la información proporcionada por SEDACUSCO. La información presenta los tipos de tubería con su longitud total expresada en metros. Si observamos la última columna se presenta el porcentaje de tuberías por material, aquí puede leerse que las tuberías de Asbesto Cemento y PVC son las más usadas en la línea de conducción. La distribución de las redes de agua por tipo de material se presenta en la Figura 110.

Tabla 7: Tipo de tuberías de agua en el distrito de Cusco.

Material	Tipos de Diámetros	Diámetro (mm)	Diámetro+Frecuente	Long. Total (m)	Long.Total (Km)	%
Asbesto-Cemento	8	50-450	100	29458.00	29.46	15.1%
PVC	14	12- 160	63	141071.00	141.07	72.5%
Concreto Reforzado	1	300	300	40.38	0.04	0.0%
Fierro Fundido	5	75 - 400	100	23056.00	23.06	11.8%
Polipropileno	1	63	63	237.40	0.24	0.1%
Poliétileno de alta densidad	1	110	110	132.85	0.13	0.1%
Hierro Ductil	1	200	200	646.40	0.65	0.3%
			<b>Longitud Total =</b>	<b>194642.03</b>	<b>194.64</b>	



**Figura 110:** Distribución de las redes de agua.

Considerando los criterios de evaluación de Yamazaki e Isoyama fue evaluado el número de roturas por kilómetro de tubería para cada tipo de material. Basado en esta aproximación es posible conocer el número de roturas total sobre la línea de conducción, para ambos criterios. Puede leerse que bajo el criterio de Yamazaki se obtiene un mayor número de roturas que al usar el criterio de Isoyama. En el Mapa No. E-12 (ver reproducción en la Figura 111) y el Mapa No. E-13 (ver reproducción en la Figura 112) se presentan los daños probables según la metodología de Yamazaki e Isoyama, respectivamente y en la Tabla 8 se presenta un resumen de los resultados.

**Tabla 8:** Respuesta de las tuberías frente a un evento sísmico severo en distrito de Ventanilla

Tubería	Longitud (Km)	Yamazaki	Yamazaki	Isoyama	Isoyama
		PromRotuxKm	NumRoturasTotales	PromRotuxKm	NumRoturasTotales
Asbesto-Cemento	29.46	0.643	18.9	0.618	18.2
PVC	141.07	0.563	79.4	0.558	78.7
Concreto Reforzado	0.04	0.210	0.0	0.160	0.0
Fierro Fundido	23.06	0.273	6.3	0.191	4.4
Polipropileno	0.24	0.370	0.1	0.240	0.1
Polietileno de alta densidad	0.13	0.210	0.0	0.160	0.0
Hierro Ductil	0.65	0.160	0.1	0.130	0.1





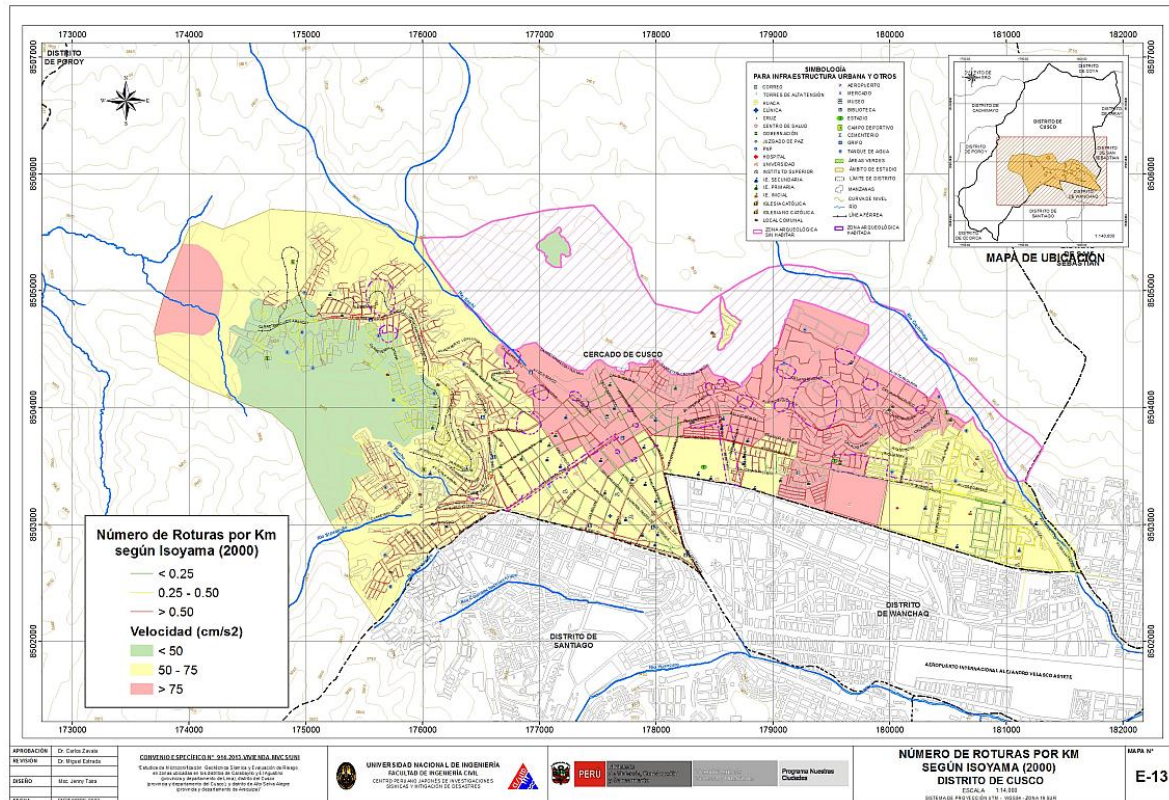


Figura 112: Roturas por criterio de Isoyama (2000) en el Distrito de Cusco.

#### 4.4. Conclusiones y recomendaciones del diagnóstico preliminar del sistema de agua y alcantarillado

- Para la evaluación de la vulnerabilidad de las líneas de conducción de agua del distrito del Cusco, fue necesario preparar la información proporcionada por SEDACUSCO, para establecer el tipo de tubería por material y diámetro más utilizado en las líneas de conducción con su longitud total expresada en kilómetros. Se encontró que el 72.5% de las tuberías son de PVC, siendo las más usadas en la línea de conducción, seguidas por las tuberías de Asbesto Cemento que representan un 15.1%. Asimismo las líneas de conducción de Fierro Fundido representan el 11.8% de la red en el distrito.

- Considerando la metodología planteada por investigadores japoneses, se tomaron las curvas de Yamazaki e Isoyama para diagnosticar el número de roturas en la línea de conducción de agua del distrito del Cusco en función del diámetro y tipo de material. Se encontró que en el caso de un evento severo 18 locaciones con tuberías de asbesto cemento sufrirían roturas, mientras que existirían 79 locaciones en tuberías de PVC con roturas y 5 locaciones con roturas en tubos de fierro fundido. Debe notarse que las condiciones del suelo con altas velocidades producen movimientos sumamente severos en el escenario de sismo severo propuesto.

- En cuanto a zonas de mayor concentración de daño por roturas de los sistemas de agua y alcantarillado del distrito del Cusco, podemos afirmar que los sectores ubicados en las zonas de laderas y la más antigua del distrito experimentarían una concentración de daño con roturas promedio de 0.5 por kilómetro.

- Es recomendable que SEDACUSCO implemente un plan de contingencia ante la probabilidad de la ocurrencia de un sismo severo, como la implementación de tanques de almacenamiento de agua y/o cambio de las tuberías, sobre todo aquellas de asbesto cemento, que son las más frágiles.



## 5. Referencias

- [1] Approximate Lateral Drift Demands in Multistory Buildings with Non uniform Stiffness - Eduardo Miranda and Carlos J. Reyes Journal of Structural Engineering ASCE / July 2002.
- [2] Approximate lateral deformation demands in multistory buildings - Miranda, E. (1999). Journal of Structural Engineering ASCE. /1999.
- [3] Estimación rápida de la Respuesta Sísmica en base a sistemas de un grado de libertad para el calculo de vulnerabilidad sísmica – Carlos Zavala y Ricardo Proaño – XIV Congreso de Ingeniería Civil Iquitos Perú / Octubre 2003.
- [4] Estimación Rápida de Desplazamientos Laterales Producidos por Sismo -Hugo Scaletti Farina – FIC – UNI /2003.
- [5] Simulador Respuesta Sísmica y Nivel de Daño –SRSND – Carlos Zavala – CISMID/FIC/UNI/ Noviembre 2007.
- [6] Efectos del Terremoto de Managua en los efectos de agua y alcantarillado - Ing. E. Pallawlecial IX Seminario Centroamericano de Ingenieros Sanitarios Panamá /Septiembre 1973.
- [7] Reducción del Daño Sísmico – Guía para empresas de agua – Organización Panamericana de la Salud (OPS) y American Water Works Association (AWWA)/ 2003.
- [8] Damage Estimation of Water Distribution Pipes following recent earthquakes in Japan – Y. Maruyama and F. Yamazaki – Joint Conference Proceedings 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering (7CUUE) /March 2010.
- [9] Post Quake Microzoning Study On Pisco and Tambo De Mora Due To August 15th 2007 Pisco Quake – C. Zavala, Z. Aguilar, and M. Estrada– Joint Conference Proceedings 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering (7CUUE) /March 2010.
- [10] Propuesta de Reforzamiento para Muros de Adobe – C. Zavala, L. Igarashi– Sismoadobe, Lima, PUCP, 2005.