

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE  
HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y  
CIVIL  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN  
PROGRAMA: INGENIERÍA CIVIL  
Área: Materiales, Edificaciones y Sismicidad



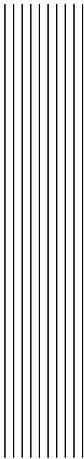
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

’MODELO SISTÉMICO EN REDES DE TRANSPORTE  
PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE Y  
MEJORA DE LA RESILIENCIA DE LA CIUDAD DE  
AYACUCHO’

Responsable: MSc.Ing. Cristian Castro Pérez

Ayacucho-Perú

2018



# Índice general

Portada	I
Índice General	I
Índice general	I
Generalidades	1
1. GENERALIDADES	1
1.1. TÍTULO. . . . .	1
1.2. RESPONSABLE. . . . .	1
1.3. RESUMEN. . . . .	1
1.4. TIPO DE INVESTIGACIÓN. . . . .	2
1.5. CRONOGRAMA. . . . .	2
1.5.1. Primer Trimestre.- Del 01 de enero-31 de marzo . . . . .	2
1.5.2. Segundo Trimestre.- Del 01 de abril-30 de junio . . . . .	2
1.5.3. Tercer Trimestre.- Del 01 de julio-30 de setiembre . . . . .	2
1.5.4. Cuarto Trimestre.- Del 01 de octubre-31 de diciembre . . . . .	3
1.5.5. Cronograma de actividades. . . . .	3
1.6. RECURSOS DISPONIBLES. . . . .	5
1.6.1. Recursos humanos. . . . .	5
1.6.2. Recursos físicos. . . . .	5
1.6.3. Recursos documentales. . . . .	5
1.6.4. Recursos financieros. . . . .	6
1.7. PRESUPUESTO. . . . .	6
1.8. FINANCIAMIENTO. . . . .	6

2. PLAN DE INVESTIGACIÓN.	7
2.1. PROBLEMA. . . . .	7
2.1.1. Descripción de la realidad problemática. . . . .	7
2.1.2. Problema principal. . . . .	11
2.1.3. Problemas secundarios. . . . .	11
2.2. OBJETIVOS. . . . .	12
2.2.1. Objetivos Generales. . . . .	12
2.2.2. Objetivos Específicos. . . . .	12
2.3. MARCO TEÓRICO. . . . .	13
2.3.1. Antecedentes de la investigación. . . . .	13
2.3.2. Marco conceptual. . . . .	15
2.3.2.1. Daño en líneas vitales. . . . .	15
2.3.3. Sismicidad en Ayacucho. . . . .	18
2.3.3.1. Peligro sísmico. . . . .	20
2.3.3.2. Amenaza sísmica. . . . .	21
2.3.3.3. Vulnerabilidad. . . . .	22
2.3.3.3.1. Curvas de fragilidad y análisis de vulnerabilidad. . . . .	22
2.3.3.3.2. Sistemas de movilidad. . . . .	24
2.3.3.4. Estado de daños. . . . .	24
2.3.3.4.1. Sistemas de movilidad. . . . .	24
2.3.3.5. Escenarios de daños. . . . .	25
2.4. HIPÓTESIS. . . . .	30
2.4.1. Hipotesis principal. . . . .	30
2.4.2. Hipotesis secundarias. . . . .	30
2.5. VARIABLES E INDICADORES. . . . .	30
2.5.1. Variables. . . . .	30
2.5.2. Indicadores. . . . .	31
2.6. DISEÑO METODOLÓGICO . . . . .	32
2.6.1. Instrumentos. . . . .	32
2.6.2. Procedimientos. . . . .	33
2.6.3. Inventario. . . . .	33
2.6.4. Análisis de datos. . . . .	34
2.6.5. Técnicas. . . . .	35
2.6.5.1. Técnicas de recolección. . . . .	35
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

A. ANEXOS

40



# 1 GENERALIDADES

## 1.1. TÍTULO.

MODELO SISTÉMICO EN REDES DE TRANSPORTE PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE Y MEJORA DE LA RESILIENCIA DE LA CIUDAD DE AYACUCHO.

## 1.2. RESPONSABLE.

Docente Responsable del Proyecto: MSc. Ing. Cristian Castro Pérez.

## 1.3. RESUMEN.

El objetivo del presente trabajo es desarrollar un modelo sistémico para la estimación del riesgo sísmico en redes urbanas de sistemas de transporte, que contribuya a la mejora de la resiliencia de la ciudad de Ayacucho, bajo el paradigma del desarrollo sostenible, diseñadas para que funcionen como un sistema de redes interconectadas que faciliten gestionar el funcionamiento y el desarrollo de la ciudad de forma más sólida, eficiente y sostenible. Este modelo se basará en el estudio de redes complejas y en la configuración geométrica de las ciudades, teniendo en cuenta una modelación continua del dominio del espacio, en función a los cambios en sus características a medida que aumentan los tamaños de la población y se transforman las ciudades. De esta manera, se tratarán los aspectos como la expansión y densificación de las redes complejas de escala libre de transporte (vialidades) y la disposición de los nodos concentradores ('hubs'); se integrarán con el espacio y territorio a través de la movilidad. Como parte de la metodología, se abordará desde un punto de vista de simulación predictiva basado en algoritmos de inteligencia artificial para tomar en cuenta el hecho que la mayoría de ciudades no se han

#### 1.4. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

desarrollado bajo un enfoque de planificación, y han crecido acompañadas de desarrollos subnormales. Así, se aporta en la elaboración y programación de un modelo sistémico de las redes de transporte, que considera las características propias tendientes a la mejora de la resiliencia de la ciudad de Ayacucho e incorpore las dinámicas de las ciudades, para coadyuvar a la sostenibilidad.

#### 1.4. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

Aplicada o tecnológica; por cuanto se utiliza los conocimientos en la práctica misma, como son las redes complejas asociadas al sistema de transporte en una ciudad, que corresponderá al territorio de análisis, para aplicarlos en la determinación de la amenaza, vulnerabilidad, exposición, resiliencia y riesgo.

#### 1.5. CRONOGRAMA.

##### 1.5.1. Primer Trimestre.- Del 01 de enero-31 de marzo

En una primera fase se procedería a la recopilación de la información imprescindible para la evaluación, información documental y obtenida de las inspecciones preliminares oportunas, haciendo un abordaje del estado del arte sobre los conceptos de territorio, redes de transporte, peligros sísmico, entre otros. En esta etapa se hará el establecimiento del plan de necesidades y las medidas para una mejor integración del uso de suelo y el transporte.

##### 1.5.2. Segundo Trimestre.- Del 01 de abril-30 de junio

En una segunda fase, donde se actualiza toda la información disponible de líneas vitales en áreas urbanas, la influencia del peligro sísmico en la vulnerabilidad, la planificación del uso del suelo y redes de transporte para el desarrollo sostenible. Se hace una revisión de la literatura respecto al desarrollo y aplicación de procedimientos avanzados de vulnerabilidad y riesgo sísmico. Durante este periodo se presenta el tema desde el punto de vista de las aplicaciones, incluyéndose las referencias apropiadas para entender los criterios y la metodología a emplearse del método de estimación de la vulnerabilidad de las redes de transporte.

##### 1.5.3. Tercer Trimestre.- Del 01 de julio-30 de setiembre

En una tercera fase donde, se vuelve a actualizar la información al respecto, esta vez, acudiendo a base de datos y SIG referente a las líneas vitales en la ciudad, donde al menos debemos obtener la dinámica entre territorio, redes de transporte y peligros

## 1.5. CRONOGRAMA.

sísmicos En particular, aquí se identificará los diferentes tipos de aplicaciones de los modelos estimacion de vulnerabilidad y riesgo sísmico; así como discurrir estrategias para apoyar la realizacion de intervenciones que hagan más sostenible a la ciudad.

### 1.5.4. Cuarto Trimestre.- Del 01 de octubre-31 de diciembre

Presentar el estudio de casos, los resultados y discusion correspondiente, aportando una metodología de integracion, estimando los resultados de vulnerabilidad y riesgo sísmico para las infraestructuras analizadas, en funcion del nivel de afine que exija el tipo de actuacion prevista, es decir: (1) La utilizacion del valor característico, admisible para fases de proyecto, método determinista; (2) La utilizacion de un método pormenorizado de evaluacion de la influencia del riesgo sísmico en líneas vitales en el desarrollo del espacio, método probabilista. Elaboracion final del proyecto, considerando los resultados obtenidos sobre la aplicacion.

### 1.5.5. Cronograma de actividades.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	TIEMPO DE EJECUCION (2011)											
		1ER. TRIMES.			2DO. TRIMES.			3ER. TRIMES.			4TO. TRIMES.		
01	Actividades previas. Aprobación del proyecto.	■											
02	Recolección y análisis de datos		■										
03	Interpretación y evaluación (Análisis teórico)			■									
04	Formulación de modelos matemáticos. Modelamiento integral del problema.				■								
05	Elaboración de los algoritmos de decisión					■							
06	Solución de los modelos de IO planteados. Análisis del sistema						■						
07	Optimización en ingeniería del sistema de los modelos formulados							■					
08	Aplicación al sistema. Comparaciones.								■				
07	Diseño del sistema con el algoritmo. Solución final									■			
08	Discusión de resultados. Informe Final Conclusiones y recomendaciones										■		
09	Redacción preliminar											■	
10	Redacción final												■
11	Impresión												■

Figura 1.1: Cuadro de desarrollo de actividades.

Actividades	Tiempo de duracion (meses)												
	Mes 1-2	Mes 3-5	Mes 6-10	Mes 11-12									
<b>Reconocimiento del Sistema</b>	X	X											
Presentación del personal relacionadas con la investigacion.	X	X											
Fijacion de la fecha asesoria y coordinaci3n	X	X											
Analizar la realidad problemática.	X	X											
Revisi3n de antecedentes del problema.	X	X	X										
Recoleccion de informacion del sistema de líneas vitales				X	X								
<b>Análisis de la Informacion</b>													
Análisis de metodología y últimos alcances en el tema.					X	X	X	X					
<b>Elaboraci3n y Presentacion del Plan de Proyecto de tesis</b>													
Administracion de recursos.								X					
Determinacion de las fases de las tareas calendarizacion.								X					
Disposicion funcional preliminar								X					
Requisitos de alto nivel.								X					
<b>Definicion del Conocimiento</b>													
Identificacion y seleccion de peligros (amenazas más relevantes)								X					
Adquisicion, análisis de datos para vulnerabilidad de líneas vitales.								X					
<b>Diseño del Conocimiento</b>													
Definicion.								X					
Diseño detallado. Estrategias de adquisicion.								X					
<b>Codificacion y Verificacion</b>													
Codificacion.													
Pruebas.									X	X	X	X	
Listado y Origen.									X	X	X	X	
Documento de descripcion de sistema.									X	X	X	X	
<b>Verificacion del Conocimiento</b>									X	X	X	X	
Pruebas formales.													
Análisis de pruebas.										X			
<b>Evaluacion del Sistema</b>													
Evaluaci3n de resultados.										X			
Recomendaciones.										X	X	X	
Informe final o formal.										X	X	X	

Cuadro 1.1: Cronograma de actividades

1.5. CRONOGRAMA.



## 1.6. RECURSOS DISPONIBLES.

### 1.6.1. Recursos humanos.

1. Responsable:

- MSc. Ing. Cristian Castro Perez

2. Participantes:

- Un alumno de Ingenierías Civil que pretenda realizar una tesis lindante sobre el tema.

3. Entidades:

- Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga (UNSCH)
- Instituto Geofísico del Perú (IGP)
- Centro de Investigacion Sísmica y Mitigacion de Desastres (CISMID)
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)
- Gobierno Regional de Ayacucho (GRA)
- Municipalidad Provincial de Huamanga (MPH)
- Colegio de Ingenieros del Perú, Consejo Departamental de Ayacucho (CIP-CDA)

### 1.6.2. Recursos físicos.

1. Recurso de Equipos: computadoras, impresoras, cámaras digitales, GPS, equipos de topografía y mobiliario
2. Oficinas: se cuenta con ambientes necesarios para realizar los trabajos de gabinete y campo durante el desarrollo de los estudios.
3. Materiales de oficina: el investigador financiará todos los materiales de impresion, dibujo y otros que demanden el desarrollo de los alcances del servicio.

### 1.6.3. Recursos documentales.

1. Revistas (índice de impacto relativo, posición en clasificaciones, presencia en determinadas bases de datos)
2. Artículos (número de citas recibidas y calidad de la revista en la que se publica)
3. Libros (número de citas y reseñas recibidas, difusión y calidad de la editorial)

## 1.7. PRESUPUESTO.

### 1.6.4. Recursos financieros.

Cada país presenta algunas Instituciones Privadas y/o Públicas, las cuales se dedican a establecer convenios que permitan promover los trabajos de Investigación. En nuestro caso el Financiamiento del trabajo de Investigacion estará a cargo de la Oficina de Investigacion de la Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga. En general será el responsable quien proporcionará todos los recursos necesarios para el correcto desarrollo de la investigacion.

## 1.7. PRESUPUESTO.

### 1. Recursos Humanos:

- Ayudante de investigacion .....: S/. 3000.00
- Viáticos y viajes nacionales .....: S/. 2500.00

### 2. Materiales:

- Materiales de escritorio, insumos .....: S/. 1000.00
- Adquisicion de libros y manuales .....: S/. 1250.00
- Suscripcion a revistas, papers (Journal):. S/. 750.00
- Adquisicion de datos (IGP) .....: S/. 2250.00
- Estudios básicos (MDT) .....: S/. 1750.00
- Estudios especializados (GIS) .....: S/. 2000.00
- Desarrollo de modelo .....: S/. 1750.00
- Desarrollo de software .....: S/. 2500.00
- Recoleccion de datos .....: S/. 3000.00
- Difusion del método de análisis .....: S/. 1250.00
- Publicaciones, material impreso .....: S/. 750.00

Total del presupuesto requerido: veinticinco mil 00/100 (25,000.00) Nuevos soles.

## 1.8. FINANCIAMIENTO.

Cada país presenta algunas instituciones privadas y/o públicas, las cuales se dedican a establecer convenios que permitan promover los trabajos de investigación. En nuestro caso el financiamiento del trabajo de investigacion, de manera parcial, estará a cargo de la Oficina de Investigacion de la Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga; de acuerdo a la ayuda econpmica establecida para los investigadores; estando el resto del presupuesto requerido a cargo del repnsable de la investigacion.



## 2 PLAN DE INVESTIGACIÓN.

### 2.1. PROBLEMA.

#### 2.1.1. Descripción de la realidad problemática.

Según el portal ONU Hábitat, las ciudades resilientes son aquellas que están preparadas para el cambio y cuentan con medidas adecuadas para recuperarse de alguna crisis. La resiliencia es un concepto que, aplicado a las ciudades, consiste en que éstas tengan la capacidad para prepararse, resistir y recuperarse frente a una crisis, derivada de desastres naturales, y los problemas que pueden presentar ciertos sistemas, como el de agua potable y transporte (Fundación Rockefeller, 2014).

El programa de ciudades resilientes de UN-Habitat (CRPP por sus siglas en inglés) define las ciudades resilientes como aquellas que tienen la capacidad de recuperarse rápido de los impactos que sufre el sistema. Esta definición se basa en la concepción de la urbe como un sistema de sistemas, un ente complejo que, a similitud del cuerpo humano, requiere el buen funcionamiento de los distintos órganos para gozar de buena salud.

La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR), en colaboración con una serie de organizaciones sociales, ha desarrollado una serie de "indicadores urbanos locales" para que las ciudades puedan evaluar su resiliencia. La elaboración de estos indicadores se ha basado en el marco de los "diez aspectos esenciales para lograr ciudades resilientes", actualizado con el fin de adaptarlo del Marco de Acción de Hyogo (2005-2015) al Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres (2015-2030), y de los Objetivos de desarrollo del Milenio a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

## 2.1. PROBLEMA.

Referente a las redes de transporte, para hacer que las ciudades puedan aprender de experiencias críticas y prevenir que se repitan, se tiene como factores:

1. La conexión con el comercio, el transporte y entre barrios que ofrecen las ciudades caminables, es un beneficio que impacta directamente en el medio ambiente y en la economía de un lugar. Si una ciudad cuenta con calles bien conectadas, paseos peatonales y vías bien mantenidos, además de una red de transporte público eficiente, los ciudadanos no deberían tener la necesidad de usar los autos.(Fundación Rockefeller, 2014).
2. Para que una ciudad cuente con redes de comunicación eficientes, es necesario que los sistemas estén conectados y que en caso que uno o varios de estos fallen, lo ideal no solo es que la comunicación entre algunos de ellos se mantenga, sino que siga siendo confiable.(Fundación Rockefeller, 2014).
3. Los corredores y las vías segregadas de BRT, buses, metro, tranvías, ciclovías son los tipos de pistas que no permiten el ingreso de vehículos privados con el fin de que el transporte público sea más rápido. (Fundación Rockefeller, 2014).

Las ciudades y las zonas urbanas están compuestas por densos y complejos sistemas de servicios interconectados; y como tal, hacen frente a un creciente número de problemas que contribuyen al riesgo de desastres. Se pueden aplicar estrategias y políticas para atender cada uno de estos problemas, como parte de una visión más general para hacer que las ciudades de todo tamaño y perfil sean más resilientes y más habitables. Entre los principales factores del riesgo en el entorno urbano están:

- El crecimiento de las poblaciones urbanas y su creciente densidad de la Ciudad de Ayacucho, que ejerce presión en los suelos y servicios, y origina el aumento de asentamientos humanos periurbanos, a lo largo de laderas inestables y en zonas propensas al riesgo.
- La concentración de recursos y capacidades a nivel nacional, con falta de recursos fiscales, humanos y limitadas capacidades en el gobierno local, incluyendo mandatos poco definidos para la reducción del riesgo de desastres y la respuesta.
- La débil gobernanza local y la pobre participación de los socios locales en la planificación y la gestión urbana.
- La inadecuada gestión de los recursos hídricos, de los sistemas de alcantarillado y de los residuos sólidos, que son la causa de emergencias en materia de salud pública, inundaciones y deslizamientos.

## 2.1. PROBLEMA.

- El declive de los ecosistemas debido a las actividades humanas como la construcción de carreteras, la contaminación, la recuperación de humedales y la extracción insostenible de recursos que ponen en peligro la capacidad de brindar servicios básicos como la regulación y la protección en caso de inundaciones.
- Las infraestructuras debilitadas y los estándares de construcción inseguros que pueden provocar el desplome de estructuras.
- Los servicios de emergencia descoordinados, con la consiguiente disminución de la capacidad de respuesta rápida y del estado de preparación.
- Los efectos negativos del cambio climático que probablemente aumenten o disminuyan las temperaturas extremas y la precipitación, dependiendo de las condiciones de la región, con repercusiones en la frecuencia, la intensidad y la ubicación de las inundaciones y de otros desastres relacionados con el clima.

A nivel mundial el registro del número de catástrofes de origen natural registradas que afectan negativamente a la población humana está aumentando. Cada contexto local y urbano es afectado de distinta manera, dependiendo de las amenazas que prevalecen en cada ubicación, así como de la exposición y las vulnerabilidades. (Naciones Unidas, 2012).

Para entender que los desastres "no son naturales" es importante considerar los elementos del riesgo. El riesgo es una función de la amenaza (ej. un ciclón, un terremoto, una inundación, o un incendio), la exposición de la población y sus bienes a la amenaza, y de la situación de vulnerabilidad a la que se expone la población y sus activos. Estos factores no son estáticos y se pueden mejorar, dependiendo de la capacidad institucional e individual de hacer frente y/o de actuar para reducir el riesgo. Los modelos sociales y ambientales de desarrollo pueden aumentar la exposición y la vulnerabilidad, por lo tanto pueden agravar el riesgo. (Naciones Unidas, 2012).

$$[\text{Riesgo}_{\text{de}} \text{desastre}] = [\text{Amenaza}] \times [\text{Vulnerabilidad}] \times [\text{Exposición}] / [\text{Resiliencia}] \quad (2.1.1)$$

Desde del punto de vista económico, es importante destacar que por cada dólar invertido en la preparación para desastres se calcula que se ahorran entre cinco y diez dólares en pérdidas económicas (Eric Schwartz, The Boston Globe, 23 de marzo de 2006). Si además, tenemos en consideración que soluciones sencillas y baratas pueden ser altamente efectivas y repercuten en la calidad de vida de los ciudadanos, se entiende que cada vez sean más las ciudades que opten por implementar soluciones que mejoren la resiliencia como un aspecto prioritario en su planteamiento de ciudad.

## 2.1. PROBLEMA.

Una alteracion en las redes de transporte urbano, por más pequeña que sea, puede llevar a que los territorios del área de influencia, sufran determinados daños que reduzcan, o imposibiliten, un adecuado movimiento e intercambio de bienes y personas. Así, el resultado de las interrupciones en los distintos tipos de redes, varía en primer lugar en su extension, dependiendo de si las mismas afectan parcial o totalmente a la red, y otro factor, es el intervalo de tiempo que abarcan, el cual indicará cuándo se puede volver a usar la red con normalidad.

La estimacion de la vulnerabilidad de una red de transporte, presenta dificultad en proceder a computarla con fiabilidad, partiendo de diversos factores de su entorno territorial, como los economicos, políticos, jurídicos, sociales y ambientales. Así, el término vulnerabilidad plantea un significado complejo y multifacético, dependiendo de los elementos implicados en cada una de las situaciones en las que se manifieste.

No existe en la actualidad un modelo de dominio público y académico que le permita a una ciudad generar escenarios de riesgo y cuan vulnerable es una red de transporte, que permita cuantificar las pérdidas.

De cierta manera el grado de desarrollo y crecimiento de una sociedad se ve reflejado en la calidad y eficiencia del sistema de líneas vitales. Las líneas vitales, o redes de servicios indispensables, son esos sistemas necesarios para la vida humana y las funciones urbanas, sin los cuales las regiones urbanas grandes no podrían existir. Las líneas viales básicamente transportan comida, agua, combustibles, energía, informacion y otros materiales necesarios para la existencia humana, desde las áreas de produccion hasta las áreas de consumo urbano. Una interrupcion prolongada de líneas vitales, tales como suministro de agua o energía para una ciudad o una región urbanizada inevitablemente traería pérdidas economicas, afectacion de la salud pública, y eventualmente migracion de poblacion.

Por otro lado, las redes de transporte presentan un desarrollo heterogéneo de su infraestructura, localizadas en Ayacucho y su área metropolitana, tales como vías locales, colectoras y arteriales, y la posible afectacion en estas puede llegar a causar un gran impacto en la ciudad y directamente en el desarrollo sostenible.

La vulnerabilidad a los terremotos de la infraestructura crítica es menos entendida que la vulnerabilidad de las construcciones. La infraestructura crítica puede abarcar complicados sistemas con muchos componentes que son todos vitales para una operacion satisfactoria. Cada componente dentro de un sistema tiene su propia vulnerabilidad sísmica, y conocer esto en detalle es esencial para el entendimiento de la vulnerabilidad global de la ciudad

## 2.1. PROBLEMA.

y pronosticar la restauracion de los activos. De esta manera, es relevante para la ciudad un proyecto de investigacion con estas características porque:

- Ninguno de los trabajos que se han realizado profundizó en la investigacion de la vulnerabilidad de los diferentes tipos de redes de transporte y sus componentes, ni sus métodos específicos de análisis y evaluación de riesgo.
- Ninguno de los trabajos utilizó diferentes escenarios de amenaza y análisis de confiabilidad lo que permite calibrar los parámetros y realizar un análisis comparativo más eficiente del sistema dañado después del sismo.
- Ningún trabajo realizado hasta el momento tiene en cuenta un análisis paramétrico comparativo en el tema de vulnerabilidad, con factores de correccion adecuados a las condiciones peruanas.
- No existe en la actualidad una herramienta flexible (software) de dominio público y académico que le permita a la ciudad generar escenarios de riesgo para valorar la exposicion de las redes de transporte y cuantificar pérdidas.

La ciudad de Ayacucho, cuya parte metropolitana comprende 5 distritos (Ayacucho, San Juan Bautista, Carmen Alto, Jesús Nazareno, Andrés A. Cáceres), de acuerdo con el RNE concretamente por la Norma NTE E0.30 y según los estudios geologicos de la region está localizada en la Zona 2 de clasificacion sísmica de Perú por estar en las inmediaciones de un ambiente sismo-tectónico que presenta una actividad sísmica importante. Aunque en los últimos años no ha ocurrido un sismo intenso, no es correcto suponer que así han de seguir las cosas, por lo que evaluar las condiciones de riesgo sísmico en la ciudad es prioritario. Es decir, la ciudad de Ayacucho de acuerdo con el Estudio General de Amenaza Sísmica d Perú, se localiza en una zona de amenaza sísmica intermedia.

### 2.1.2. Problema principal.

1. ¿En qué medida la aplicacion de un modelo sistémico en redes de transporte permitirá la reduccion del riesgo de desastre y será un factor determinante en la resiliencia y sostenibilidad de la ciudad de Ayacucho?

### 2.1.3. Problemas secundarios.

1. ¿Como se puede modelar un enfoque integral para determinar los escenarios de riesgo y vulnerabilidad en redes de transporte, en funcion de la amenaza, vulnerabilidad, exposicion ante la eventualidad de ocurrencia del peligro de mayor relevancia?

## 2.2. OBJETIVOS.

2. ¿Cuál es la mejor manera de determinar la influencia que provocan el riesgo generado por la convolucion de distintas amenazas intrínsecas a la ciudad considerando que cada componente de las redes de transporte tiene su propia vulnerabilidad?
3. ¿Qué relacion existe entre la interaccion de los distintos indicadores urbanos locales en la evaluacion de la resiliencia urbana (equitativa, segura, conectada) para que se propongan acciones para prepararse, resistir y recuperarse frente al peligro más relevante?
4. ¿De qué manera se puede proponer intervenciones para garantizar la continuidad de operacion de las redes de transporte que permitan proporcionar comunicacion y movilidad confiable a pesar de la dimensión territorial y complejidad promoviendo el desarrollo sostenible?

Para nuestra investigacion los escenarios de daños están limitados a su componente físico, es decir los daños tangibles directos, y su correspondiente distribucion geográfica. Análisis de sistema urbano ante un evento sísmico.

## 2.2. OBJETIVOS.

### 2.2.1. Objetivos Generales.

1. Desarrollar un modelo sistémico considerando los componentes fundamentales para reduccion del riesgo de desastre en redes de transporte para mejorar de la resiliencia y sostenibilidad de la ciudad de Ayacucho.

### 2.2.2. Objetivos Específicos.

1. Desarrollar un modelo sistémico para pronosticar escenarios de riesgo y determinar vulnerabilidad en redes de transporte, en funcion de la amenaza, vulnerabilidad, exposicion ante la eventualidad de ocurrencia del peligro de mayor relevancia.
2. Determinar la influencia que provocan el riesgo generado por la convolucion de distintas amenazas intrínsecas a la ciudad considerando que cada componente de las redes de transporte tiene su propia vulnerabilidad.
3. Correlacionar los indicadores urbanos locales para evaluar la resiliencia urbana (ciudad equitativa, segura, conectada), a través de la modelacion sistémica que permita simular al peligro más relevante para la toma de decisiones de preparacion, resistencia y recuperacion de la ciudad.
4. Proponer intervenciones para garantizar la continuidad de operacion de las redes de transporte que permitan proporcionar comunicacion, movilidad y abastecimiento



confiable a pesar de la dimension territorial y complejidad promoviendo el desarrollo sostenible.

### 2.3. MARCO TEÓRICO.

#### 2.3.1. Antecedentes de la investigacion.

La investigacion propuesta considera desde cuando existe o se conoce el problema, para lo cual se toma en cuenta los estudios e investigaciones anteriores:

Mattsson y Jenelius (2016) en "Vulnerabilidad y resiliencia de los sistemas de transporte" indica: "se resumen investigaciones recientes sobre vulnerabilidad y resiliencia de los sistemas de transporte; en la creciente y extensa literatura sobre estudios de vulnerabilidad de los transportes, dos tradiciones distintas son identificados. Una tradicion con raíces en la teoría gráfica estudia la vulnerabilidad de redes de transporte, basadas en sus propiedades topologicas. La otra tradición también representa la demanda y la oferta de los sistemas de transporte para permitir una evaluacion más las consecuencias de las interrupciones o desastres para los usuarios y la sociedad. El concepto de resiliencia ofrece una perspectiva socio-técnica de la capacidad del sistema de transporte para mantener o recuperar rápidamente una interrupción por un desastre. La literatura de resiliencia del transporte es menos abundante, especialmente en las fases de respuesta y recuperacion posteriores a los desastres. La investigacion sobre el transporte, vulnerabilidad y resiliencia del sistema es ahora un campo con una metodología y gran cantidad de hallazgos de investigacion que tienen gran potencial y utilidad práctica".

Hernández (2016) en "Impacto sísmico en sistemas de agua potable urbanos" indica: "Los sistemas de líneas vitales (energía, agua, transporte, y telecomunicaciones) son los sistemas más importantes con los que cuenta una ciudad moderna. Su interrupcion después de un desastre natural no sólo provocaría grandes pérdidas economicas, sino que también podría causar pérdidas de vidas humanas. El sistema de agua potable, es uno de los más importantes porque el agua es esencial para los humanos y para sus actividades diarias. Durante un evento sísmico es esencial que este sistema pueda continuar su funcionamiento para limitar la cantidad de daño posterior, por ejemplo, en caso de incendios, y para que la zona afectada pueda volver a condiciones normales. Este trabajo está enfocado a presentar un marco de referencia del análisis sísmico de la red de agua potable. Se expone el comportamiento de los sistemas de abastecimiento de agua ante distintos terremotos recientes alrededor del mundo y las lecciones aprendidas de dichos eventos. Se introducen los procedimientos para la cuantificacion del daño en los componentes de un sistema de abastecimiento esperado por terremotos, con

### 2.3. MARCO TEÓRICO.

el objetivo de mitigar la vulnerabilidad, especialmente en las tuberías. Se presentan diferentes metodologías para evaluar el comportamiento sísmico de los elementos de un sistema considerando su interconectividad y operacion”.

La Oficina de Resiliencia CDMX, (2016) en 'Estrategia de resiliencia de la CDMX transformacion adaptativa, incluyente y equitativa' indica: 'La ciudad se enfrenta a retos de resiliencia a nivel ambiental, social y economico, por su situacion geográfica, su historia de grandes transformaciones socio-ambientales, y por su contexto social. Un elemento clave es que la ciudad pasó de ser una zona lacustre a una de las megaciudades más pobladas del planeta. Otro elemento a considerar es la acelerada expansion urbana y el crecimiento poblacional de las últimas décadas, a la que se suma la insuficiente planeacion a largo plazo y una débil coordinacion a nivel metropolitano y megalopolitano, que han dificultado la atencion de temas regionales prioritarios, como la gestion del agua con vision de cuenca”.

Lotero y Hurtado, (2012) en 'Vulnerabilidad de redes complejas y aplicaciones al transporte urbano: una revision de la literatura' indica: 'algunas redes son la base de muchas de las actividades del ser humano, como es el caso de las redes de transporte urbano que hacen parte de la infraestructura crítica; una de las propiedades de mayor relevancia práctica de las redes complejas es su capacidad para mantener algunas funciones cuando ocurren fallas, errores o ataques a sus nodos o vínculos, la cual ha sido denominada robustez, resiliencia o vulnerabilidad por distintos autores. En este artículo se presenta una revision de la literatura sobre el concepto de vulnerabilidad en el formalismo de las redes complejas y algunas aplicaciones al transporte urbano. El proposito de este artículo de revisión es el de dar a conocer a académicos y tomadores de decision nuevos enfoques para el análisis del sistema de movilidad”.

Rodriguez Avellana, (2011) en 'Análisis y evaluacion de riesgo sísmico en líneas vitales, caso de estudio Bogotá D.C. ' indica: 'se plantea un marco metodologico para el estudio del riesgo sísmico en líneas vitales de cualquier tipología: redes de acueducto, alcantarillado, eléctricas, de gas e hidrocarburos, de telecomunicaciones, tanques, puentes y vías. Para su aplicacion se diseña e implementa una base de datos geográfica, y se desarrolla bajo metodología RUP, el software 'Riesgo Sísmico en Líneas Vitales - RSLV' utilizando Java con ArcGis Engine y ArcObjects. La amenaza sísmica insumo para este caso de estudio corresponde a los escenarios con periodos de retorno de 50, 100, 200, 475 y 1000 años con informacion de aceleracion, velocidad y desplazamiento pico del terreno, PGA, PGV y PGD respectivamente, para todas las fuentes sismogénicas integradas (fallas cercanas, intermedias y lejanas). Se analizó

## 2.3. MARCO TEÓRICO.

principalmente el efecto, sobre las líneas vitales, del "movimiento del terreno o ground shaking" por el paso de la onda sísmica; los efectos de "falla del terreno o ground failure" no fueron analizados por no disponer de datos de amenaza sísmica relacionados con licuefacción (asentamientos y desprendimientos laterales). Para el estudio de vulnerabilidad se analizaron las siguientes propuestas: ATC-25, ALA (2001), O'Rourke y Ayala (1993), Eidinger y Ávila (1999), Ioyama (2000), Japan Waterworks Association (1998), Eidinger ? G y E Report (2001) con las modificaciones de UNIANDES (2005), y finalmente JICA (2002) Para la valoración global del riesgo teniendo en cuenta factores físicos, culturales, sociales y económicos se mejoró la propuesta de Cardona (2001) y Carreño y otros (2005) y la combinación de factores se hizo a través del método de evaluación multicriterio, combinación lineal de pesos"

Pitilakis et al., (2006) en "Evaluación del riesgo de terremoto de las líneas de vida" indica: "En este trabajo se presenta la metodología RISK-UE para la evaluación del riesgo sísmico de los sistemas de servicios públicos (agua potable, aguas residuales, gas, telecomunicaciones, energía eléctrica) e infraestructuras de transporte (portuario, aeroportuario, viario y ferroviario). La metodología propuesta proporciona una base uniforme para la reducción de las consecuencias de los daños a la vida real en las áreas urbanas y una estrategia de mitigación eficiente y políticas de priorización para las acciones anteriores al terremoto y después del terremoto. Los principales pasos de la metodología propuesta son los inventarios adecuados para cada elemento en riesgo junto con una evaluación fiable del riesgo sísmico, la selección apropiada de modelos de fragilidad, la estimación del valor global y el impacto económico de los daños y pérdidas de la línea de vida".

### 2.3.2. Marco conceptual.

#### 2.3.2.1. Daño en líneas vitales.

Las líneas vitales son sistemas complejos cuya función es la distribución de recursos, el transporte de personas y bienes, así como la transmisión de información. Hasta hace poco tiempo los efectos de los sismos sobre las líneas vitales solo se tenían en cuenta en el diseño de algunos de sus componentes. Sin embargo, las prácticas de la ingeniería han venido cambiando de manera paulatina en la medida que el comportamiento de estos sistemas se ha convertido en una preocupación desde el punto de vista del diseño sísmico, la planificación de emergencias y la necesidad de una rápida recuperación después de un sismo.

En general las líneas vitales corresponden a la infraestructura de servicios públicos, que

### 2.3. MARCO TEÓRICO.

se considera básica o esencial. Una clasificación amplia de esta infraestructura es la siguiente:

- Energía: presas, subestaciones, líneas de fluido eléctrico, plantas de almacenamiento de combustibles, oleoductos, gasoductos.
- Transporte: redes viales, puentes, terminales de transporte, aeropuertos, puertos fluviales y marítimos.
- Agua: plantas de tratamiento, acueductos, alcantarillados, canales de irrigación y conducción.
- comunicación: redes y plantas telefónicas, estaciones de radio y televisión, oficinas de correo e información pública.

Las líneas vitales tienen algunas características que las distinguen. A diferencia de un edificio, usualmente pueden extenderse a lo largo de muchos kilómetros y con frecuencia se localizan sobre zonas delimitadas por ley. Muchas de ellas están interconectadas y por lo general hacen parte de redes que se extienden sobre grandes áreas. El comportamiento en un sitio de la red puede estar influenciado en gran medida por las alteraciones que puedan ocurrir en otro sitio distante. Por lo tanto, las líneas vitales pueden ser afectadas de manera diferencial de acuerdo con las propiedades dinámicas del suelo y el basamento, que pueden ser muy diferentes de un sitio a otro.

Estos sistemas también normalmente son interdependientes, es decir, que la pérdida de operación en uno de ellos puede afectar la operación de otro. La ruptura de las líneas de combustible, por ejemplo, puede causar incendios, y esto debe ser considerado a la hora de analizar las redes de distribución de agua. Las roturas simultáneas de las líneas de agua y desagüe pueden contaminar el agua potable. La interrupción de la energía eléctrica puede afectar las estaciones de bombeo de agua, limitando por consiguiente la disponibilidad de agua y sobrecargando el sistema de transporte para atender las reparaciones de emergencia.

Para evaluar el funcionamiento de las líneas vitales es necesario definir algunos parámetros que relacionen el nivel de operación de la red en un determinado momento con una de sus características medibles. En ese sentido, por ejemplo, la teoría de redes se perfila como una técnica que puede facilitar la definición de algunas medidas cuantitativas para la evaluación de su nivel de funcionamiento: conectividad, flujo máximo, operatividad, porcentaje de la población servida y pérdidas económicas.

### 2.3. MARCO TEÓRICO.

Los modelos más elaborados de vulnerabilidad sísmica de líneas vitales relacionan la probabilidad acumulada de falla con la intensidad del sismo. Dichos modelos pueden reflejar los efectos de la amenaza sísmica que contribuyen más al daño de un componente. En general, se ha podido observar que componentes localizados sobre la superficie del suelo tienden a ser más vulnerables a los efectos vibratorios de los sismos, mientras que los componentes que se encuentran enterrados tienden a ser más vulnerables al desplazamiento permanente o deformación excesiva del suelo.

La ingeniería sísmica ha realizado progresos significativos en la estimación anticipada de daños en las líneas vitales con fines de reducción de riesgos. Ya en algunos casos se han tomado medidas concretas para reducir los daños potenciales, mediante la aplicación de soluciones convencionales de ingeniería o el buen juicio, aun cuando no se tengan evaluaciones detalladas o rigurosas de su vulnerabilidad. Sin embargo, es necesario que se realicen más investigaciones e innovaciones tecnológicas que permitan optimizar el diseño, la mitigación de los daños y refuerzo sísmico de las líneas vitales existentes.

La tabla del Estado de Daño relaciona una descripción lingüística del daño con el valor de la pérdida económica esperada. Las matrices de daño calibradas mediante la consulta de expertos se combinan con las de intensidad sísmica esperada para determinar la distribución de daños en una ciudad. Las matrices de daño más conocidas han sido las propuestas en el ATC-13 (1985), que posteriormente fueron modificadas de acuerdo con los procedimientos descritos en el ATC-25 (1991), dependiendo de la edad, el mantenimiento, la calidad de los materiales y la calidad de la construcción. Más recientemente nuevos enfoques se han desarrollado dentro de los cuales se puede destacar la metodología HAZUS que promueve FEMA (1999) en los Estados Unidos. También, con la misma orientación en Europa se adelanta un proyecto con alcances similares apoyado por la Unión Europea que se le ha denominado Risk-EU.

El grado de desarrollo y crecimiento de una sociedad en cierta forma se ve reflejado en la calidad y eficiencia del sistema de líneas vitales. Las líneas vitales, o redes de servicios indispensables, son esos sistemas necesarios para la vida humana y las funciones urbanas, sin los cuales las regiones urbanas grandes no podrían existir. Las líneas viales básicamente transportan comida, agua, combustibles, energía, información y otros materiales necesarios para la existencia humana, desde las áreas de producción hasta las áreas de consumo urbano. Una interrupción prolongada de líneas vitales, tales como suministro de agua o energía para una ciudad o una región urbanizada inevitablemente traería pérdidas económicas, afectación de la salud pública, y eventualmente migración de población (Rodríguez, 2011).

## 2.3. MARCO TEÓRICO.

Cuadro 2.1: Matriz de daño para líneas de distribución (# 55 ATC-13)

factor central de daño FCD	INTENSIDAD MMI						
	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0.00	94.10	6.90	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	5.90	78.80	51.00	2.90	0.00	0.00	0.00
5.00	0.00	14.30	48.00	96.30	63.70	10.60	0.50
20.00	0.00	0.00	0.00	0.80	36.30	82.70	39.00
45.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.70	59.20
80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30
100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
factor de daño medio	0.03	1.11	2.66	4.99	10.45	20.09	35.51

Se plantea un marco metodológico para el estudio del riesgo sísmico en líneas vitales de cualquier tipología: redes de acueducto, alcantarillado, eléctricas, de telecomunicaciones, tanques, puentes y vías. Para su aplicación se diseña e implementa una base de datos geográfica, y se desarrolla un caso de estudio del riesgo sísmico para las líneas vitales de la ciudad de Ayacucho especialmente sobre las redes de transporte urbano y las redes de suministro de agua potable y saneamiento.

La amenaza sísmica insumo para este caso de estudio corresponde a los escenarios con periodos de retorno de 50, 100, 200, 500 y 1000 años con información de aceleración, velocidad y desplazamiento pico del terreno, para todas las fuentes sismogénicas integradas (fallas cercanas, intermedias y lejanas). Se analizó principalmente el efecto, sobre las líneas vitales, del "movimiento del terreno o ground shaking" por el paso de la onda sísmica; los efectos de "falla del terreno o ground failure" no fueron analizados por no disponer de datos de amenaza sísmica relacionados con licuefacción (asentamientos y desprendimientos laterales).

Para la valoración global del riesgo teniendo en cuenta factores físicos, culturales, sociales y económicos (Cardona, 2001), (Carreño et al., 2005) y la combinación de factores se hizo a través del método de evaluación multicriterio, combinación lineal de pesos.

### 2.3.3. Sismicidad en Ayacucho.

Los sismos que ocurren en la ciudad de Ayacucho son debido a las siguientes fuentes:

1. A los mecanismos de subducción y otros procesos tectónicos que caracterizan al Perú como un país de alta sismicidad, con eventos sísmicos en la zona de subducción de la costa, sismos superficiales asociados a fallas poco profundas en

### 2.3. MARCO TEÓRICO.

la zona andina y los sismos a gran profundidad que ocurren en la region oriental.

2. Los sismos en su mayoría son tectonicos. Según la Carta Sísmica (Atlas Historico Geográfico y de Paisajes Peruanos), en Ayacucho en 50 años de sismos (1913 a 1963), de 18 sismos ocurridos, nueve fueron de profundidad menor a 80 Km. y nueve de profundidad mayor a 80 Km.

Para efectos de analizar la historia sísmica del área de Ayacucho es necesario subdividirla en dos periodos claramente marcados por la Magnitud e Intensidad de los sismos ocurridos: Un primer periodo entre 1586 a 1980 y un segundo a partir de 1980.

Muchos de los sismos ocurridos en el Primer Periodo se han generado lejos del área de estudio, pero por su naturaleza de ser destructores, con magnitudes hasta de 8.4 (Ms), sus ondas han llegado a la ciudad de Ayacucho, alcanzando en esta una Intensidad de IV MM. A continuacion se detallan los grandes eventos sísmicos que se han producido en el territorio peruano y que han afectado al área de estudio entre 1586 a 1980:

- 28-01-1687 : Terremoto de Magnitud 8.2, que sacudió la villa de Huancavelica y gran parte de la comarca. Las provincias de Huanta y Angaraes quedaron asoladas.
- 17-06-1719 : Sacudimiento de tierra que en Huamanga tuvo el carácter destructor.
- 08-02-1916: Sismo de foco cordillerano que fue sentido en un área de 120000 Km<sup>2</sup> y afectó varios pueblos de la provincia de Fajardo, Huamanga, Huanta, del Departamento de Ayacucho y Angaraes en Huancavelica. El pueblo de Julcamarca sufrió averías en sus construcciones.
- 24-08-1942 : Terremoto en la region limítrofe de los departamentos de Ica y Arequipa, su intensidad máxima fue de IX MM. Sentido con una intensidad III - IV MM, en un área elíptica de 408000 Km<sup>2</sup> en la que se encuentra al Norte Huaraz, al NorEste de Cerro de Paseo y Oxapampa, Este de Cuzco y al Sur Moquegua; en Ayacucho alcanzó la intensidad de IV MM.
- 01-11-1947 : Terremoto en la Zona Central del Perú, el movimiento tuvo un área de percepcion aproximada de 1300000 Km<sup>2</sup> abarcando casi todo el territorio peruano. En la zona de Ayacucho alcanzó la intensidad de V MM.
- 24-12-1959 : Sismo destructor en el departamento de Ayacucho, hubo destruccion de viviendas en los poblados de Mayobamba, Pomabamba Huahuapuquio y otros caseríos ubicados en las escarpadas laderas del río Pampas. Sismo sentido en la ciudad de Ayacucho y pueblos vecinos.

## 2.3. MARCO TEÓRICO.

- Hasta Mayo de 1980 la zona entre Huancayo y Cuzco tuvo una baja actividad sísmica, que fue alterada primero por el sismo del 3 de Junio de 1980, cuyo epicentro fue ubicado cerca de las localidades de Mollepata y Umatambo, en el departamento de Cuzco. El sismo tuvo una magnitud de 4.9 Mb, alcanzando una intensidad máxima en el epicentro de 6 MSK.
- El 16 de Agosto de 1980, ocurrió el primer sismo sensible en el área de estudio que posteriormente fue afectada por una serie continuada y persistente de sismos.
- A partir del 16 de Agosto de 1980, fecha cuando se produce el sismo de magnitud 5.1 (Mb), las áreas de los distritos de San José de Ticslas, San Pedro de Cachí, Vinchos y Santo Tomás de Pata, han sufrido una continua y alta actividad sísmica; estos fenómenos son el producto de la fuerte deformación tectónica existente, tal como lo demuestran las estructuras geológicas presentes, como son presencia de fallas y plegamientos de varios kilómetros de longitud que principalmente tienen una alineación SE-NW.
- La mayoría de los sismos que se produjeron en el área son superficiales (Profundidad menor a 30 Km.) y abarcan un área de 1200 Km<sup>2</sup>; siendo la máxima intensidad observada de VI a VII MM. Regionalmente en los departamentos de Huancavelica y Ayacucho, han ocurrido sismos que van de superficiales (Profundidad menor a 70 Km.), hasta intermedios (Profundidad entre 70 a 300 Km.); hasta una Magnitud mayor a 6.00 (Mb).

### 2.3.3.1. Peligro sísmico.

Los sismos destructores ocurridos en el Perú en el periodo comprendido entre los años 1900 a 1980, han influenciado poco en el área de estudio, a pesar de que todos han tenido una magnitud mayor a 7.5 (Ms); la máxima intensidad registrada en el área por la atenuación de las ondas ha sido de V en la escala de Mercalli Modificada (MM).

Analizando los movimientos sísmicos ocurridos a partir del 16 de Agosto de 1980 hasta el mes de Abril de 1981, se tiene que se han producido 8 sismos con magnitudes iguales o mayores a 5.0 (magnitud local MI), dichos eventos en el área de estudio han ocasionado destrucción en varios pueblos aledaños y caseríos, donde las máximas intensidades han sido de VI a VII MKS (Escala Internacional de Intensidades).

Según el Mapa de Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas observadas en el Perú (Alva Hurtado, 2001) en el área de estudio se pueden presentar sismos con intensidad hasta de VI en la Escala de Mercalli Modificada (MM).



## 2.3. MARCO TEÓRICO.

Según el Mapa de Isoaceleraciones para un 10% de excedencia durante una vida útil de 100 años para el Perú (Alva Hurtado, 2001) en el área de estudio se pueden presentar sismos con aceleraciones máximas hasta de 0.35 cm/s<sup>2</sup>.

Según el Mapa de Zonificación Sísmica del Perú (Fuente: Norma E030 Diseño Sismo-resistente) el área de estudio se encuentra en la Zona II, de actividad sísmica media y con probabilidad de ocurrencia de sismos de leves a moderados (VI a VII en la Escala de Mercalli Modificada o MSK).

La información instrumental existente muestra que la actividad sísmica que ocurrió en el área hasta 1980, no alertó significativamente la zona ya que las generaciones carecían de tradición sísmica y por ende, de experiencias mentales en este aspecto, muy por el contrario circulaba la idea de que Ayacucho, era una zona asísmica, estable. Efectivamente, en los decenios posteriores a los años veinte fuera de algunos temblores que pasaron desapercibidos (1959), no se registró eventos de mayor gravedad. El área de estudio y que puede ser afectada con sismos de VI a VII MM se encuentra ubicada en un área de laderas, valles y altiplanicies de la Cordillera de los Andes.

Por el análisis de los datos durante los sismos ocurridos entre los años de 1980 a 1981 se determina que la zona más afectada fue el área de laderas empinadas en donde afloran depósitos conglomeráticos de naturaleza granular e inestables en pendientes fuertes y aún más durante la ocurrencia de sismos.

### 2.3.3.2. Amenaza sísmica.

El rango de aceleraciones manejados por un sismo está directamente relacionado con el periodo de retorno del mismo. A mayor periodo de retorno, mayores serán las aceleraciones y el daño esperado. El periodo de retorno más comúnmente usado para análisis de riesgo sísmico es 475 años, porque este es el periodo de retorno utilizado para el diseño de la mayoría de estructuras (edificios, puentes, vías) urbanas. Sin embargo muchas líneas vitales, como las tuberías de acueducto, son diseñadas con periodos de retorno superiores, de 1000 y hasta 2000 años. Para este estudio se propone analizar diferentes periodos de retorno que estén por encima y por debajo de 475 años.

Los parámetros que definen los escenarios de amenaza sísmica, y que deben incluirse dentro del estudio son:

- PGA. Peak Ground Acceleration. Aceleración Pico del Terreno
- PGV. Peak Ground Velocity. Velocidad Pico del Terreno

## 2.3. MARCO TEÓRICO.

- PGD. Peak Ground Displacement. Desplazamiento Pico del Terreno
- PGD. Permanent Ground Displacement. Desplazamiento Permanente del Terreno
- Sa. Spectral Acceleration. Aceleración Espectral

Como referencia se pueden tomar los escenarios de amenaza utilizados en los estudios de ciudades sostenibles del PNUD - INDECI.

### 2.3.3.3. Vulnerabilidad.

2.3.3.3.1. Curvas de fragilidad y análisis de vulnerabilidad. La vulnerabilidad se expresa generalmente en términos de:

1. Daño directo / costo de reparación como función de la intensidad de la amenaza. Sirve para estimar el costo total de reparación
2. Pérdida de funcionamiento como una función de la intensidad de la amenaza. Sirve para establecer el tiempo de inutilización relativo al componente
3. Tiempo de restauración como una función de la intensidad de la amenaza. Es importante para estimar el tiempo de recuperación del sistema y pérdidas secundarias relacionadas a la duración de la interrupción del servicio

Una valoración de vulnerabilidad puede ser determinística o probabilística. Los métodos disponibles para desarrollar relaciones de daño son:

1. Empíricos
2. Inspección visual y evaluación
3. Analíticos
4. Experimental
5. Valoración por expertos.

Una valoración simplificada de vulnerabilidad puede incluir "a", "b", "c". Una valoración avanzada se basa en métodos analíticos como análisis de elementos finitos. Métodos experimentales no son prácticos o necesarios, excepto en situaciones extremas donde los otros cuatro métodos no son aplicables, y el potencial de riesgo es muy alto.

Las relaciones de daño se requieren para estimar:

### 2.3. MARCO TEÓRICO.

- El "costo de reparacion": El costo de reparación generalmente se expresa en relaciones de daño como un porcentaje del costo de reemplazo, en función de la intensidad de la amenaza. En este caso se requiere valorar el costo total de reemplazo del elemento.
- La "funcionalidad del componente",
- Los "tiempos de restauracion".

Valoraciones simplificadas de vulnerabilidad pueden asumir correlacion cercana entre los tres anteriores elementos. La incertidumbre en la valoracion de vulnerabilidad puede ser un topico especializado; por ejemplo si se usa una inspeccion visual o métodos de categorizacion o calificacion, hay un alto grado de incertidumbre. Sin embargo se espera que en valoraciones avanzadas se diferencie entre la incertidumbre de la intensidad de amenazas naturales y la incertidumbre de la respuesta del componente ante la amenaza.

Hay dos principales metodologías para generar relaciones de vulnerabilidad:

- La primera metodología (Nivel 1, Macrosísmica/Estadística) se basa en datos de daños obtenidos de observaciones de campo después de un terremoto o a partir de experimentos. Este Nivel 1 es adecuado para vulnerabilidad, daño y pérdidas en ambientes urbanos que no tengan estimaciones de la respuesta sísmica del sitio, en las cuales se estima con base en la intensidad sísmica.
- La segunda metodología (Nivel 2, mecánica) se basa en estudios analíticos de la estructura, ya sea por análisis detallado tiempo/historia o a través de métodos simplificados. El nivel 2 es para ambientes urbanos que poseen estudios detallados de respuesta sísmica expresados en términos de espectros de respuesta de sitio, tales como aceleracion espectral, velocidad espectral, o desplazamiento espectral.

Ambos métodos, sin embargo tienen en común:

- Identificacion de parámetros adecuados de movimiento del terreno que controlen la respuesta del elemento, génesis del daño y progreso.
- Identificacion de diferentes estados de daño con base en estados de daño sistematizados deducidos de valoraciones de daños de terremotos pasados o en apropiados parámetros de respuesta estructural.
- Evaluacion de la probabilidad de que una estructura esté en diferentes estados de daño dado a un nivel de movimiento sísmico del terreno.

## 2.3. MARCO TEÓRICO.

A partir de una revisión bibliográfica fue posible identificar funciones de vulnerabilidad para las diferentes líneas vitales existentes en la ciudad. En términos generales las funciones de fragilidad para tuberías plantean una tasa de reparaciones o tasa de roturas por kilometro (RR: Roture Rate) en función de la velocidad pico del terreno como parámetro básico para registrar la intensidad sísmica. Otras curvas más aplicables a estructuras que hacen parte de las líneas vitales, relacionan algún parámetro de intensidad sísmica contra porcentaje de daño o porcentaje de costo de reparación. A continuación se detallan las curvas de fragilidad más importantes.

2.3.3.3.2. **Sistemas de movilidad.** Otros de los sistemas estructurales neurálgicos en el desempeño de las líneas vitales, son los correspondientes a los puentes, teniendo en cuenta que la presencia de daños en estos elementos puede ocasionar pérdidas considerables de funcionalidad en las vías de comunicación de la ciudad, por lo que la evaluación de su vulnerabilidad resulta crucial (Álvarez-Castañeda, 2009a).

Al igual que lo que sucede con otros sistemas estructurales, para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de puentes existen diversas metodologías, las cuales utilizan matrices de daño o funciones de vulnerabilidad, y cuya diferencia principal radica en los datos necesarios para su aplicación, calidad y tipo de resultados obtenidos (Álvarez-Castañeda, 2009a).

Un ejemplo típico se muestra en la figura adjunta para puentes de luces simples de concreto reforzado (R/C) donde se hace una comparación entre las funciones de vulnerabilidad derivadas empíricamente (Shinozuka et al., 2003) y analíticamente (Mander y Basoz, 1999). Las curvas analíticas (las cuales se incluyen también en HAZUS), sobreestiman la probabilidad de estado de daño para este tipo de puentes, aunque esta no es la regla.

Una metodología alternativa al uso de las anteriores curvas de fragilidad es la propuesta por Risk Management Solutions Inc (RMS), por cuanto esta permite tomar en consideración algunas de las características estructurales más importantes en puentes, y es aplicable tanto a puentes vehiculares como a puentes peatonales, tanto urbanos como carreteros.

2.3.3.4. **Estado de daños.**

2.3.3.4.1. **Sistemas de movilidad.** Las vías se afectan generalmente por fallas y desplazamientos del terreno (Peak Ground Displacement, PGD), los daños en autopistas son en la superficie y en los taludes o muros de contención. También colapsos de los pasos bajos o construcciones bloquean el tráfico aún sin dañarse la autopista. De

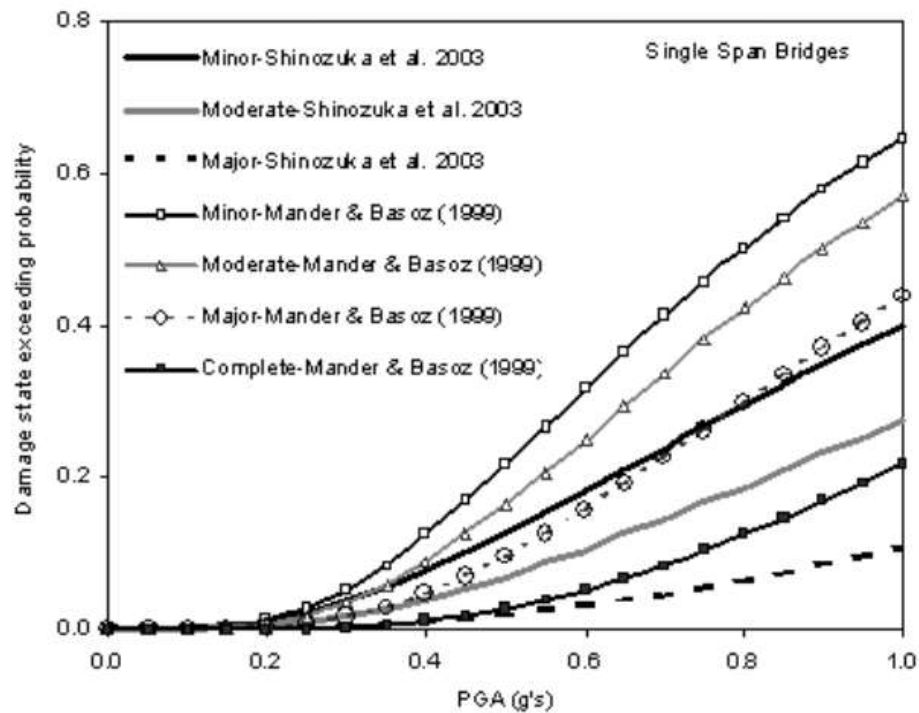


Figura 2.1: Comparación entre curvas de fragilidad analíticas y empíricas para puentes R/C de simple luz. Fuente: Oliveira, 2006

acuerdo con (ATC, 1991), el porcentaje de daño de autopistas durante un terremoto se da como 0% para MMI VI, 1% para MMI VII, 2% para MMI VIII, 4% para MMI IX, y 8% para MMI X.

El tráfico (volumen, dirección) y características de la vía (uso del suelo, riesgo de colapso de construcciones y existencia de puentes) han sido tratados como atributos en la estimación de pérdidas con factores de peso apropiados.

Los puentes son el componente más vulnerable de un sistema de vías, debido a la falta de redundancia, el alto tiempo de reparación y las dificultades de reenrutamiento. Los daños en puentes pueden crear mal funcionamiento extensivo aunque cada falla pueda estar limitada a un punto particular en la vía. La metodología RMS propone cinco estados posibles de daño.

#### 2.3.3.5. Escenarios de daños.

Los escenarios de daño por acción de un evento sísmico muestran la localización, severidad y puntos críticos de las variables analizadas en la ciudad que se conjugaron para analizar los riesgos: elementos expuestos (base de datos geográfica), escenarios de amenaza y vulnerabilidad. Generalmente el resultado de un escenario de daño se muestra en un mapa digital, en el cual los daños se pueden ver de manera puntual

## 2.3. MARCO TEÓRICO.

Cuadro 2.2: Posibles de consecuencias de terremotos en vías urbanas. Fuente: Monge et al., 2003

Estado de Daño	Operabilidad	Daños Directos	Daños Indirectos
Fuerte	Completamente cerrada debido a reparaciones temporales por pocos días a pocas semanas. Parcialmente cerrada a tráfico debido a permanentes reparaciones por pocas semanas a pocos meses	Arreglos mayores o movimientos del terreno > 60 cm	Desechos considerables de estructuras colapsadas
Moderado	Completamente cerrada debido a reparaciones temporales por pocos días. Parcialmente cerrada a tráfico debido a reparaciones permanentes por pocas semanas	Arreglos moderados o movimientos del terreno de 30 a 60 cm	Cantidades moderadas de desechos de estructuras colapsadas
Menor Suave	Tráfico abierto. Velocidad reducida durante reparaciones.	Arreglos menores o movimientos del terreno menores a 30 cm	Cantidades menores de desechos de estructuras colapsadas
Sin daño	Completamente abierto	Sin daño / Vía limpia	Sin daño / Vía limpia

Cuadro 2.3: Estados de daño para puentes. Fuente: Álvarez-Casteñeda, 2009

Estado de daño	Denominación	Descripción
DS1	Ningún daño	
DS2	Daño menor	Desconchamiento del concreto y fisuraciones menores sin plastificación del refuerzo.
DS3	Daño moderado	Fisuras y desconchamiento apreciables del concreto de la estructura sin plastificación del refuerzo. Posibilidad de asentamientos en los accesos, fisuras en llaves de cortante y plastificación de algunos conectores mecánicos.
DS4	Daño generalizado	Daño generalizado, descascaramiento del concreto de la estructura y plastificación del refuerzo pero sin colapso, las conexiones pierden casi completamente su capacidad y existen asentamientos importantes en los accesos.
DS5	Daño total	Colapso parcial o total de la estructura. Trabajos de recuperación costosos y probablemente inviables

o resumidos por zonas. Se espera que estos mapas ayuden a resolver preguntas como ¿Cuáles (ubicación) son las zonas de mayor afectación?, ¿Cuáles zonas requieren mayor intervención ante un evento particular?, ¿En donde están los sitios más adecuados para albergues?, ¿Qué tipo de daños predomina en una zona o en una tipología particular?.

En el caso de las redes en las redes de transporte, la variable que permite definir los escenarios de daño es la tasa de reparaciones por kilómetro, a partir de la cual se puede definir los estados de daño como patología en las vías. Por ejemplo en el caso de una red viaria, la rotura significa pérdida completa de la capacidad de operación y la fisura significa una disminución de la funcionalidad. Otra variable típica para medir los daños es el porcentaje de daño en cualquier elemento expuesto.

### 2.3. MARCO TEÓRICO.

Figura 2.2: Aceleraciones máximas: Distrito de Ayacucho. Fuente: Elaboracion propia, 2016

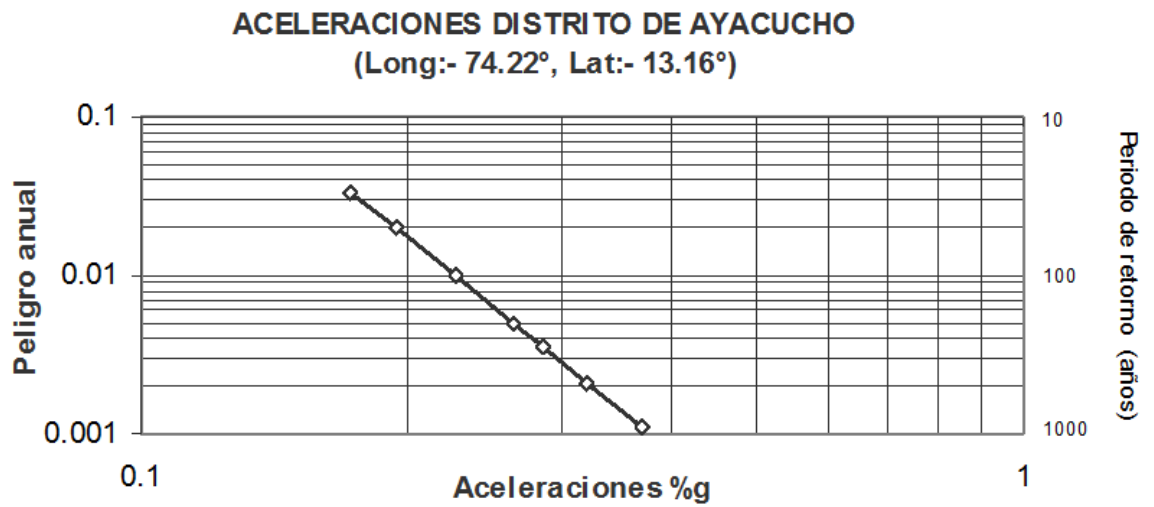


Figura 2.3: Aceleraciones máximas: Distrito de Ayacucho. Fuente: Elaboracion propia, 2016

Vida Útil 10% probabilidad de excedencia (años)	Peligro anual	Periodo retorno	Acel. Máx. (%g)
3	0.0333	30	0.173
5	0.02	50	0.194
10	0.01	100	0.227
21	0.005	200	0.264
30	0.0035	286	0.286
50	0.0021	476	0.315
100	0.0011	909	0.363

Figura 2.4: Relacion: escalas de intensidad y percepcion de sacudida. Fuente: Walt et al., 1999

I(MM)	Rango Acel. (g)	Como se percibe la sacudida
VI	0.08 - 0.15	Fuerte
VII	0.15 - 0.30	Muy fuerte
VIII	0.30 - 0.60	Severamente
IX	0.60 - 1.20	Violentamente

### 2.3. MARCO TEÓRICO.

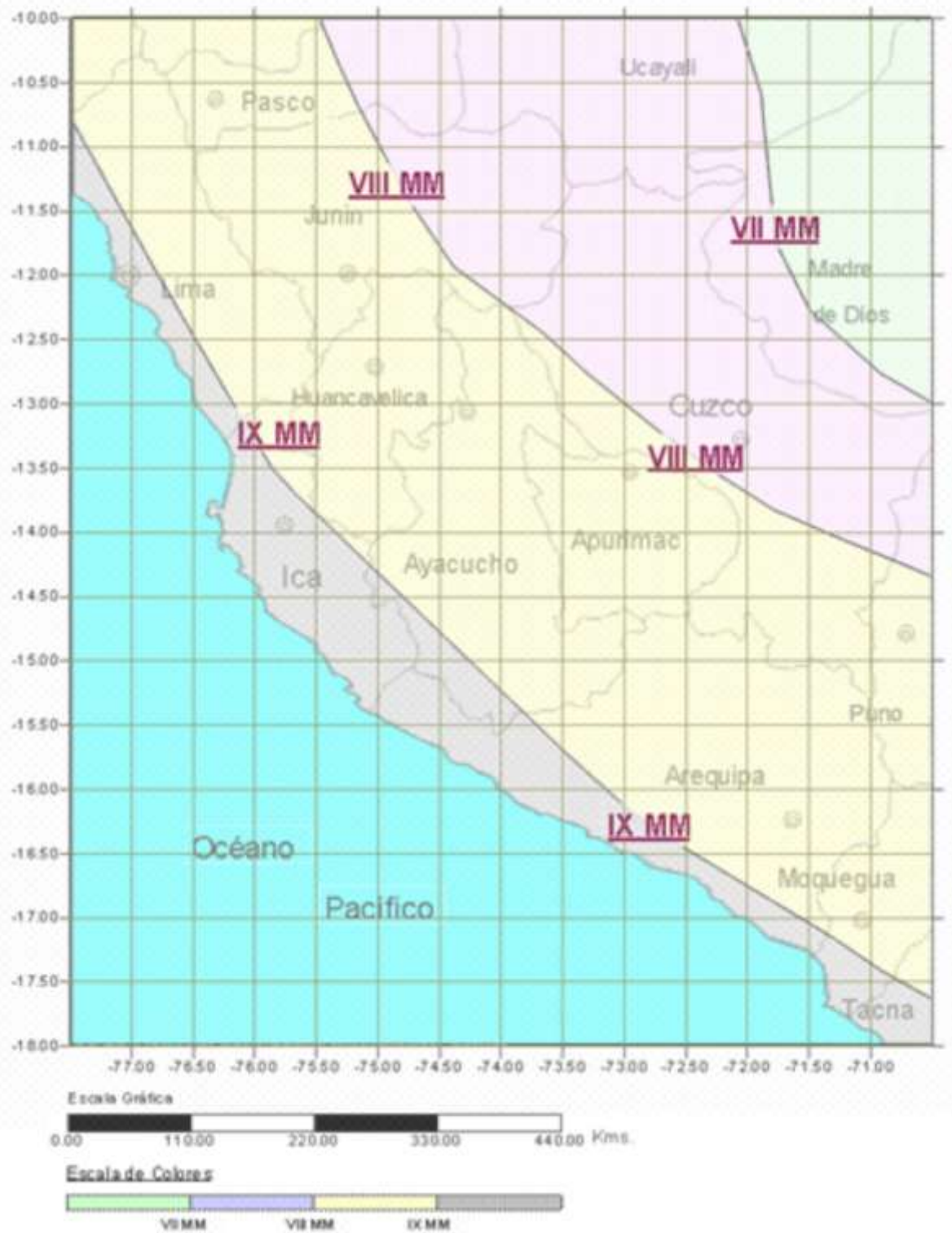
Figura 2.5: Mapa de máximas intensidades, esperadas para los próximos 50 años. Fuente: Adaptado de Palacios L., 2016





### 2.3. MARCO TEÓRICO.

Figura 2.6: Mapa de máximas intensidades, esperadas para los próximos 100 años. Fuente: Adaptado de Palacios L., 2016



## 2.4. HIPÓTESIS.

### 2.4.1. Hipótesis principal.

1. La implementación de un modelo sistémico de análisis de redes complejas en el sistema de redes de transporte, mejora la toma de decisiones en reducción de riesgo de desastres, contribuyendo a la mejora de la resiliencia y sostenibilidad de la ciudad de Ayacucho.

### 2.4.2. Hipótesis secundarias.

1. La utilización de métodos de evaluación del riesgo de desastres de los sistemas de redes de transporte de la ciudad integradas en un modelo sistémico permite realizar análisis de amenazas, vulnerabilidad y exposición ante la eventualidad de ocurrencia del peligro de mayor relevancia, contribuyendo a la mejora de la toma de decisiones cuanto a la resiliencia y sostenibilidad de la ciudad.
2. El análisis sistémico de la distribución espacial de las amenazas en el sistema de redes de transporte, en términos de su afectación a la confiabilidad de las redes complejas permite plantear escenarios por la convolución de distintas amenazas intrínsecas a la ciudad considerando que cada componente de las líneas vitales tiene su propia vulnerabilidad.
3. Existe una relación entre el territorio y los sistemas de líneas vitales en función a los indicadores urbanos locales de resiliencia urbana que permite la reducción de riesgo ante desastres, a través de la modelación sistémica que permita simular al peligro más relevante para la toma de decisiones de preparación, resistencia y recuperación de la ciudad.
4. Es factible crear una aplicación informática que además de automatizar los diferentes procesos de la evaluación de riesgo sísmico en sistemas de redes de transporte para ciudades, permita proponer intervenciones para garantizar la continuidad de servicios esenciales de comunicación, movilidad y abastecimiento confiables a pesar de la dimensión territorial y complejidad de redes.

## 2.5. VARIABLES E INDICADORES.

### 2.5.1. Variables.

Se denominan variables a las características, rasgos, o propiedades de los elementos de la Muestra o Universo en estudio. La característica de las variables es que son medibles,

## 2.5. VARIABLES E INDICADORES.

directa o indirectamente mediante Indicadores, por lo que cada elemento del conjunto tiene un valor diferente para cada una de sus variables. Considerando a la vulnerabilidad como un insuficiente nivel de servicio de una red de transporte público, o "accesibilidad reducida"; las variables en el presente estudio, se clasifican en:

- Variables independientes.- cuando desempeña el rol de causa mayoritaria, cuya magnitud o característica se relaciona con otra a la cual afectar, en el presente caso son: puntos de vulnerabilidad, superficies vulnerables, invariantes territoriales.
- Variables dependientes.- cuando desempeña el rol de efecto o consecuencia, dependen de la acción (intensidad o característica) de la variable independiente. En el presente caso son: modelo sistémico, riesgo sísmico, resiliencia.

### 2.5.2. Indicadores.

Los indicadores tienen como principal función señalar datos, procedimientos a seguir, fenómenos, situaciones específicas.

Indicador de las variables X (variables independientes):

Los indicadores independientes "debido a la aparición de un evento (natural)", son los componentes intervinientes que determinan las consecuencias de una red de transporte: índice de vulnerabilidad, índice de accesibilidad, índice de la conexión de la red.

Indicadores de la variable Y (variables dependientes):

Los indicadores dependiente "debido a un evento identificado en una red viaria", se mide por: confiabilidad de la red, índice de resiliencia, valor de riesgo.

Cuadro 2.4: Operacionalización de variables.

VARIABLES	INDICADORES	TIPO
<b>VARIABLES INDEPENDIENTES (X)</b>	<b>Directos (X)</b>	
Puntos de vulnerabilidad	X11: Índice de vulnerabilidad	X11: Ordinal
Superficies vulnerables	X12: Accesibilidad a redes	X12: Nominal
Invariantes territoriales	X13: Nodo, enlace, centroide	X13: Discreta
<b>VARIABLES INTERVINIENTES (Y)</b>	<b>Intervinientes (Y)</b>	
Uso de suelo (territorio)	Y21: Intensidad de uso	Y11: Continua
Redes de líneas vitales	Y22: Asignación en línea vital	Y12: Continua
Amenazas (peligros)	Y23: Nivel de amenaza	Y13: Ordinal
<b>VARIABLES INDEPENDIENTES (Z)</b>	<b>VARIABLES INDEPENDIENTES (Z)</b>	
Modelo sistémico lineal vital	Z31: Confiabilidad de la red	Z11: Nominal
Resiliencia	Z32: Índice de resiliencia	Z12: Ordinal
Riesgo	Z33: Valor de riesgo contexto	Z13: Continua

## 2.6. DISEÑO METODOLÓGICO

Se plantea a un esquema metodológico general teniendo en cuenta que todos los elementos de la investigación giran en torno al análisis, diseño e implementación de un programa basado en sistemas de información, como herramienta ideal que facilitará el análisis del sistema urbano de redes de transporte. Es gracias al sistema de información que los elementos típicos metodológicos de análisis y evaluación de riesgo sísmico en redes de transporte, por ejemplo los descritos con anterioridad propuestos por (Oliveira et al., 2006 p. 186), encuentran la mejor manera de implementarse, y será en torno al las bondades y posibilidades del sistema de información que la investigación podrá plantear los escenarios y obtener resultados.

La metodología estructurada a utilizarse se compone de dos grandes fases: información insumo (inventario, tipologías, amenaza sísmica, vulnerabilidad) e información resultante (escenario de daño y pérdidas, análisis de confiabilidad del sistema y escenarios de riesgo. Cada uno de los componentes de la metodología se resumen en la siguiente tabla, indicando en cada uno la razón/justificación del porque se requiere y la forma en que se deberá implementar.

### 2.6.1. Instrumentos.

En esta etapa se procede al montaje de los modelos matemáticos planteados según las herramientas seleccionadas para tal fin. El modelo matemático será formulado y programado en un software matemático de computación técnica que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M), especializado para la modelación matemática y optimización.

#### Aplicaciones Utilizadas

- MATLAB 7.1 R14 sp3, para el preprocesado de datos.
- CAD, GIS para la generación de los datos de entrada numéricos usados en tests.
- LaTeX para la generación de toda la documentación del proyecto, haciendo uso de las herramientas WinEdt, MiKTeX, GSView y Adobe Acrobat.
- Documentación disponible en Internet correspondiente a las distintas herramientas y lenguajes empleados.
- Estadígrafos de Estadística Descriptiva
- Estadígrafos de la Estadística Inferencial

## 2.6. DISEÑO METODOLÓGICO

- Fichas de evaluación, planos, gráficos, memorias, dossier fotográfico documental.
- Herramientas informáticas de SIG's.

### 2.6.2. Procedimientos.

Cuadro 2.5: Esquema metodológico general. Fuente: Rodríguez, 2011

Id	Item / Sub-item	Razón/Justificación	Forma
1	<b>Implementación del SIG</b>	La mejor forma de modelar el sistema urbano de líneas vitales es con SIG	<ul style="list-style-type: none"> <li>Metodología RUP</li> <li>Base de datos geográfica</li> <li>Software para el estudio del riesgo</li> </ul>
2	<b>Inventario</b>	El inventario de líneas vitales soluciona el tema de los "elementos expuestos" componente estructural del riesgo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bases de datos existentes</li> <li>Cargue de la base de datos geográfica</li> </ul>
3	<b>Tipologías</b>	La vulnerabilidad de las líneas vitales está caracterizada por la tipología de las mismas. El análisis de vulnerabilidad se debe hacer específico a cada una de las tipologías definidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Clasificación en categorías, estas en tipologías</li> <li>Características estructurales comunes</li> <li>Similitudes en la vulnerabilidad física</li> <li>Similitudes en el comportamiento ante el terremoto</li> </ul>
4	<b>Amenaza sísmica:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Identificación</li> <li>Probabilidad</li> <li>Zonificación</li> <li>Parámetros</li> </ul>	Componente fundamental en el riesgo: "amenaza"	<ul style="list-style-type: none"> <li>Microzonificación</li> <li>Escenarios de amenaza</li> </ul>
5	<b>Vulnerabilidad:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Curvas de fragilidad</li> <li>- Análisis de vulnerabilidad: Daños</li> </ul>	Componente fundamental en el riesgo: "amenaza". Permiten estimar daños en función de la amenaza	<ul style="list-style-type: none"> <li>Módulo de curvas de vulnerabilidad en función de las tipologías</li> <li>Implementación de métodos para el análisis y evaluación de la vulnerabilidad en función de las tipologías</li> </ul>
6	<b>Escenarios de Daño y pérdidas</b> (materiales – impacto directo)	La etapa final del análisis de riesgo es su estimación, y este incluye un análisis de las consecuencias que en este caso se restringe a las pérdidas materiales directas con su impacto económico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zonificación del daño y las pérdidas utilizando el SIG y técnicas de integración y análisis de datos espaciales</li> <li>Sólo las pérdidas materiales y su impacto económico directo</li> <li>A partir de costos unitarios para cada tipología</li> </ul>
7	<b>Análisis de confiabilidad del sistema</b> (sistema dañado)	Es necesario conocer la capacidad de funcionamiento del sistema después de un evento representado por un escenario de daño. Es necesario analizar los tiempos de restauración del sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>Curva de índice de servicio (% daño del sistema vs. tasa de roturas)</li> <li>Funciones de restauración disponibles para diferentes tipologías (% daño del sistema vs. tiempo de restauración)</li> </ul>
8	<b>Escenarios de Riesgo</b>	Con los escenarios de daño realizar una evaluación global de las consecuencias físicas, económicas y sociales	<ul style="list-style-type: none"> <li>La valoración del riesgo se hará a partir de indicadores relativos</li> <li>No se realizarán evaluaciones usando el concepto de "riesgo tolerable" o umbrales de riesgo</li> </ul>

### 2.6.3. Inventario.

El primer intento para realizar inventario de redes se presentó en (ATC, 1985); el esfuerzo continuó en (ATC, 1991). (Jones y Chang, 1993) propuso métodos indirectos para estimación a grandes escalas. Un inventario para puentes fue propuesto por (Werner et al., 2000), después de (Jernigan et al., 1996). La organización American Lifelines Alliance (ALA, 2002) propuso un sistema para inventario de redes. (NIBS, 1999).

Para la presente investigación la realización del inventario estará ligada a la información suministrada por las entidades responsables de las redes de transporte en la ciudad.

## 2.6. DISEÑO METODOLÓGICO

Para esta investigación el inventario se basará en la recolección de la información geográfica digital (formato Shapefile o Geodatabase) de los diferentes niveles de información (capas) que representan todo el conjunto de líneas vitales. Esta información se estructurará en la base de datos del sistema, de acuerdo con el diseño del modelo de datos que se realice. Se requiere que esta información cuente con sus atributos principales más importantes como material, diámetro, capacidad y especialmente el tipo.

Existen diferentes niveles de información y para el caso de la ciudad de Ayacucho, cada uno de ellos es administrado por una entidad diferente. En la siguiente tabla se resume el tipo de información geográfica requerida y la fuente que la produce. Se debe gestionar la adquisición de la información en cada una de las entidades mencionadas.

Cuadro 2.6: Tipos de información geográfica y responsables. Fuente: Rodríguez, 2011)

Ítem	Tipo de Dato	Capas	Organización/Fuente
Terremoto	Amenaza sísmica	PGA (T=50,100, ... 1000 años)	
		PGV (T=50, 100, ... 1000 años)	
		PGD (T=50, 100, ..., 1000 años)	
		Sa (T=50, 100, ..., 1000 años)	
	Zonas de respuesta sísmica	Microzonificación sísmica	
Geotecnia	Amenaza sísmica de contexto	Procesos morfodinámicos	
		Área de suelos blandos	
		Área con potencial de licuación	
		Área con procesos de remoción en masa	
Otras instalaciones indispensables	Salud	Equipamiento Salud	
		IPS privadas con servicio de urgencias	
		IPS públicas con servicios	
Ítem	Tipo de Dato	Capas	Organización/Fuente
		de urgencias	
		Redes hospitalarias	
	Red de transporte terrestre	Red Vial	
		Puentes vehiculares	
		Puentes peatonales	

### 2.6.4. Análisis de datos.

El propósito de analizar los datos es obtener información que será útil para la investigación, especialmente datos geoespaciales y registros de amenazas y su convolución sobre la infraestructura de línea vital existente. El análisis será fundamentalmente de datos cuantitativos y seguirá el siguiente procedimiento:

## 2.6. DISEÑO METODOLÓGICO

- Descripción, consolidación, resumen de datos, identificación de la relación entre las variables, comparación entre variables, identificación de la diferencia entre variables.

Para analizar los datos se usarán técnicas estadísticas y geoestadísticas que serán aplicadas a los datos cuantitativos. En general, la investigación luego de la recolección de datos según los instrumentos de investigación buscará que los resultados tengan validez y fiabilidad.

### 2.6.5. Técnicas.

Recolección de datos en campo, análisis documental, modelado computacional.

Un aspecto fundamental que determina el diseño metodológico de un proyecto como el propuesto es la información. Para este trabajo se partirá de información secundaria perteneciente a los planes de desarrollo urbanos de la ciudad de Ayacucho. La información es, por lo general, asimétrica entre los municipios por lo cual el análisis de la disponibilidad, calidad y cantidad de información de cada uno determinará la base de información del modelo. La información encontrada influye en la definición del modelo.

El hecho de utilizar como herramienta la modelación sistémica no es sinónimo de consecución de resultados válidos. Así, para poder actuar con una mayor eficacia en el desarrollo metodológico, se han definido una serie de propiedades que debe poseer la herramienta de tratamiento de la información. El planteamiento de la investigación discurrirá sobre los modelos matemáticos de simulación considerando criterios fundamentales para la determinación del riesgo sísmico basado en amenazas, vulnerabilidad, exposición y la resiliencia de la ciudad aplicado a los sistemas de líneas vitales. Tomando en cuenta que la mayoría de los datos de ciudades, usos de suelo, se obtienen en un patrón de muestreo irregular; por lo tanto, los datos irregular espaciados tienen que ser interpolados.

#### 2.6.5.1. Técnicas de recolección.

En primer lugar, se estableció un conocimiento exacto del sistema de líneas vitales que se está analizando: los objetivos, los componentes y la estructura del mismo; sus límites e interrelaciones, tanto de sus componentes como del sistema con el medio donde se encuentra; determinar la información que alimenta al sistema y la información que se espera que el sistema entregue, etc.

- a Revisión tecnológica.- tiene como objetivo establecer una idea clara del estado del arte y de las opciones tecnológicas que se encuentran en el mercado que pueden dar solución

## 2.6. DISEÑO METODOLÓGICO

al problema. Se empleó como técnicas e instrumentos el fichaje (las documentales) y la observación (las no documentales)

- b Estimación de amenazas.- se utilizarán los métodos convencionales de adquisición de información de amenazas y peligros circunscritos al área de estudio.
- c Determinación de la vulnerabilidad.- se emplearán técnicas de ingeniería estructural adaptadas al análisis de sistemas de líneas vitales para estimar la vulnerabilidad de las redes complejas y componentes seleccionados como los más relevantes de acuerdo al diagrama de Pareto.

La presente investigación tiene la necesidad de utilizar datos digitales. Implica una aplicación informática, y esta se alimenta en última instancia exclusivamente de datos digitales. Gran parte de los datos que se utilizaron son en formato digital; sin embargo, para los casos de estudio desarrollados, la información a pesar de producirse hoy en día, no lo son directamente. Y junto a estos tenemos, como ya sabemos, todos los datos (que no son pocos) generados con anterioridad y que se presentan en diversas formas, de un modo u otro todos los datos acabaron siendo digitales.

Los datos digitales tienen una serie de ventajas frente a los analógicos (se puede incorporar a la aplicación informática), y suponen, como sucede en muchos otros campos, un salto cualitativo importante por: la sencillez de actualización, facilidad de distribución, espacio de almacenamiento, facilidad y precisión de análisis, facilidad de mantenimiento. En esta investigación se tienen datos primarios y datos secundarios.

- Los datos primarios son aquellos que empleamos como INPUT en los modelos continuos para determinar las zonas de viaje y en las entradas a los modelos TAP y que, en su forma original, ya son susceptibles de ser sometidos a las operaciones de manejo y análisis que incorporan en los distintos módulos de la aplicación informática desarrollada. En este grupo encontramos las imágenes digitales y los datos obtenidos con GPS, recogidos en origen para su empleo directo.
- Los datos secundarios derivan de algún otro tipo de dato previo, el cual no es adecuado para su empleo en los modelos continuos para determinar las zonas de viaje y en las entradas a los modelos TAP. Entre estos incluimos las versiones digitales de los mapas clásicos (requieren conversión de un documento analógico a uno digital), así como los datos procedentes de un muestreo o levantamiento tradicional de aforos de tráfico, encuestas O-D, atractores de actividades en la ciudad, etc. Otros provenientes de cartografía impresa, tales como capas de elevaciones, también se incluyen en este grupo





## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [Alzate Atehortúa, 2006] Alzate Atehortúa, B. E. (2006). Indicadores de sostenibilidad ambiental de tercera generacion en la gestion ambiental sistémica. Caso páramo de Guerrero. Cundinamarca. Instituto de estudios ambientales - IDEA. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. Magister en medio ambiente y desarrollo: 168.
- [Barbat, 2003] Barbat, A. H. (2003). Vulnerability and holistic risk indices from engineering perspective and holistic approach to consider hard and soft variables at urban level. Manizales, Colombia, IADB/IDEA Universidad Nacional de Colombia.
- [Booch and Jacobson, 2007] Booch, G., J. R. and Jacobson, I. (2007). El Lenguaje Unificado de Modelado. Manual de Referencia. España, Pearson Education.
- [Box and Hunter, 2008] Box, G. and Hunter, W. (2008). Estadística Para Investigadores (Spanish Edition). Reverté.
- [Buckle and Cooper, 1995] Buckle, I. G. and Cooper, J. D. (1995). Mitigation of Seismic Damage to Lifelines: Highways and Railroads. Critical Issues and State-of-the-Art in Lifeline Earthquake Engineering.
- [Caballero Romero, 2011] Caballero Romero, A. (2011). Metodología Integral Innovadora para Planes y Tesis. Primera edition.
- [Cardona, 1991] Cardona, O. D. (1991). Estimacion holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos. Barcelona, Spain, Universidad Politécnica de Cataluña. PhD thesis.
- [Carver, 1991] Carver, S. J. (1991). Integrating multi-criteria evaluation with GIS. Int. J. Geographical Information Systems vol. 5(n° 3).
- [Hernández, 2010] Hernández, R. (2010). Metodologia De La Investigacion (5taEdicion). Mc Graw-Hill Interamericana.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [Huamanga, 2008] Huamanga, M. P. (2008). Plan Director de Ayacucho. Grupo Técnico de Consultoría, Ayacucho, Perú.
- [Hungry and Fell, 2005] Hungry, O., R. and Fell, B. C. (2005). Landslide Risk Management : proceedings of the International Conference on Landslide Risk Management. Vancouver Geotechnical Society (Vancouver, B. C. Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes (Vancouver, R. Couture and E. Eberhardt. Vancouver, Canada, Taylor and Francis.
- [Loterio and Hurtado, 2014] Loterio, L. and Hurtado, R. (2014). Vulnerabilidad de redes complejas y aplicaciones al transporte urbano: una revision de la literatura. Publicacion semestral de carácter técnico-científico / Escuela de Ingeniería de Antioquia ?EIA?, Envigado (Colombia).
- [Álvarez Castañeda, 1995] Álvarez Castañeda, H. A. (1995). Evaluacion de vulnerabilidad sísmica para estructuras especiales (tanques y puentes). Actualizacion y Sistematizacion de los Escenarios de Daño por Terremoto para Bogotá.
- [Miller, 2006] Miller, E. (Japan, 2006). Integrated urban models: Theoretical prospects. Resource paper presented at the 11th International Conference on Travel Behaviour Research, International Association for Travel Behaviour Research.
- [Moreno Jiménez, 1995] Moreno Jiménez, A. (1995). La modelacion de las externalidades ambiental: un enfoque espacio temporal. Revista Anales de geografía, (15):485–496.
- [Muñoz, 2012] Muñoz, C. (2012). Como elaborar y asesorar una investigacion de tesis (Spanish Edition). Pearson (México).
- [Olaya, 2007] Olaya, V. (España, 2007). Sistemas de informacion geográfica (capítulo 23. geomorfología y análisis del terreno) edicion 1, revision 26.
- [Oliveira and Goula, 2006] Oliveira, C. S., A. R. and Goula, X. (2006). Assessing and managing earthquake risk : geo-scientific and engineering knowledge for earthquake risk mitigation: developments, tools, techniques. Dordrecht, Springer.
- [Pitilakis, 2006] Pitilakis, e. a. (2006). Earthquake risk assessment of lifelines. Research Gate, Bulletin of Earthquake Engineering, November 2006.
- [Rodriguez, 2009] Rodriguez, A. H. (2009). Marco metodologico para la evaluacion de riesgo sísmico en líneas vitales. Actualizacion y Sistematizacion de los Escenarios de Daño por Terremoto para Bogotá. Bogotá, Direccion de prevencion y atencion de emergencias de Bogotá - DPAE. Coordinacion de investigacion y desarrollo. Grupo escenario de daños: 53.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [Salvini and Miller, 2005] Salvini, P. and Miller, E. (2005). An operational prototype of a comprehensive urban microsimulation model of urban systems. *Networks and Spatial Economics* 5, 217-234.
- [Sasaki et al., 1990] Sasaki, T., Iida, Y., and Yang, H. (Japan, 1990). User-equilibrium traffic assignment by continuum approximation of network flow. *Proceedings of the 11th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, Yokohama, Elsevier, 233-252.
- [Stover and Koepke, 1998] Stover, V. G. and Koepke, F. J. (1998). *Transportation and Land Development*. Prentice Hall, Institute of Transportation Engineers, Washington DC.
- [Timmermans, 2003] Timmermans, H. (Switzerland, 2003). Conference keynote paper, 10th international conference on travel behaviour research. *The Saga of Integrated Land Use, Transport Modeling: How Many More Dreams Before We Wake Up?*
- [UNDRO, 1980] UNDRO (1980). *Natural disasters and vulnerability analysis : report of Expert Group Meeting (9-12 July 1979)*. Geneva: vi, 49 p.
- [Voogd, 1983] Voogd, H. (1983). *Multicriteria evaluation for urban and regional planning*. Pion, London.
- [Wright and Ashford, 1998] Wright, P. H. and Ashford, N. J. (1998). *Transportation Engineering: Planning and Design*. Edit. John Wiley, 4ta Edición.



**A** ANEXOS