

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

**Diseño de Áreas de Refugio Temporal (ART) para Ayuda Humanitaria
Post-Terremoto para el Distrito Metropolitano de Quito**

Cristina Alexandra Izquierdo Flores

Santiago Raúl Zaruma Ochoa

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de Ingeniero Civil

Quito, mayo de 2012

Universidad San Francisco de Quito

Colegio de Ciencias e Ingeniería

HOJA DE APROBACION DE TESIS

**Diseño de Áreas de Refugio Temporal (ART) para Ayuda Humanitaria
Post-Terremoto para el Distrito Metropolitano de Quito**

**Cristina Alexandra Izquierdo Flores
Santiago Raúl Zaruma Ochoa**

Fabricio Yépez, Ph.D., Ing.
Director de la Tesis,
Miembro del Comité de Tesis

Fernando Romo, Msc.
Coordinador de Ingeniería Civil,
Miembro del Comité de Tesis

Santiago Gangotena, Ph.D.
Decano del Colegio de Ciencias e Ingeniería

Quito, mayo de 2012

© Derechos de autor
Cristina Alexandra Izquierdo Flores
Santiago Raúl Zaruma Ochoa
2012

Dedicatoria

A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional.

Cristina Alexandra Izquierdo Flores

Dedicatoria

A mis padres, Gabriel y Lady, por el gran esfuerzo que han hecho para ayudarme a cumplir mis metas y la confianza que me han dado para tomar decisiones.

A Dios por darme tantas bendiciones y constituir un soporte en los tiempos más difíciles.

Santiago Raúl Zaruma Ochoa

Agradecimientos

A la comunidad de profesores de la Universidad San Francisco de Quito por transmitirnos los conocimientos necesarios no sólo para desarrollarnos dentro de nuestra carrera, pero también para saber desenvolvernó en la vida en general.

A nuestro director, el PhD. Ing. Fabricio Yépez, por brindarnos tantas enseñanzas a lo largo toda de la carrera y por su guía durante la realización de esta tesis. También agradecemos a su equipo de trabajo por la colaboración y tiempo dedicado.

Cristina Alexandra Izquierdo Flores

Santiago Raúl Zaruma Ochoa

Resumen

La ciudad de Quito, además de estar ubicada en el Cinturón de Fuego del Pacífico, está atravesada por una falla geológica importante; en este contexto, puede ser catalogada como un lugar de alto peligro sísmico. Esta situación se ha podido evidenciar a lo largo de la historia, ya que en varias ocasiones la ciudad fue afectada por terremotos de distintas magnitudes y algunos de ellos causaron víctimas fatales. Otro factor que aumenta el riesgo de sus habitantes ante este tipo de eventos es la mala calidad de las construcciones existentes, provocada por el crecimiento demográfico descontrolado que ha experimentado la ciudad en las últimas décadas.

Este escenario es justificativo suficiente para el diseño de algunas áreas de refugio temporal a lo largo del Distrito Metropolitano de Quito que cuenten con todos los servicios básicos y tengan la capacidad de mantenerse operativas después de un evento sísmico severo para albergar dignamente a la población que así lo requiera. El presente trabajo tiene como objetivo la elección de los lugares para ubicar dichas áreas y el diseño estructural sismo-resistente especial y de sistemas de abastecimiento de las mismas.

Abstract

Quito, besides being located on the Pacific Ring of Fire, is crossed by a major geological fault; in this context it may be classified as a high seismic hazard zone. This situation has been evidenced throughout history, since on several occasions the city was affected by earthquakes of different magnitudes and some of them caused deaths. The poor quality of existing buildings, caused by uncontrolled population growth experienced by the city in recent decades, has become another factor that increases the risk of its people in the case of an earthquake.

The design of some temporary shelter areas along Quito, with all the basic services and the ability to remain operational after a severe seismic event to accommodate the population in need, is completely justified with this scenario. The present work aims to select the places to locate these areas and perform a special seismic-resistant design of the facility and its supply systems.

Tabla de contenido

Introducción.....	1
1. Quito y el peligro sísmico	3
1.1. Breve Descripción del DMQ	3
1.2. Amenazas del DMQ.....	6
1.2.1. Amenazas Volcánicas.....	6
1.2.2. Amenazas Geomorfológicas.....	7
1.2.3. Amenaza Hidroclimáticas.....	16
1.2.4. Amenazas Morfoclimáticas	17
1.3. Amenaza Sísmica.....	18
2. Selección de sitios para futuras Áreas de Refugio Temporal ART.....	27
2.1. Definición de zona segura o albergue.....	27
2.2. Levantamiento de información	27
2.3. Matriz de Selección	31
2.4. Filtros de Selección.....	35
2.4.1. Segundo Filtro	35
2.4.2. Tercer Filtro	37
2.4.3. Cuarto Filtro	38
2.4.4. Quinto Filtro	40
2.5. Lugares seleccionados	43
2.5.1. Descripción de los 12 lugares seleccionados.....	47
2.5.1.1. Parque Inglés.....	47
2.5.1.2. Parque Barrio La Luz.....	48
2.5.1.3. Parque La Carolina	49
2.5.1.4. Parque Metropolitano Guanguiltagua.....	50
2.5.1.5. Parque Itchimbía	51
2.5.1.6. Parque El Ejido	52
2.5.1.7. Planta de tratamiento Puengasí	53
2.5.1.8. Parque Ecológico de Solanda	53
2.5.1.9. Parque La Moya.....	54
2.5.1.10. Parque las Cuadras	55
2.5.1.11. Terreno “La Pampa” (Calderón).....	55

2.5.1.12.	Área recreativa Carapungo 2 ^{da} etapa	56
3.	Diseño Arquitectónico de Áreas de Refugio Temporal	57
3.1.	Estimación de población a ser albergada	57
3.2.	Programación de un ART	58
3.2.1.	Área de servicios	58
3.2.2.	Área Colectiva	59
3.2.3.	Área de Campamento	59
3.3.	Especificaciones del equipo.....	60
3.3.1.	Servicios higiénicos y duchas.....	60
3.3.2.	Carpas	61
3.3.3.	Camillas y catres.....	62
3.3.4.	Cerramiento	62
3.4.	Dimensionamiento de áreas	63
4.	Diseño Sismo-resistente Especial de las Áreas de Refugio Temporal.....	66
4.1.	Fundamentos de Diseño	66
4.2.	Factor de Zona	66
4.3.	Curvas de Peligro Sísmico	67
4.4.	Perfiles de Suelo	69
4.5.	Espectro Elástico de Diseño en Aceleraciones	71
4.6.	Filosofía de Diseño Sismo-resistente.....	72
4.7.	Deriva de Piso	73
4.8.	Coefficiente de Importancia I.....	73
4.9.	Coefficientes de Configuración Estructural	74
4.9.1.	Coefficiente de Irregularidad en Planta ϕ_P	74
4.9.2.	Coefficiente de Irregularidad en Elevación ϕ_E	75
4.10.	Factor de Reducción de Resistencia Sísmica R	76
4.11.	Diseño Basado en Fuerzas.....	77
4.12.	Cortante Basal de Diseño V	78
4.13.	Período de Vibración T	78
4.14.	Distribución Vertical de Fuerzas Laterales	79
4.15.	Dirección de Aplicación de fuerzas sísmicas	80
4.16.	Procedimiento dinámico de cálculo de fuerzas sísmicas	80
5.	Verificación del comportamiento sismo-resistente	81

5.1.	Nivel de desempeño sísmico.....	81
5.2.	Desempeño objetivo	84
5.3.	Análisis estático no lineal	85
5.3.1.	Método del espectro capacidad-demanda.....	86
5.3.1.1.	Espectro de capacidad.....	87
5.3.1.2.	Espectro de demanda	89
5.3.1.3.	Intersección del espectro de capacidad y espectro de demanda	90
5.4.	Reglas de modelado	91
5.5.	Criterios de Aceptación	93
5.5.1.	Límites de aceptabilidad globales.....	94
5.5.2.	Límites de aceptabilidad para elementos y componentes.....	95
5.6.	Análisis no lineal en SAP2000	99
6.	Diseño del sistema de autoabastecimiento de agua potable de las Áreas de Refugio Temporal.....	105
6.1.	Volumen de almacenamiento.....	106
6.2.	Caudal de diseño	107
6.3.	Caudales instantáneos mínimos	107
6.4.	Selección de diámetros	108
6.5.	Pérdidas.....	108
6.5.1.	Cálculo de pérdidas en tuberías	108
6.5.2.	Cálculo de pérdidas en accesorios	109
6.6.	Bomba centrífuga.....	110
7.	Diseño de dos Áreas de Refugio Temporal Tipo	111
8.	Conclusiones y Recomendaciones	112
	Bibliografía.....	115
	Anexos.....	117
	Anexo 1. Cuestionario	117
	Anexo 2. Memoria de cálculo y verificación estructural.....	120
	Anexo 3. Memoria de Cálculo – Sistema de Agua Potable.....	136
	Anexo 4. Planos estructurales	154
	Anexo 5. Planos del sistema de agua potable	155

Lista de figuras

Figura 1. Administraciones Zonales del DMQ.....	4
Figura 2. Parroquias Urbanas del DMQ	5
Figura 3. Amenaza volcánica en el DMQ	7
Figura 4. Susceptibilidad a movimientos en masa – Calderón	8
Figura 5. Susceptibilidad a movimientos en masa - Norte	9
Figura 6. Susceptibilidad a movimientos en masa - Quitumbe	10
Figura 7. Susceptibilidad a movimientos en masa - Tumbaco	11
Figura 8. Susceptibilidad a movimientos en masa - Los Chillos	12
Figura 9. Susceptibilidad a movimientos en masa - Centro	13
Figura 10. Susceptibilidad a movimientos en masa - Eloy Alfaro	14
Figura 11. Susceptibilidad a movimientos en masa - La Delicia	15
Figura 12. Pluviosidad en Quito y alrededores	16
Figura 13. Aluviones en Quito (eventos 1900-1988)	17
Figura 14. Amenaza sísmica en DMQ.	19
Figura 15. Ubicación de los terremotos potenciales respecto a Quito A) Costero B) Interior C) Local	21
Figura 16. Intensidad de sacudimiento en Quito debido al terremoto A	21
Figura 17. Intensidad de sacudimiento en Quito debido al terremoto B	22
Figura 18. Intensidad de sacudimiento en Quito debido al terremoto C	22
Figura 19. Tipos de construcción en el DMQ	24
Figura 20. Porcentaje de daños debido a terremoto local C	25
Figura 21. Albergues y lugares temporales de refugio.....	28
Figura 22. Mapa de códigos por zonas	30
Figura 23. Sitios pre-seleccionados dentro del DMQ central.....	36
Figura 24. Sitios pre-seleccionado dentro de las administraciones zonales.....	36
Figura 25. Lugares escogidos y densidad poblacional de Quito	37
Figura 26. Lugares pre-seleccionados y quebradas antiguas y existentes de Quito	41
Figura 27. Lugares pre-seleccionados y escenario sísmico de Quito para terremoto local	42
Figura 28. 12 lugares seleccionados dentro de las administraciones zonales	45
Figura 29. 12 lugares seleccionados sobre quebradas actuales de Quito	45
Figura 30. 12 lugares seleccionados sobre quebradas antiguas y existentes en Quito ..	46
Figura 31. Lugares seleccionados para ART sobre mapa de densidad de población.....	46
Figura 32. Parque Inglés	47
Figura 33. Parque Barrio La Luz	48
Figura 34. Parque La Carolina	49
Figura 35. Parque Metropolitano Guanguiltagua	50
Figura 36. Itchimbía	51
Figura 37. Parque El Ejido	52
Figura 38. Planta de tratamiento Puengasí	53
Figura 39. Parque Ecológico de Solanda.....	53
Figura 40. Parque La Moya	54

Figura 41. Parque Las Cuadras.....	55
Figura 42. Terreno "La Pampa".....	55
Figura 43. Área recreativa Carapungo 2 ^{da} etapa.....	56
Figura 44. Baño portátil (Eco-sanitarios)	61
Figura45.Carpa TJ-3010 (Tianjin Tuoja Outdoors Manufacturing Co., Ltd.)	61
Figura 46. Camilla	62
Figura 47. Catre acojinado (Aztatl)	62
Figura 48. Cerramiento CercaPronto3D (IdealAlambrec)	63
Figura 49. Planta ART	64
Figura 50. Área de campamento- Comunidad de 80 personas	65
Figura 51. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño.	67
Figura 52. Curva de Peligro Sísmico Probabilista para Quito.....	68
Figura 53. Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño)	72
Figura 54. Curva de capacidad	87
Figura 55. Proceso de obtención del espectro de capacidad.....	88
Figura 56. Espectro de capacidad-demanda.	90
Figura 57. Rótulas plásticas en SAP2000.....	92
Figura 58. Niveles de desempeño en la curva fuerza-deformación de un componente	93
Figura 59. Asignación automática de rótulas plásticas en vigas en SAP2000	100
Figura 60. Asignación automática de rótulas plásticas en columnas en SAP2000	100
Figura 61. Caso de carga no-lineal en SAP2000	102
Figura 62. Curva de capacidad en SAP2000	103
Figura 63. Determinación de paso a ser revisado en SAP2000.....	104

Lista de Tablas

Tabla 1. Sismos importantes en la Provincia de Pichincha	20
Tabla 2. Código de zonas	29
Tabla 3. Escala de calificaciones por parámetro.	32
Tabla 4. Factores de ponderación por parámetro	33
Tabla 5. Matriz de selección y calificaciones finales de los 40 lugares mejor puntuados	34
Tabla 6. Sitios pre-seleccionados luego del segundo filtro	35
Tabla 7. 18 sitios pre-seleccionados luego del tercer filtro	38
Tabla 8. Parámetros de análisis de amenazas naturales y ponderación de variables.....	39
Tabla 9. Factores de ponderación entre variables de amenazas naturales.....	39
Tabla 10. Análisis de presencia de quebradas dentro o cerca de sitios pre-seleccionados	42
Tabla 11. 12 sitios pre-seleccionados luego del quinto filtro.....	43
Tabla 12. Factores finales de ponderación por parámetro.....	44
Tabla 13. 12 sitios seleccionados para el diseño de ART	44
Tabla 14. Población estimada para cada ART.....	58
Tabla 15. Especificaciones de baños portátiles (Ecosanitarios).....	60
Tabla 16. Especificaciones de duchas portátiles (Eco-sanitarios).....	60
Tabla 17. Especificaciones de la carpa (Tianjin Tuojia Outdoors Manufacturing Co., Ltd.)	61
Tabla 18. Especificaciones - camilla	62
Tabla 19. Especificaciones - catre	62
Tabla 20. Especificaciones Cerramiento CercaPronto3D	63
Tabla 21. Dimensionamiento de áreas.....	63
Tabla 22. Factor de zona Z.	67
Tabla 23. Clasificación de perfiles de suelos.	70
Tabla 24. Perfiles de suelo y coeficientes F_a , F_d y F_s	71
Tabla 25. Valores Δ_M máximos expresados como fracción de la altura de piso.	73
Tabla 26. Tipo de uso, destino e importancia de la estructura	74
Tabla 27. Coeficientes de irregularidad en planta	75
Tabla 28. Coeficientes de irregularidad en elevación.....	76
Tabla 29. Coeficiente de reducción de respuesta estructural R.....	77
Tabla 30. Control de Daño y Niveles de desempeño para Edificios.....	84
Tabla 31. Tipos de comportamiento estructural	89
Tabla 32. Límites de deformación lateral	94
Tabla 33. Criterios de Aceptación Numéricos para rotaciones de rótulas plásticas en Vigas de Hormigón Armado.....	96

Tabla 34. Criterios de Aceptación Numéricos para rotaciones de rótulas plásticas en Columnas de Hormigón Armado.....	97
Tabla 35. Criterios de Aceptación Numéricos para ángulo de corte total en nudos viga-columna de hormigón armado	98
Tabla 36. Criterios de Aceptación Numéricos para rotaciones de rótulas plásticas en losas bidireccionales y conexiones losa-columnas.....	99
Tabla 37. Demandas de caudales, presiones y diámetros en aparatos de consumo	107
Tabla 38. Fórmulas para cálculo de pérdidas en tuberías.....	109
Tabla 39. Fórmulas para cálculo de longitudes equivalentes	109

Introducción

Se conoce que el Distrito Metropolitano de Quito tiene un nivel de peligro sísmico alto, como lo señala la nueva Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-11(NEC, 2011). Las fuentes de terremotos que pueden afectar la ciudad provienen tanto de la costa ecuatoriana, como de los fallamientos corticales internos en la cordillera occidental y oriental cercanos a ella. En los últimos 460 años de historia, Quito ha sufrido intensidades macrosísmicas superiores a 6 en al menos 25 oportunidades. Adicionalmente, se conoce la existencia del sistema de fallas de Quito, que atraviesan la ciudad, con una longitud de aproximadamente 50km y que podría eventualmente causar un terremoto superficial con consecuencias catastróficas para sus habitantes y su infraestructura.

Además del peligro sísmico, la mayoría de construcciones han sido ejecutadas sin la debida previsión y no están diseñadas para soportar un sismo severo, en especial en barrios de bajos recursos con una densidad poblacional alta. En caso de presentarse un evento sísmico de gran magnitud, miles de personas perderían su hogar y los servicios básicos probablemente colapsarían. Por ello, se ha presentado la necesidad de disponer de Áreas de Refugio Temporal (ART) que puedan brindar albergue a un cierto número de personas, ofreciéndoles todos los servicios básicos y que permitan ejecutar acciones de emergencia.

El diseño de dichas áreas debe contar con una estructura esencial, capaz de sobrevivir a un evento sísmico fuerte, de manera que pueda seguir prestando sus servicios. Además se deben implementar tecnologías que permitan un servicio autosuficiente cuando los servicios mínimos de la ciudad se encuentren interrumpidos. Dichos aspectos deben ser considerados dentro de un diseño arquitectónico, estructural, mecánico, eléctrico, sanitario y de comunicaciones, que sea óptimo y modular, con el fin de facilitar y abaratar los costos de construcción. Las premisas de diseño serán las normativas ecuatorianas, chilenas y las recomendadas en el Proyecto Esfera, “lanzado en 1997 para desarrollar un conjunto de normas mínimas universales en áreas centrales de la asistencia humanitaria. El objetivo del proyecto es mejorar la calidad de la asistencia humanitaria prestada a personas afectadas por los desastres, y aumentar el grado de

rendición de cuentas del sistema humanitario en la respuesta en casos de desastre”
(Proyecto Esfera, 2004).

1. Quito y el peligro sísmico

1.1. Breve Descripción del DMQ

El Distrito Metropolitano de Quito está ubicado en la Meseta de Quito, en la provincia de Pichincha, Ecuador. La meseta de Quito forma parte de la Hoya de Guayllabamba, que limita al norte con el nudo de Mojanda-Cajas; al sur por el de Tíopullo; al oeste por el Pichincha que es parte de la Cordillera Occidental y que está formado por tres elevaciones volcánicas: Guagua Pichincha, Rucú Pichincha y el Cóndor Guachana; y al este por los volcanes: Cayambe, Cerro Puntas, Ilaló, Antisana y Cotopaxi.

El DMQ se desarrolla desde los 2850 m.s.n.m., hasta su punto más bajo en los valles de Los Chillos y Tumbaco. La ciudad San Francisco de Quito, está situada en la parte más angosta de la Meseta y en las elevaciones del Pichincha. Presenta algunos drenajes provenientes del Pichincha y Atacazo, entre los cuales podemos mencionar el Río Machángara y su afluente el Río Grande que corre en dirección Sur Norte, además de varias quebradas profundas que llevan el agua hacia el Este y algunas zonas lacustres.

Debido al volcanismo del callejón interandino se tiene la presencia de cangaguas y sedimentos fluvio-lacustres que rellenan grandes depresiones como la cuenca de Quito-Guayllabamba (Molestina, 2006).

Actualmente, el Distrito Metropolitano de Quito tiene una superficie aproximada de 4200 km² y 2.239.191 habitantes (INEC, 2010), lo que resulta en una densidad de 530 hab/km². Está dividido en 8 administraciones zonales, las cuales contienen a 32 parroquias urbanas, como se puede ver a continuación.

Administraciones Zonales: Equinoccial (La Delicia), Calderón, Norte (Eugenio Espejo), Centro (Manuela Sáenz), Sur (Eloy Alfaro), Tumbaco, Valle de Los Chillos y Quitumbe.

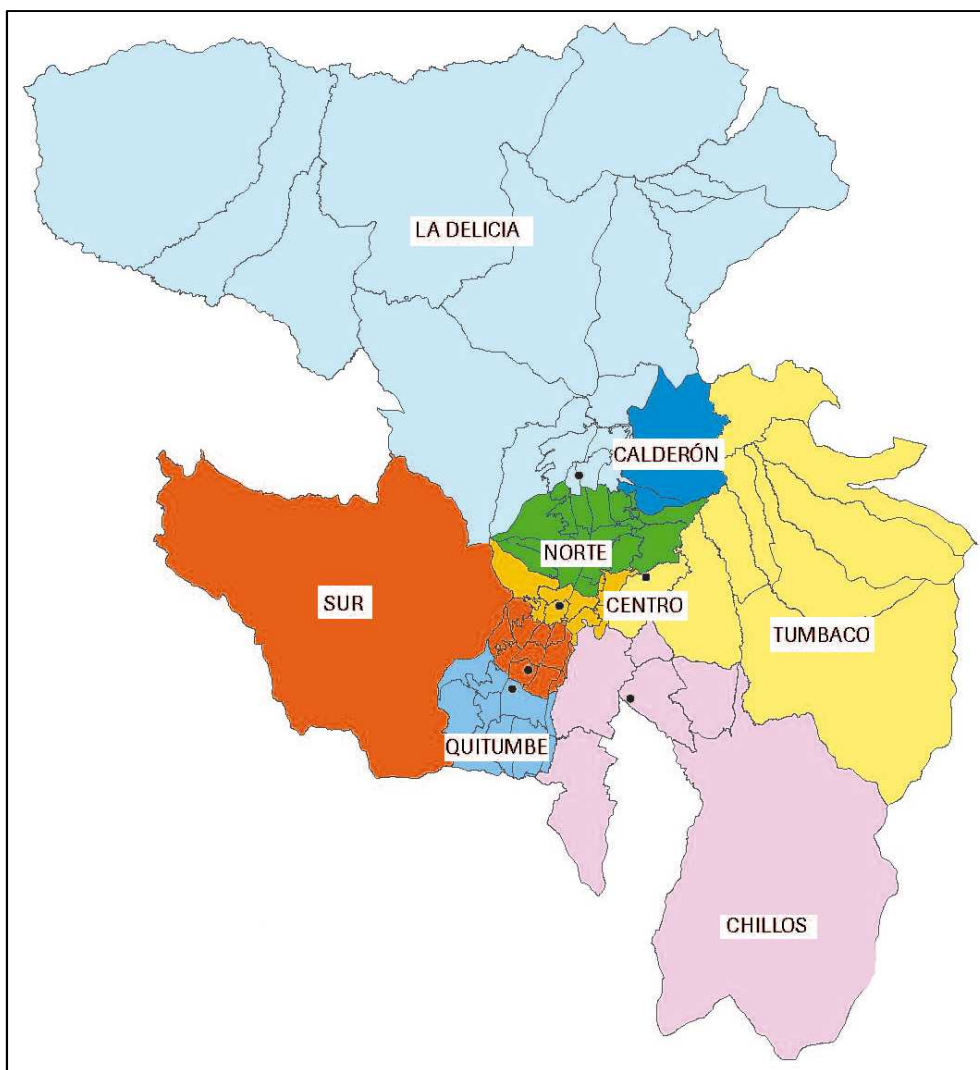


Figura 1. Administraciones Zonales del DMQ (Dirección Metropolitana de Planificación Territorial, 2001)



Figura 2. Parroquias Urbanas del DMQ (López, 2009)

1.2.Amenazas del DMQ

“La amenaza es un fenómeno potencialmente destructor, de origen natural, antrópico o mixto, capaz de afectar a un territorio definido por la presencia y la importancia de los elementos que se ubican en él. Puede caracterizarse por su naturaleza, intensidad, extensión espacial y también una frecuencia.” (D`Ercole & Metzger, 2004)

El Distrito Metropolitano de Quito, por su contexto geodinámico, geomorfológico, hidroclimático y antrópico presenta varias amenazas. Algunas son más probables que otras como las inundaciones y los deslizamientos. Las amenazas volcánicas y sísmicas tienen menor probabilidad de ocurrencia pero igual importancia, pues pueden afectar a una gran parte o a la totalidad del DMQ.

A continuación se describen algunas de las amenazas, la amenaza sísmica se explicará con detalle más adelante.

1.2.1. Amenazas Volcánicas

El DMQ se encuentra prácticamente rodeado de volcanes activos y en algunas ocasiones ha sido afectado directamente por las erupciones de los mismos. El volcán Guagua Pichincha ha tenido 6 erupciones importantes a lo largo de la historia (1560, 1575, 1582, 1660, 1843, 1868). De la misma manera, el volcán Cotopaxi presentó alrededor de 30 erupciones desde la colonización española, afectando a Quito y especialmente a sus valles bajo el efecto de flujos de lodo.(Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2010) Los volcanes Cayambe, Antisana, y Pululahua han tenido erupciones más antiguas, sin embargo siguen siendo una amenaza latente. (D`Ercole & Metzger, 2004)

En conclusión, las amenazas volcánicas más importantes son la caída de ceniza y los flujos de escombros y lodo. Más del 10% de la ciudad está expuesta a dichos flujos, para el caso del volcán Guagua Pichincha entre las parroquias más afectadas estarían Santa Prisca, San Roque, La Magdalena, La Villaflora, La Concepción y Cotocollao; mientras que el volcán Cotopaxi amenaza a los valles de Cumbayá, Tumbaco y Los Chillos. (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2010).

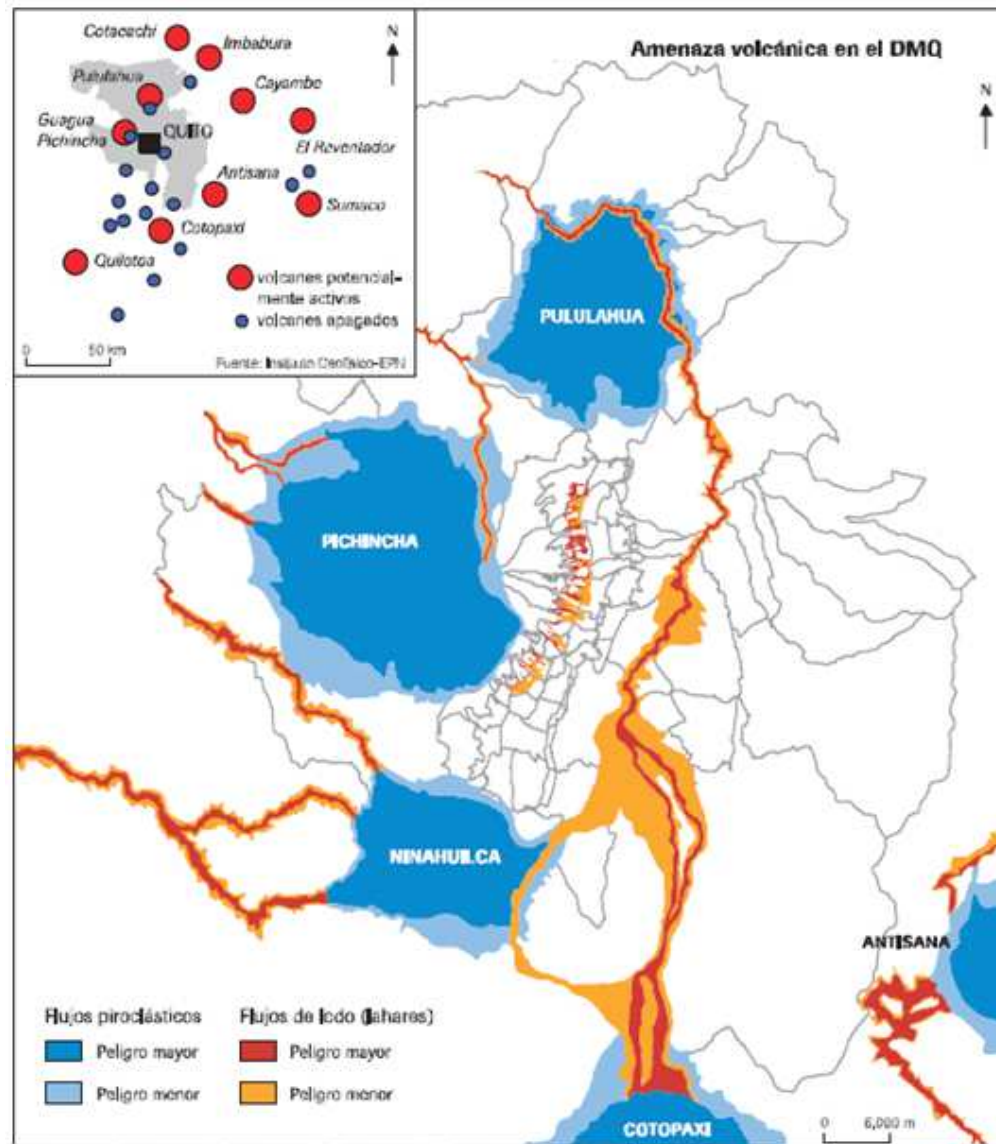


Figura 3. Amenaza volcánica en el DMQ (D'Ercole & Metzger, 2004)

1.2.2. Amenazas Geomorfológicas

“La amenaza geomorfológica se puede definir como la manifestación del desplazamiento gravitacional de masas de terreno desestabilizadas bajo el efecto de fenómenos naturales o de acciones antrópicas” (MATE & METL, 1999).

Es importante mencionar que dentro de los fenómenos naturales que podrían ocasionar importantes movimientos de masa están los sismos y las precipitaciones puesto que reducen la resistencia del suelo al deslizamiento. Adicionalmente, entre las acciones antrópicas que provocan movimientos de masa están la deforestación, minería

subterránea y obras civiles en general (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2010). El área del Distrito Metropolitano de Quito es vulnerable a cualquier tipo de deslizamiento, derrumbe o hundimiento, debido a la naturaleza de los terrenos, la morfología y la erosión de los suelos (D'Ercole & Metzger, 2004). Los mapas que se presentan a continuación fueron tomados del Atlas de Amenazas Naturales en el DMQ y muestran la susceptibilidad a movimientos de masa de cada administración zonal.

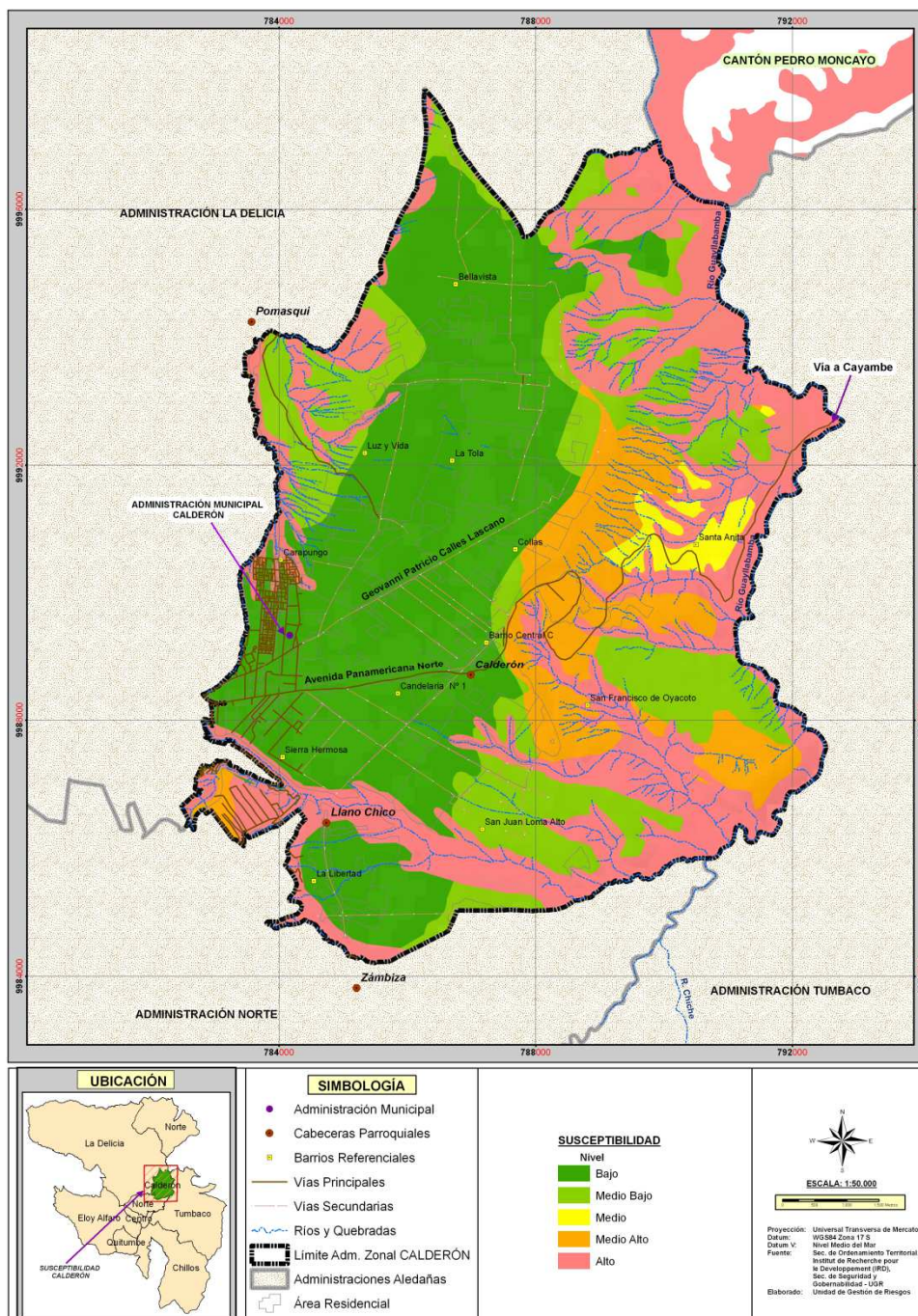


Figura 4. Susceptibilidad a movimientos en masa - Calderón (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2010).

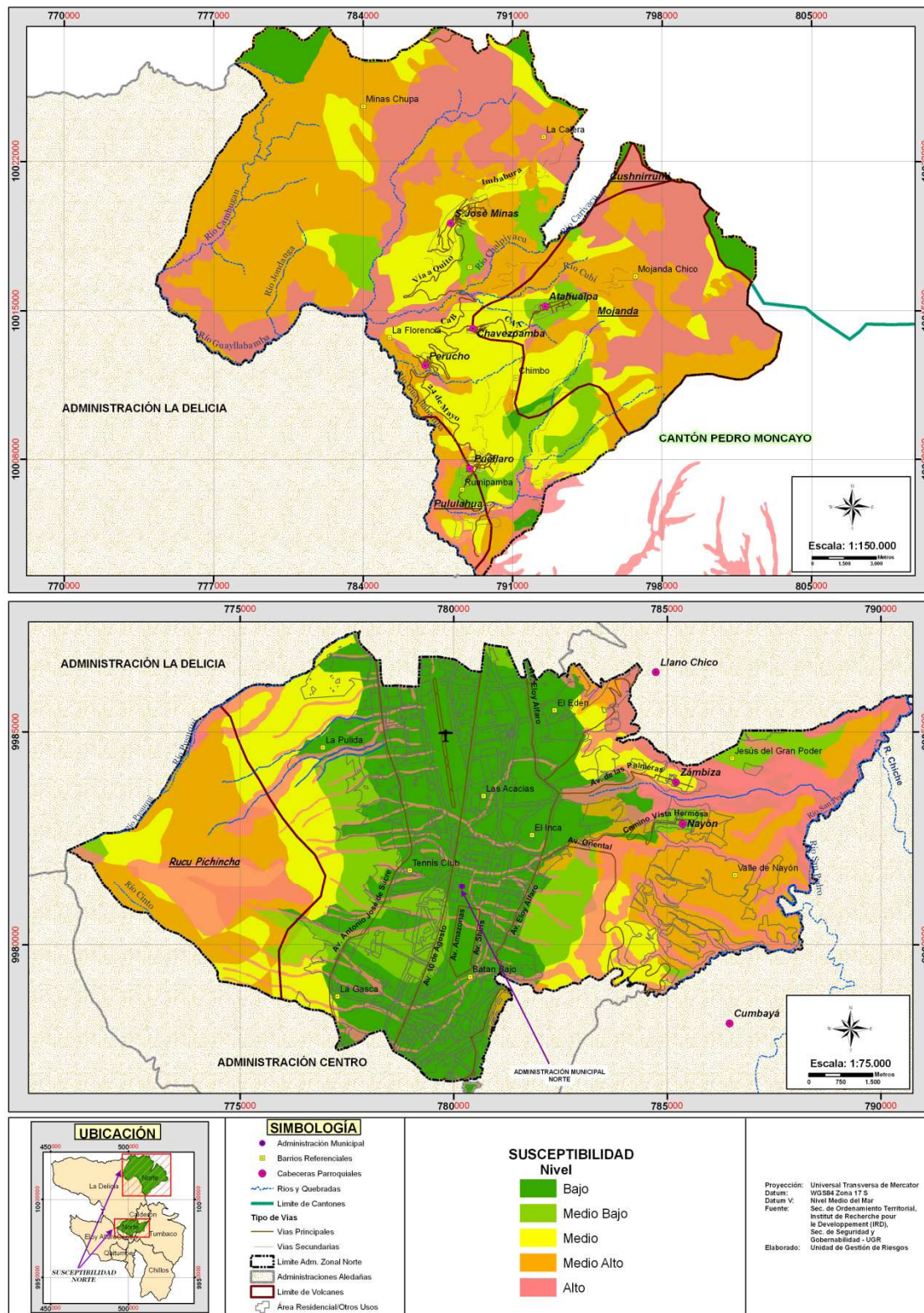


Figura 5. Susceptibilidad a movimientos en masa - Norte (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2010).

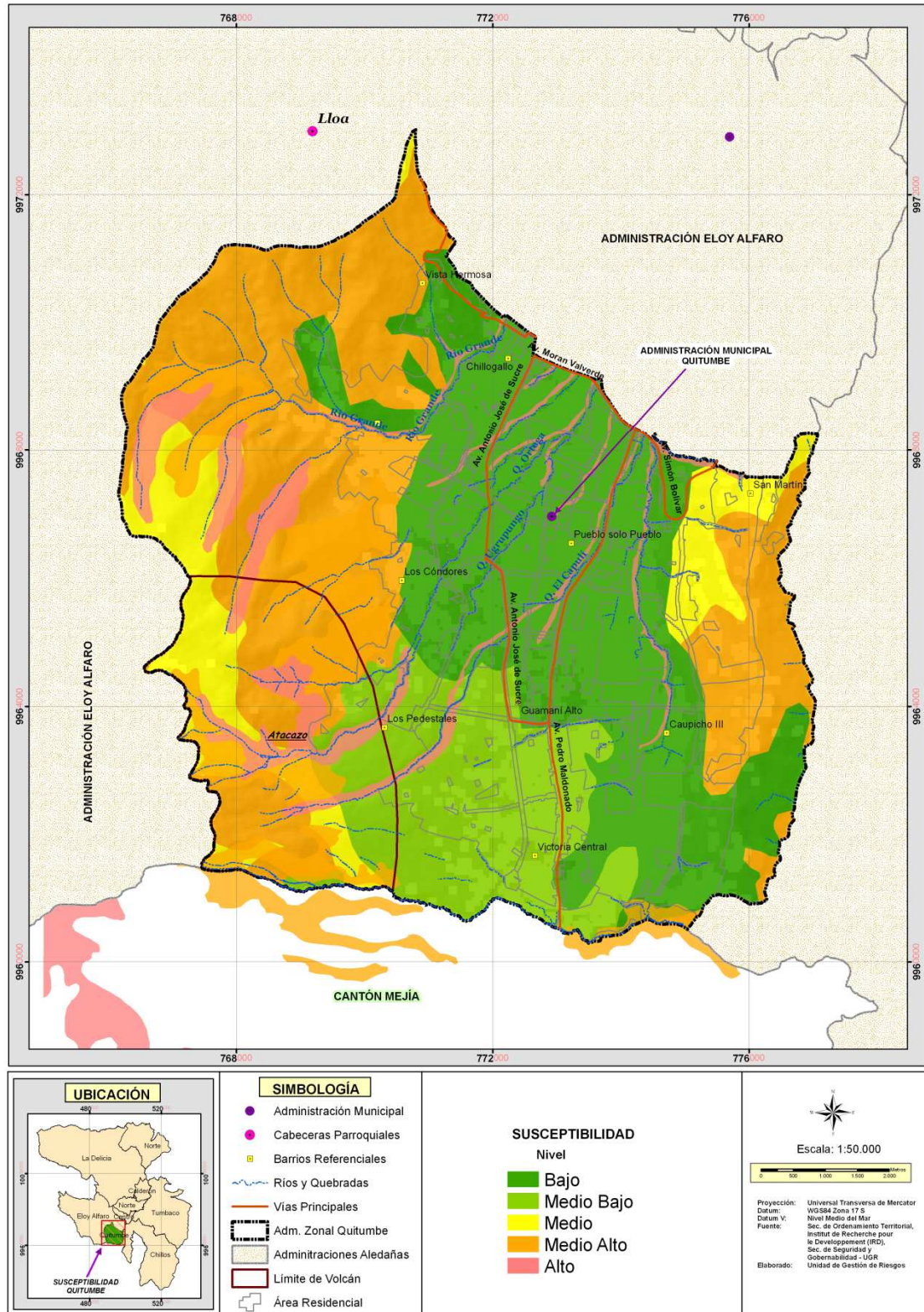


Figura 6. Susceptibilidad a movimientos en masa - Quitumbe (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2010).

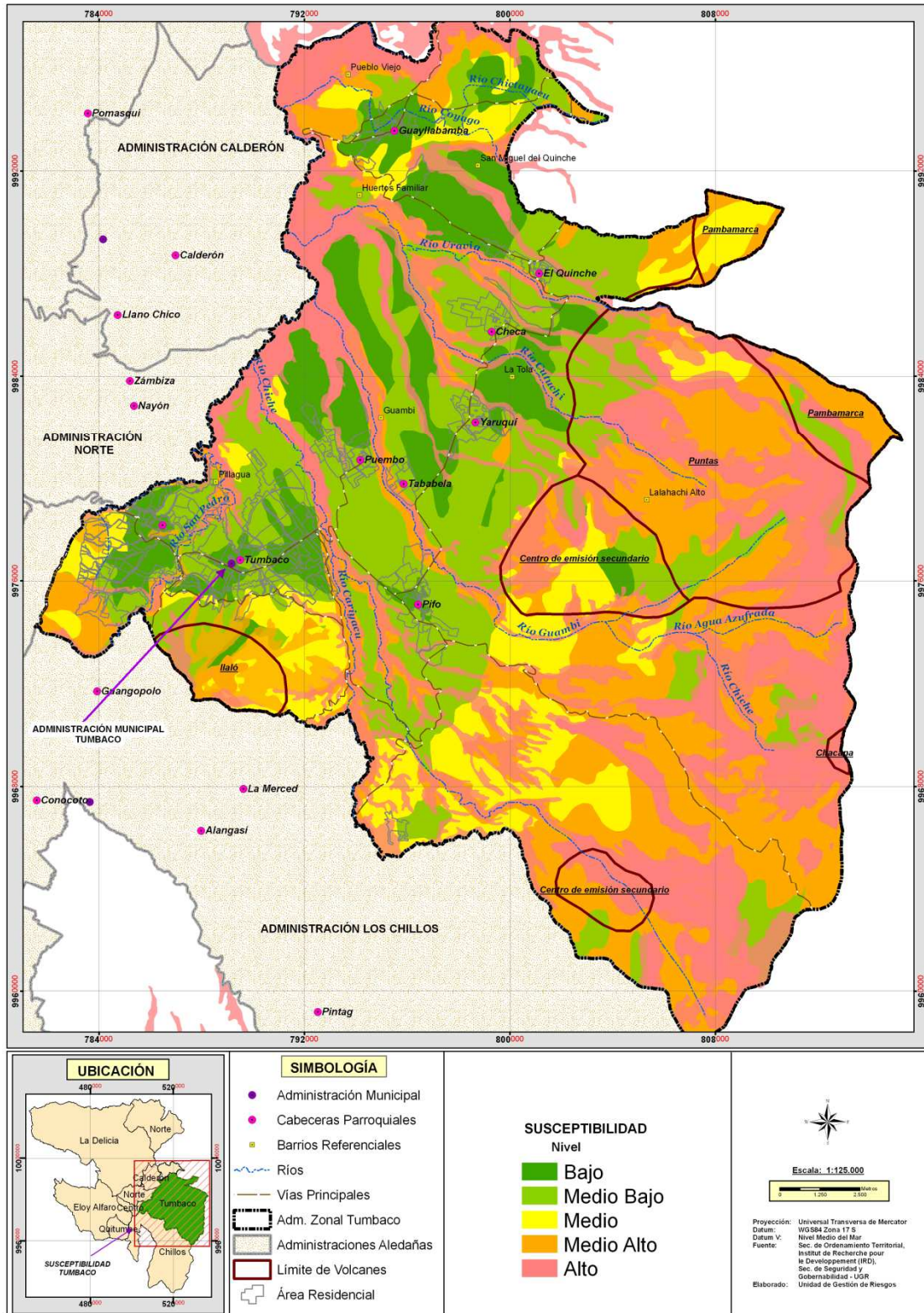


Figura 7. Susceptibilidad a movimientos en masa - Tumbaco (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2010).

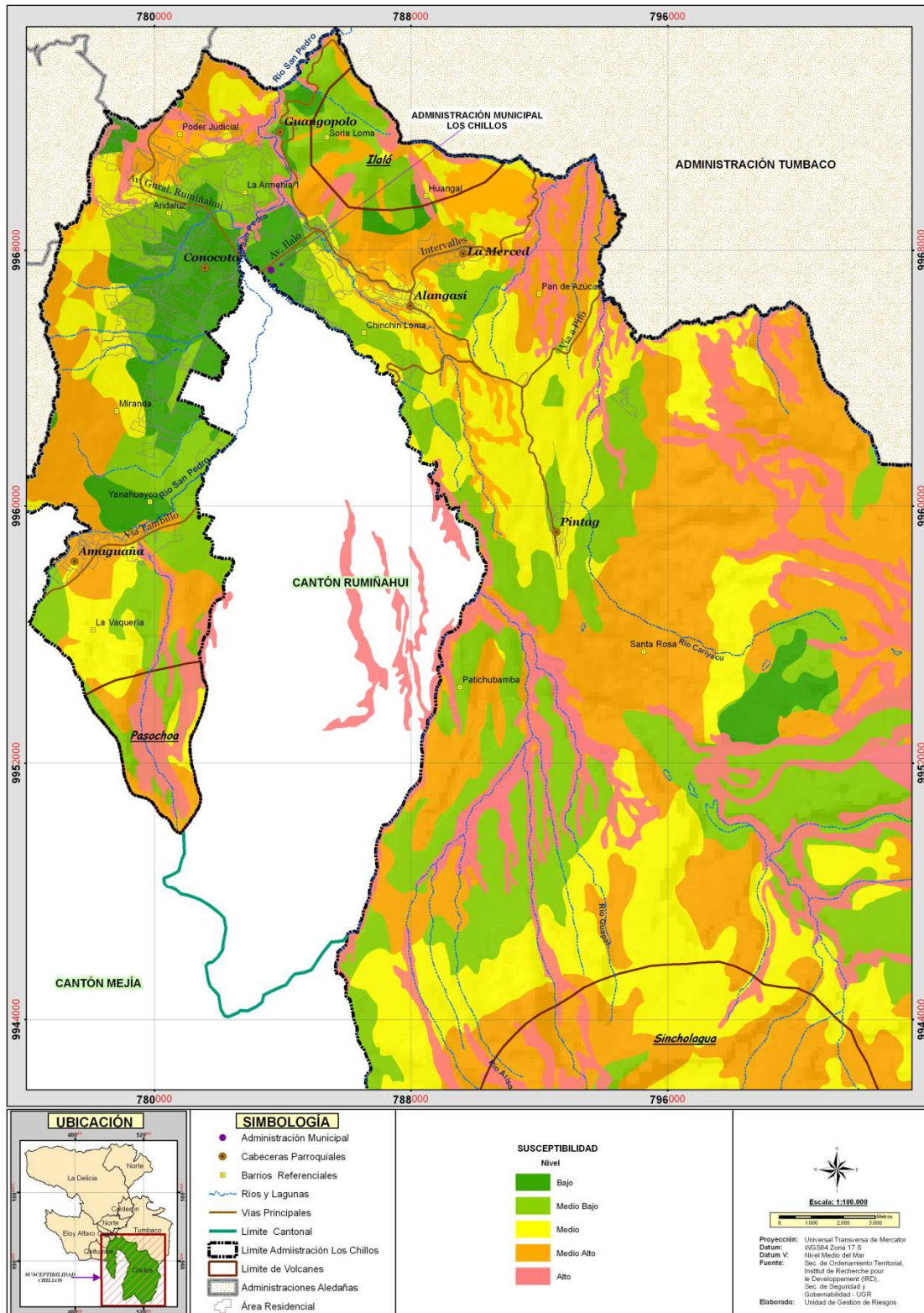


Figura 8. Susceptibilidad a movimientos en masa - Los Chillos (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2010).

1.2.3. Amenaza Hidroclimáticas

La principal amenaza hidroclimática son las lluvias intensas en las partes altas de las cuencas de altas pendientes, bien localizadas, de corta duración y acompañadas de granizo, siendo capaces de producir inundaciones. Estas inundaciones se deben al relleno de las quebradas, a la impermeabilización de los suelos y a la insuficiencia de la red de alcantarillado. Por otro lado, los ríos que fluyen en valles inundables de bajas pendientes pueden provocar inundaciones. Además, el deshielo de las altas cumbres de Los Andes es otra fuente de inundaciones.

Al situarse en la región andina del Ecuador, las inundaciones en Quito presentan picos de lluvia entre marzo y abril, y entre octubre y noviembre.

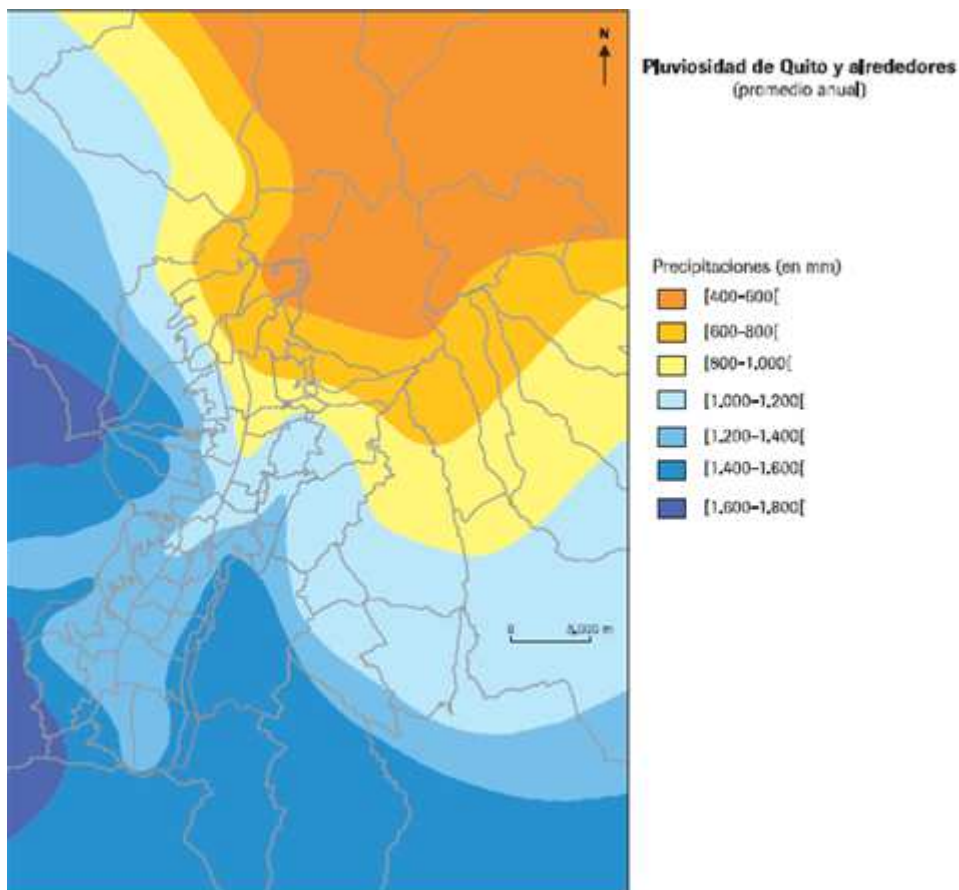


Figura 12. Pluviosidad en Quito y alrededores (D'Ercole & Metzger, 2004)

1.2.4. Amenazas Morfoclimáticas

Como una combinación de las amenazas geomorfológicas e hidroclimáticas, ocurren las amenazas morfoclimáticas que son los “flujos de lodo” o también conocidos como aludes, que a pesar de que no se les brinda tanta importancia, han cobrado vidas a lo largo de los años.



Figura 13. Aluviones en Quito (eventos 1900-1988) (D'Ercole & Metzger, 2004)

1.3.Amenaza Sísmica

“Los sismos son el resultado de la ruptura de las rocas liberando súbitamente energía en un punto determinado de la corteza terrestre. Se transmiten en forma de ondas sísmicas que se propagan alejándose de su punto de origen. Se denomina hipocentro al lugar bajo la tierra donde se genera el sismo, y epicentro su proyección hacia la superficie” (Rivadeneira, y otros, 2007).

El Ecuador es particularmente vulnerable a este tipo de fenómenos debido a su contexto de tectónica activa causada por la subducción de la placa Nazca bajo la placa Sudamericana (Pennington, 1981), lo que ha provocado una recurrencia de terremotos con magnitudes mayores a 7 grados en la escala de Richter, por lo que se le considera una zona de alto peligro sísmico.

Por las condiciones antes expuestas, se han impulsado varios estudios sobre la dinámica, la cinemática, y el potencial sismogénico de las diferentes fallas, así como la recurrencia de los terremotos (Hibsch, y otros, 1996). La sismicidad histórica en Ecuador comienza en 1541; sin embargo, los registros del IGEPN empiezan 1988.

Entre las principales fuentes de sismos que afectarían a la región se encuentran: el fenómeno de subducción antes mencionado y la falla Chingual-Pallatanga, que es la prolongación del sistema de fallamiento Algeciras-Servita-Sibundoy de Colombia con una longitud de al menos 130km (Hibsch, y otros, 1996).

Dentro del país, la ciudad de Quito con su gran cantidad de habitantes, representa una zona importante para el estudio de peligro sísmico. Se han identificado varias estructuras tectónicas de compresión que están activas desde el pleistoceno (Soulas, y otros, 1991), una de las cuales representa una fuente sismogénica de alta peligrosidad para la ciudad generada por la falla inversa de Quito, que se inicia en el sur a la altura de Tambillo, termina en San Antonio de Pichincha al norte y tiene longitud entre 47 y 50 km. Cruza toda la ciudad pero su escarpe no se puede analizar directamente pues se halla cubierto de numerosos deslizamientos (Hibsch, y otros, 1996). Morfológicamente, el sistema de fallas está representado por las colinas de Puengasí, Lumbisí, El Batán y Bellavista. Además es un caso típico de fallas ocultas pues el bloque sobre el cual se encuentra la ciudad se eleva aproximadamente 400 metros con relación al valle

interandino (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2010). Esta falla se ha relacionado con el terremoto de 1755, uno de los más devastadores de la historia con una intensidad entre VIII-IX MSK. En caso de producirse la ruptura completa de la falla, se esperaría un evento de entre 6 y 7 grados Ms (Magnitud de Ondas Superficiales) (Hibsch, y otros, 1996).

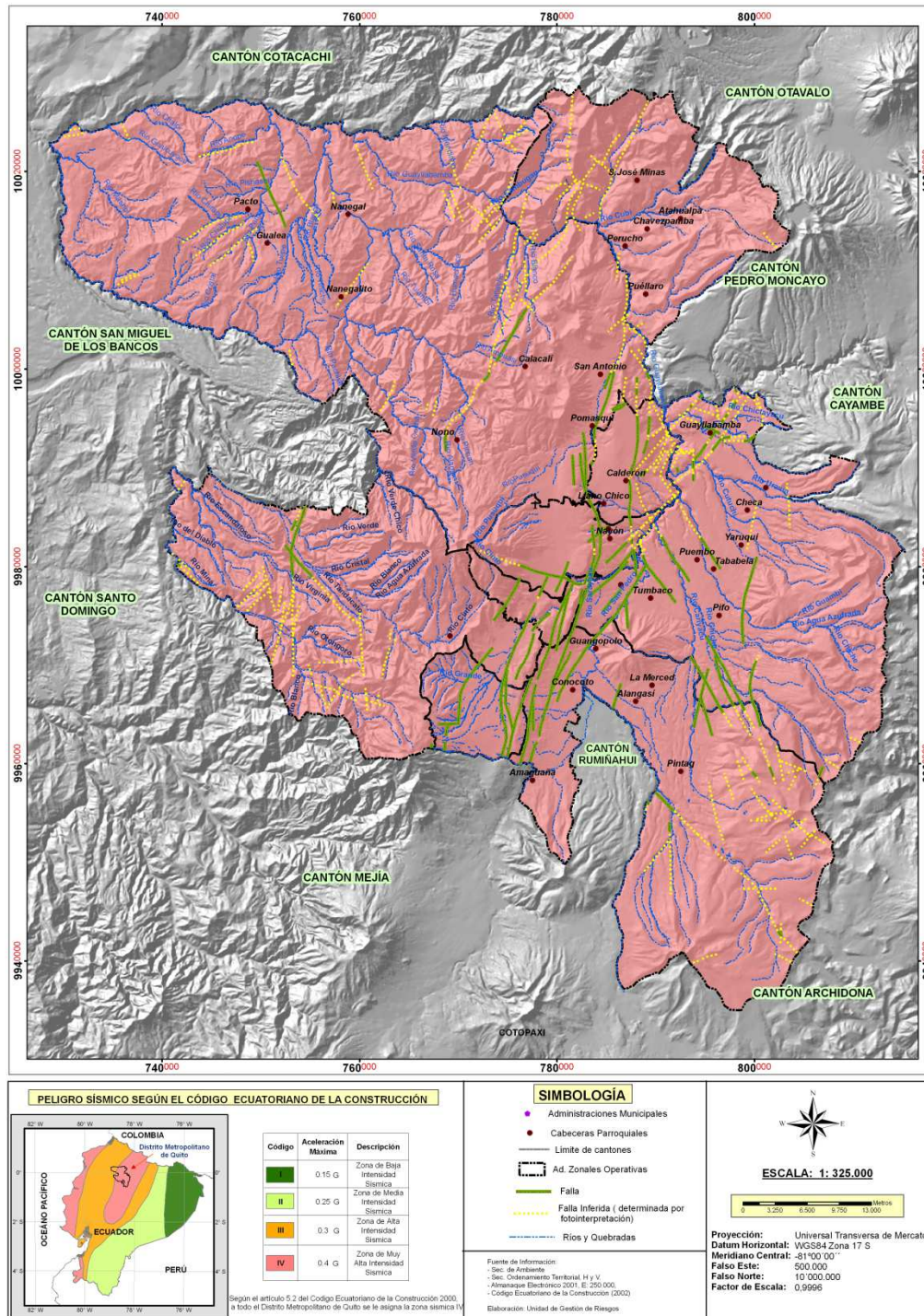


Figura 14. Amenaza sísmica en DMQ. (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2010)

A lo largo de la historia, la ciudad de Quito fue afectada por varios sismos de intensidades diferentes. Algunos de ellos produjeron víctimas fatales y daños a las estructuras existentes. En marzo de 1987, fue la última vez que la ciudad fue víctima de un terremoto, produciendo daños menores. En la tabla 1 se muestra un resumen de los terremotos más importantes producidos en la provincia de Pichincha.

Año	Intensidad MSK
1587	VIII
1736	VIII
1755	VIII
1859	VIII
1914	VIII
1923	VIII
1929	VIII
1938	VIII
1955	VIII

Tabla 1.Sismos importantes en la Provincia de Pichincha (Egred, inédito)

En los últimos 150 años la población ha aumentado más de 50 veces dando como resultado miles de construcciones de mala calidad, muchas de ellas diseñadas sin cumplir el Código Ecuatoriano de la Construcción, y además ubicadas en zonas peligrosas como quebradas que fueron rellenadas sin la debida planificación y laderas muy empinadas. Estas condiciones hacen que cualquier evento sísmico de dimensiones considerables represente una gran amenaza a la población capitalina y podrían amplificar sus efectos.

Un equipo de profesionales, entre sismólogos, geólogos e ingenieros de varias ramas, realizó un estudio para estimar la magnitud y ubicación de futuros terremotos que pudieran afectar a la ciudad de Quito. La intensidad con la que la capital sería sacudida depende de algunos factores, entre estos: la fuerza y localización del sismo y las características del suelo (Escuela Politécnica Nacional, y otros, 1995).

Después de haber analizado las fallas geológicas del país y los terremotos anteriores, los resultados mostraban que, de manera determinista, se podría esperar tres terremotos posibles que afectarían a la mayoría de los ciudadanos: un terremoto de magnitud 8.4 a 200 km al occidente de Quito (A), uno de magnitud 7.3 a 80km al este (B) y uno de magnitud 6.6 a 25km al norte (C) (Figura 15). Para cada uno de ellos, considerando magnitud y ubicación hipocentral se analizó la intensidad de sacudimiento. Para esto se

dividió a Quito en 22 zonas según los tipos de suelo obteniendo los resultados de las figuras 16, 17 y 18.



Figura 15. Ubicación de los terremotos potenciales respecto a Quito A) Costero B) Interior C) Local (Escuela Politécnica Nacional, y otros, 1994)

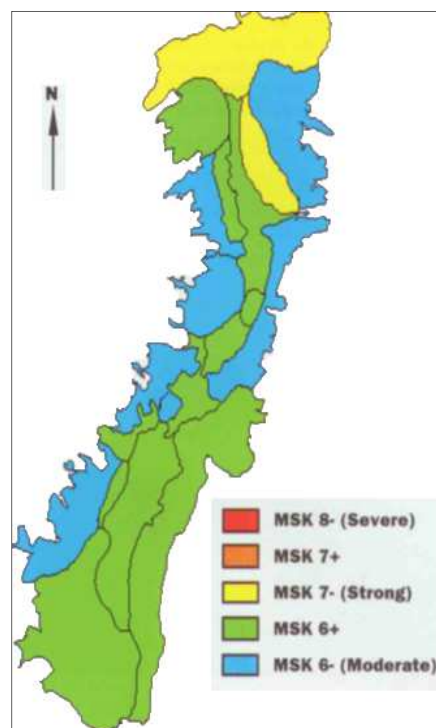


Figura 16. Intensidad de sacudimiento en Quito debido al terremoto A (Escuela Politécnica Nacional, y otros, 1994)

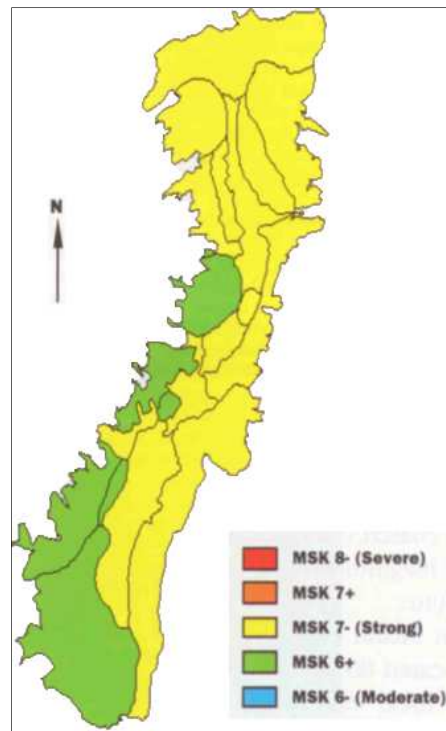


Figura 17. Intensidad de sacudimiento en Quito debido al terremoto B (Escuela Politécnica Nacional, y otros, 1994)

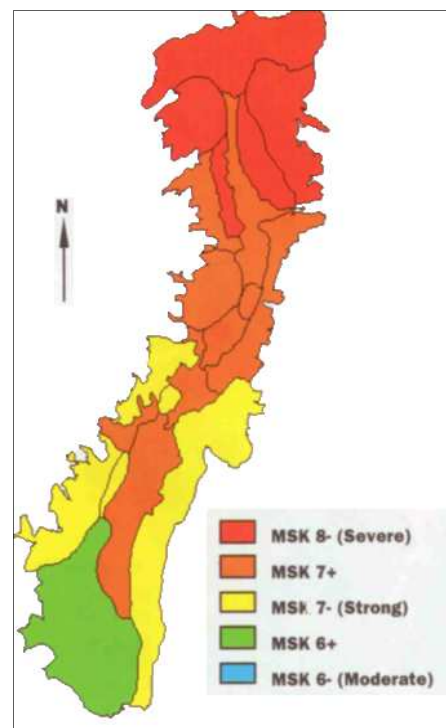


Figura 18. Intensidad de sacudimiento en Quito debido al terremoto C (Escuela Politécnica Nacional, y otros, 1994)

En dichas imágenes se puede ver que a pesar de que el primer terremoto considerado es de mayor magnitud, no produce efectos tan severos como el último de 6.6 debido a su cercanía. Las imágenes se expresan en magnitudes MSK (Escala Medvédev-Sponheuer-Kárník), las mismas que evalúan las intensidades de los terremotos a partir de los daños causados en las construcciones.

El estudio refleja que debido a la localización del sismo y al tipo de suelos de la capital, la intensidad sería aproximadamente VIII en el norte. A pesar de que en el centro y sur de la misma, la intensidad sería menor, es lo suficientemente fuerte como para provocar daños en estructuras civiles de mala calidad.

Una intensidad MSK de VIII podría producir grietas grandes en estructuras de ladrillo, colapsos en estructuras de adobe, rompimiento de ramas de árboles grandes, dificultades de mantenerse en pie y además es percibida por los conductores de vehículos.

La situación antes expuesta, es el resultado de algunas estimaciones. La ciudad de Quito podría sufrir otros terremotos de diferentes magnitudes y ubicación.

Las intensidades que se observaron en los gráficos afectarían significativamente a las estructuras civiles en el DMQ dependiendo de varios factores como son: el tipo de suelo, el tipo de construcción, su edad, entre otros. Para poder tener una idea del daño, primero se identificaron los distintos tipos de construcciones y el lugar en donde se han edificado, así sería más fácil determinar los sectores de mayor vulnerabilidad. De esta manera, se identificaron 5 tipos principales: adobe, mampostería no reforzada, construcción informal, acero y hormigón armado. En el siguiente mapa se muestran la distribución de los mismos, además de la localización de parques y las vías principales.

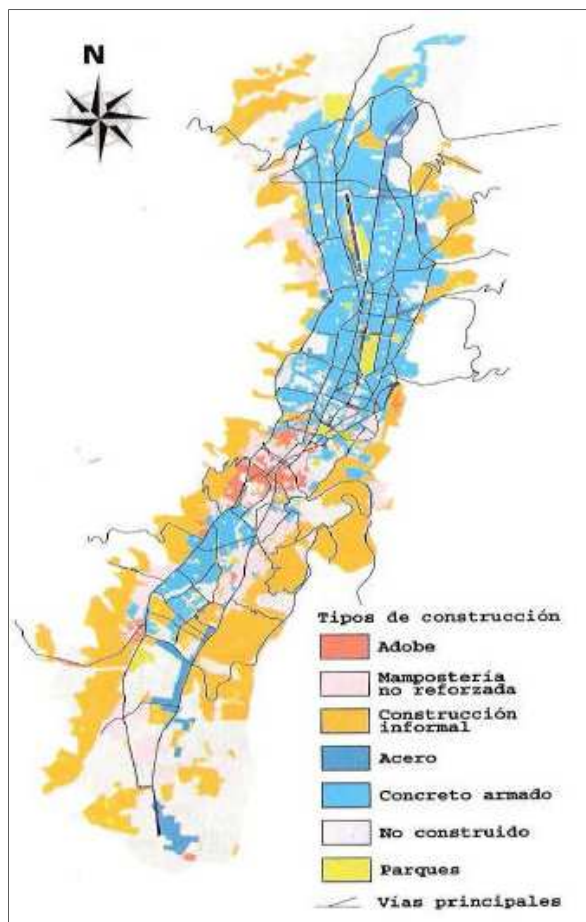


Figura 19. Tipos de construcción en el DMQ (Escuela Politécnica Nacional, y otros, 1995)

Basados en las intensidades señaladas con anterioridad, y en las bases de datos desarrolladas en los Estados Unidos, los especialistas aplicaron datos de América del Sur y Centroamérica para estimar el daño en las edificaciones de la capital, analizando también los efectos por las réplicas del terremoto, los deslizamientos y asentamientos del suelo. La tasa de daño estimada y expuesta en el siguiente mapa es la relación entre el costo del daño producido por el terremoto local (Terremoto C) y el costo de replazar la edificación con precios vigentes.

Es importante mencionar que las tasas de daño se promediaron por zonas y que puede existir una misma tasa en una zona en la cual todas sus edificaciones sufrieron daños leves que en una zona en donde algunas edificaciones se dañaron por completo y otras no sufrieron daños.

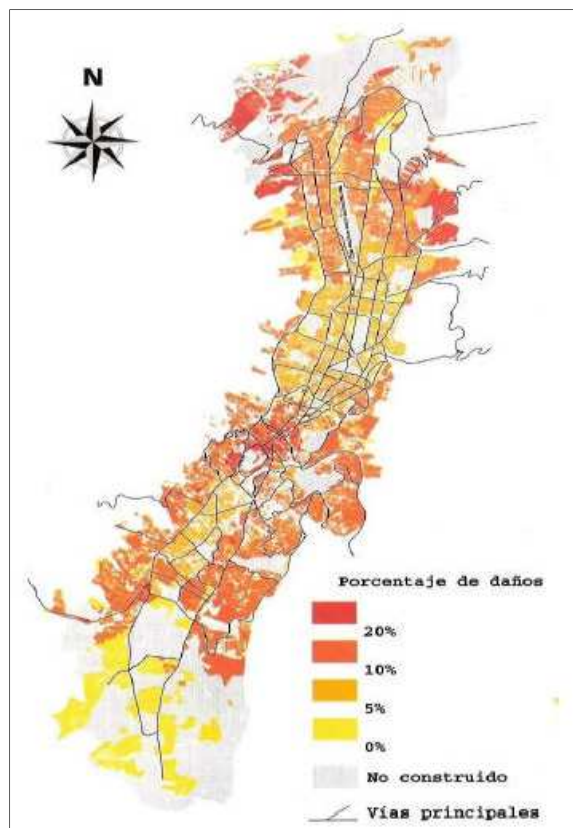


Figura 20. Porcentaje de daños debido a terremoto local C (Escuela Politécnica Nacional, y otros, 1995)

A partir de este mapa se puede notar que el terremoto local sería responsable de muchos daños en el norte de Quito, en donde existen muchas estructuras civiles informales y la sacudida del suelo es mayor que en otros sectores. También se ven bastante afectadas las construcciones ubicadas cerca de las laderas, y sobre todo el centro histórico por la cantidad de construcciones en adobe y mampostería no reforzada. Se observa también que las estructuras de hormigón armado no sufren tanto daño.

Quito, tiene una larga historia sísmica y experimentará terremotos devastadores en un futuro. Es difícil predecir con detalles los efectos del mismo, pero a partir de esta investigación se sabe que estructuras como vías, alcantarillas, sistemas de agua, de energía, construcciones informales, mampostería no reforzada, construcciones de adobe, monumentos culturales, estructuras de hormigón armado (incluyendo algunos edificios nuevos) sufrirán daños considerables.

El Distrito Metropolitano de Quito no está preparado para un evento sísmico fuerte y su vulnerabilidad aumenta cada día. Se debe tomar en cuenta que un próximo terremoto

podría provocar muchas pérdidas de vidas humanas y bienes materiales. Es necesario tomar medidas preventivas para que las construcciones futuras no sufran tanto daño al ser expuestas a un sismo. Es por esto que recientemente se ha creado una nueva norma ecuatoriana de construcción que se adecua de mejor manera a las condiciones de peligro sísmico del país.

Finalmente, debido a la situación crítica de las construcciones existentes y a la vulnerabilidad de la ciudad, queda justificada la importancia de disponer de Áreas de Refugio Temporal en el Distrito Metropolitano de Quito para la gestión del riesgo y de desastre tras un eventual sismo severo.

2. Selección de sitios para futuras Áreas de Refugio Temporal ART

2.1. Definición de zona segura o albergue

Se considera zona segura aquella que permita a un determinado número de personas permanecer temporalmente durante y después de un evento desastroso. Su principal objetivo es garantizar la supervivencia y seguridad de las mismas. Entre las características principales, dicho sitio debería ubicarse en un lugar poco vulnerable, debe ser abierto, amplio, recibir ventilación y luz natural, estar preparado para brindar, atención inmediata y contar con todos los servicios luego del evento tales como: atención médica, agua potable, energía, manejo de desechos, comunicación, espacio y todo lo necesario para que las personas puedan albergarse dignamente (Proyecto Esfera, 2004).

En este sentido, los lugares a escogerse como zonas seguras deben ubicarse estratégicamente, de tal manera que las amenazas sean mínimas. Es por esto que el análisis de la población a atenderse, la cercanía a sitios de abastecimiento de alimentos, cuerpo de bomberos, policía, hospitales, facilidad de acceso, comunicaciones, entre otros, es de vital importancia.

Probablemente, debido a la cantidad de habitantes en el DMQ, el número de áreas de refugio temporal que se requerirían en caso de desastre sea elevado; sin embargo, se ha establecido, para este trabajo y por decisión del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, la definición de 12 zonas seguras con sus respectivas áreas de refugio temporal. Para conseguir este objetivo fue necesario el estudio de varias alternativas localizadas en todo el Distrito Metropolitano Central.

2.2. Levantamiento de información

El primero paso consistió en el levantamiento de información de diferente naturaleza. Se investigaron distintas fuentes para obtener información demográfica, información respecto a la ubicación de instalaciones esenciales (hospitales, centros de salud, escuelas, estaciones de bomberos, cruz roja, policía, fuerzas armadas, etc.), pozos de

agua, sistema vial, principales industrias, etc. También se obtuvo información referente a las amenazas naturales del DMQ.

Toda la información recopilada fue analizada y, como consecuencia, se decidió utilizar los resultados del estudio y depuración de la lista de albergues oficiales propuesta por el Ilustre Municipio del Distrito Metropolitano de Quito y el Ministerio de Bienestar Social, y elaborada a raíz de la reactivación el volcán Guagua Pichincha en 1998-1999 (D'Ercole & Metzger, 2004). Este estudio se basa en la opinión de expertos y considera como refugios temporales a los espacios abiertos tales como: zonas verdes, parques, estadios, escuelas, colegios, casas comunales o barriales, centros de exposiciones, conventos, haciendas, plazas o cualquier otro espacio suficientemente amplio. Se logró perfeccionar esta lista quitando los lugares que se consideraron inadaptados debido a la antigüedad del estudio y añadiendo otros nuevos sugeridos por los especialistas (Figura 21).

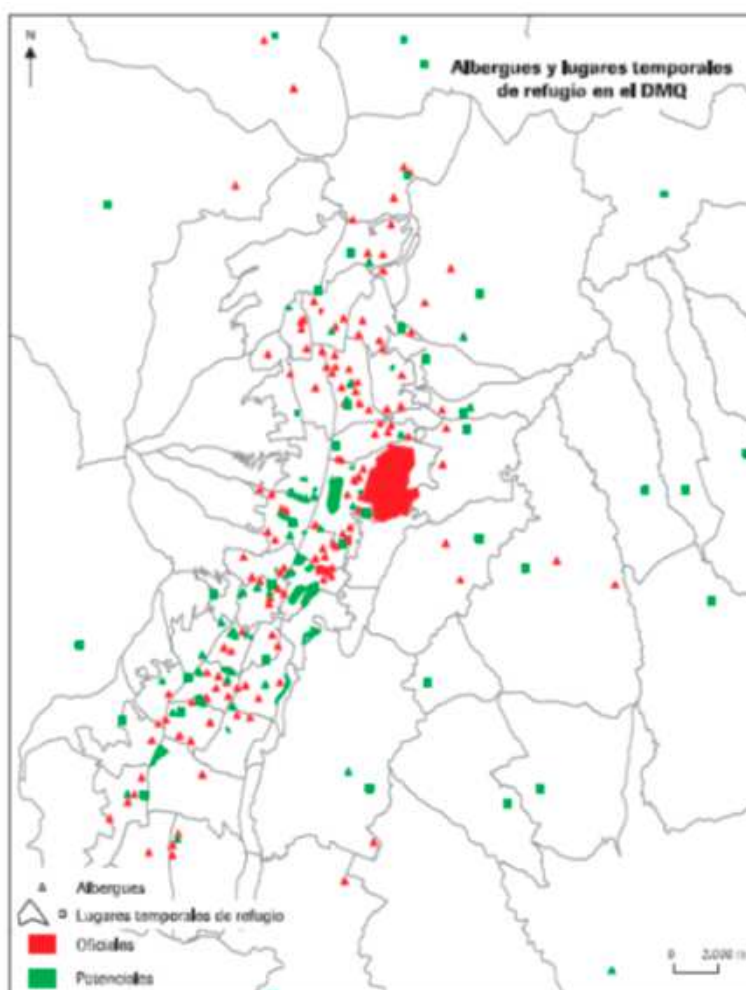


Figura 21. Albergues y lugares temporales de refugio (D'Ercole & Metzger, 2004)

A partir de mapas digitales, se logró identificar cada uno de los sitios para facilitar las visitas de campo que se realizaron posteriormente, ya que estos no se encontraban listados ni geo referenciados. Se ubicaron 192 lugares dentro de 22 zonas constituidas por parroquias urbanas, rurales y grupos de parroquias que están enumeradas con el código de identificación en el listado de la tabla 2. Cada lugar recibió un código de numeración en dependencia a la zona donde se ubica, por ejemplo el Parque La Carolina que se encuentra en El Batán se identificó con el código 8.22.

Código	Zonas
1	Pomasqui
2	Calderón
3	Carcelén
4	Cotacollao
5	La Concepción
6	El Inca
7	Santa Prisca
8	El Batán
9	Nayón
10	Cumbayá
11	Tumbaco
12	San Blas
13	Chimbacalle
14	San Roque
15	La Magdalena
16	Villaflora
17	Eloy Alfaro
18	Chillogallo
19	Conocoto
20	Las Cuadras
21	Guamaní
22	El Beaterio

Tabla 2. Código de zonas

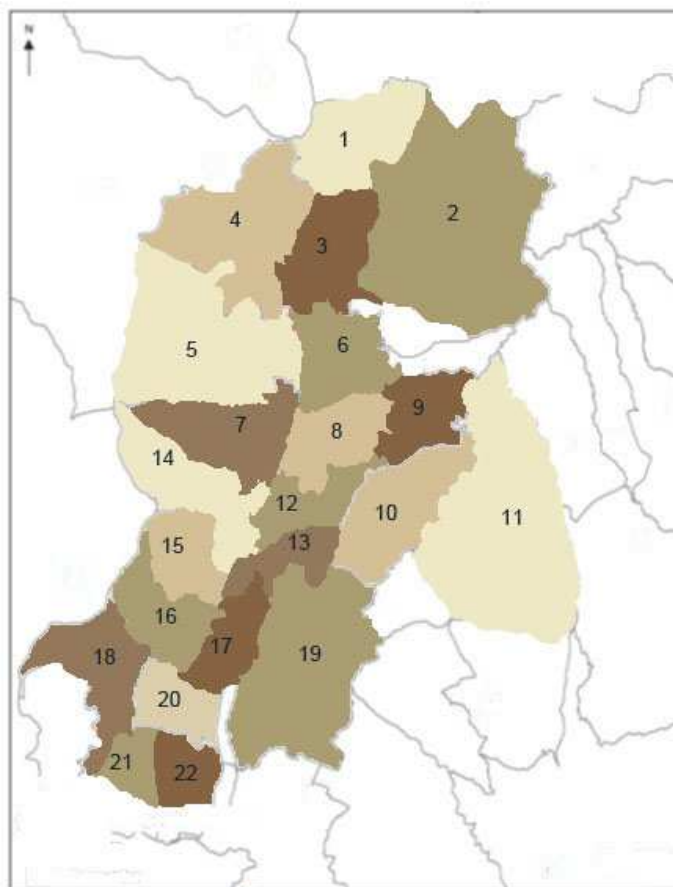


Figura 22. Mapa de códigos por zonas

Con el objetivo de evaluar la idoneidad de los 192 lugares identificados en el DMQ, se elaboró un cuestionario de campo que fue completado luego de una visita a cada uno ellos. Este cuestionario contiene información básica referente al tamaño del sitio, condiciones físicas del terreno, tipo de servicios básicos disponibles, cercanía a lugares de atención inmediata, bomberos, suministro de alimentos, medicamentos, existencia de posibles construcciones en el sitio que impidan la construcción de un ART, facilidad de acceso a los lugares, nivel y densidad de la población que vive en los alrededores, existencia de industrias, presencia de amenazas específicas, quebradas cercanas, etc. Además, la visita de estos lugares permitió detectar otras posibles opciones. Los cuestionarios elaborados para el trabajo de campo se encuentran en el anexo 1.

2.3. Matriz de Selección

Para categorizar y clasificar los 192 lugares se creó una matriz de selección dispuesta de tal manera que, después de analizar 10 parámetros fundamentales obtenidos del cuestionario de campo, muestre las mejores opciones para la creación de un ART. A cada parámetro se le asignó un puntaje numérico de 0 a 3, siendo 3 el más favorable (Tabla 3). Adicionalmente, se observó la necesidad de considerar el nivel de importancia de cada uno de ellos, por lo que se creó un sistema de ponderación que permite asignarle un mayor valor a aquellos que se pensaron más importantes (Tabla 4). A continuación se describen cada uno de los parámetros utilizados en la matriz de selección:

Espacio: Se consideraron favorables aquellos sitios que no disponen de construcciones civiles, o aquellos en los que las construcciones pre-existentes no representan un obstáculo para la construcción de un ART.

Tamaño: El tamaño mínimo requerido fue de una hectárea, sitios con áreas menores no se consideraron una opción favorable pues no sería posible albergar a una cantidad significativa de personas.

Acceso: Se consideraron favorables aquellos sitios a los que es fácil acceder por vías principales. En caso de emergencia, las vías secundarias son las más vulnerables.

Cercanía a instalaciones esenciales: Se consideraron instalaciones esenciales a hospitales, centros de salud, cuerpo de bomberos, policía, fuerzas armadas, entre otros. Dentro un radio promedio de 10 cuadras, se determinaron favorables aquellos sitios que estaban cerca de al menos 4 de ellas.

Cercanía a instalaciones peligrosas: Se consideraron instalaciones peligrosas a gasolineras, depósitos de gas, fábricas, instalaciones industriales de productos de manejo delicado, subestaciones eléctricas, redes de alta tensión, entre otros. Dentro un radio promedio de 10 cuadras, se determinaron favorables aquellos sitios que tengan muy pocos o ninguno de ellos cerca.

Entorno económico: Es muy probable que los sitios con un entorno socio-económico medio bajo y bajo sean los más necesitados después de un terremoto debido a la calidad de las construcciones, por lo que recibieron un puntaje más alto.

Cercanía a zonas peligrosas: Los accidentes geográficos que representan una amenaza potencial para el lugar se consideran una zona peligrosa. Un sitio con ausencia de los mismos en sus cercanías recibió una mayor calificación.

Cercanía a edificios altos: Los edificios altos representan una alta concentración de personas en riesgo por lo que si un sitio tiene varios de ellos en sus alrededores recibió una calificación más alta.

Densidad de población: Los lugares con una elevada densidad de población tienen mayor prioridad, pues son zonas que requerirán de atención inmediata luego de un desastre.

Cercanía a pozos de agua: La ciudad dispone de algunos pozos de agua y la cercanía a uno de estos se considera favorable ya que pueden ayudar a resolver la provisión del líquido vital en circunstancias en las cuales las líneas de abastecimiento de la ciudad hayan sido interrumpidas luego de un sismo.

ESPACIO		ENTORNO ECONOMICO	
Área Libre	3	Bajo y Medio bajo	3
Parcialmente Construido	2	Medio	2
Totalmente Construido	1	Medio alto	1
N/A	0	Alto	0
TAMAÑO		CERCANIA A ZONAS PELIGROSAS	
>1 Ha.	3	Estable, Riesgo Bajo	3
Entre 0.5 Ha y 1 Ha.	2	Riesgo Medio	2
Entre 0.1 Ha y 0.5 Ha.	1	Riesgo Alto	1
Entre 0 Ha y 0.1 Ha.	0	N/A	0
ACCESO		CERCANIA A EDIFICIOS ALTOS	
Acceso por Vía principal	3	Entorno >3 Pisos	3
Acceso por Vía secundaria	2	Entorno de 3 Pisos	2
Difícil Acceso	1	Entorno de 2 Pisos	1
No accesible	0	Entorno de 1 Piso	0
CERCANIA A INST. ESENCIALES		DENSIDAD DE POBLACION	
Cercano a 6 instalaciones	3	Alta	3
Cercano a 3 instalaciones	2	Media	2
Cercano a 1 instalación	1	Baja y Media baja	1
Ninguna Instalación Cerca	0	No Urbana	0
CERCANIA A INST. PELIGROSAS		CERCANIA A POZOS DE AGUA	
Ninguna Instalación Cerca	3	Cerca de 1 pozo	3
1 Instalación Cerca	2	Medianamente cerca de 1 pozo	2
3 Instalaciones cerca	1	Lejos de 1 pozo	1
> 3 Instalaciones Cerca	0	No hay pozos cerca	0

Tabla 3. Escala de calificaciones por parámetro.

Parámetro	Factor de Ponderación
Espacio	3
Tamaño	3
Acceso	2
Cercanía a instalaciones esenciales	1
Cercanía a instalaciones peligrosas	2
Entorno económico	2
Cercanía a zonas de riesgo	3
Cercanía a edificios altos	1
Densidad de población	3
Cercanía a pozos de agua	2

Tabla 4. Factores de ponderación por parámetro

Finalmente, después de haber incorporado toda esta información en la matriz de selección, se obtuvieron los sitios con mayor puntuación, en la tabla 5 se muestran los 40 mejores.

COD	ESPACIO	TAMAÑO	ACCESO	CERCANIA A INSTALACIONES ESENCIALES	CERCANIA A INSTALACIONES PELIGROSAS	ENTORNO ECONOMICO	CERCANIA A ZONAS PELIGROSAS	CERCANIA A EDIFICIOS ALTOS	DENSIDAD DE POBLACION	CERCANIA A POZOS DE AGUA	TOTAL
13.1	9	9	6	0	6	6	9	1	6	6	67
5.02	9	9	6	2	6	4	9	0	6	6	66
12.1	9	9	4	2	6	6	9	2	6	4	66
6.11	9	9	4	2	6	6	6	2	9	6	65
8.08	9	9	4	1	6	4	9	2	6	6	65
17.7	9	9	6	2	6	4	9	2	9	0	65
16.9	9	6	6	1	6	4	9	1	9	2	62
6.9	6	9	4	2	4	4	6	2	9	6	61
6.21	9	9	4	2	6	2	6	1	9	4	61
16.3	9	6	4	2	6	4	9	1	9	2	61
8.4	9	6	4	2	6	4	9	2	6	6	60
12.7	9	9	6	3	6	4	6	0	6	2	60
3.11	6	9	6	2	4	4	6	1	6	6	59
7.3	9	9	4	2	4	2	9	2	3	6	59
8.2	9	9	4	1	6	6	6	2	6	4	59
8.24	9	9	4	2	2	4	9	1	6	4	59
12.5	9	9	6	2	4	6	6	0	6	2	59
16.6	9	3	4	2	6	4	9	2	9	2	59
17.9	9	6	4	1	6	4	9	2	9	0	59
1.2	9	9	6	1	6	4	9	2	3	0	58
6.14	6	9	4	2	4	6	6	0	9	6	58
8.22	9	9	6	2	6	2	6	0	3	6	58
17.1	6	9	6	1	4	4	9	1	9	0	58
20.1	6	9	6	3	6	4	9	0	6	0	58
3.7	3	9	6	3	4	4	9	1	9	0	57
6.8	6	6	4	2	6	4	6	2	9	6	57
14.3	9	9	4	2	4	6	9	2	6	0	57
1.1	6	9	6	2	4	4	3	1	6	6	56
6.4	6	6	4	2	6	4	6	1	9	6	56
6.5	6	9	4	2	4	4	6	0	9	6	56
12.6	9	9	6	3	4	2	6	0	6	2	56
12.13	9	9	6	2	4	4	6	0	6	4	56
19.2	9	9	4	2	6	6	6	2	3	0	56
2.1	9	9	6	1	4	6	9	2	3	0	55
4.1	6	9	6	2	6	0	9	1	3	4	55
6.1	6	6	4	2	6	4	6	2	9	4	55
7.1	6	9	4	3	2	4	9	2	3	4	55
8.5	3	9	6	3	6	4	9	0	6	6	55
8.7	6	9	6	2	6	4	9	0	3	4	55
13.3	6	9	6	3	6	6	9	1	9	0	55

Tabla 5. Matriz de selección y calificaciones finales de los 40 lugares mejor puntuados

2.4.Filtros de Selección

2.4.1. Segundo Filtro

Después de este primer filtro de selección, se realizó una segunda visita de campo y luego de efectuar un análisis de factibilidad de cada uno de los sitios, se descartaron aquellos en los que la presencia de alguna construcción podría impedir el despliegue de un ART, o aquellos que sean propiedad privada. Se obtuvo un grupo de 30 sitios posibles, de los cuales 28 provienen de la matriz y 2 fueron añadidos por razones de distribución, para proveer de un área de refugio de temporal a las parroquias de Calderón y Chillogallo. Estos lugares fueron geo-referenciados y su detalle se muestra a continuación.

Código	Área de refugio temporal
2.1	Parque Calderón
2.03	Bodegas del Ministerio de Educación
3.7	Equipamiento Comunal Carcelén
3.11	Feria Libre de la Ofelia
5.2	Parque Inglés
6.1	Espacio Aeropuerto
6.14	Parque Barrio la Luz
6.11	Parque la Victoria
6.21	Parque Matovelle
7.1	Liga Barrial Iñaquito
7.6	Parque de la Mujer
7.7	Parque Rumipamba
7.11	Estadio de las Casas
8.22	Parque la Carolina
8.8	Parque el Heraldo
8.24	Parque Metropolitano
12.1	Itchimbía
12.6	Parque el Ejido
13.1	Planta de tratamiento Puengasí
13.3	Tanques de Agua
15.12	Canchas Ligas Independiente La Magdalena
15.13	Canchas IESFUT
15.14	Parque Cooperativa 14 de Enero
16.3	Parque Ecológico de Solanda
16.6	Parque del niño y la mujer
16.12	Parque Chino
17.9	Canchas Liga Barrial Santa Anita
18.4	Parque de Chillogallo
19.2	Parque la Moya
20.1	Fundeporte

Tabla 6. Sitios pre-seleccionados luego del segundo filtro

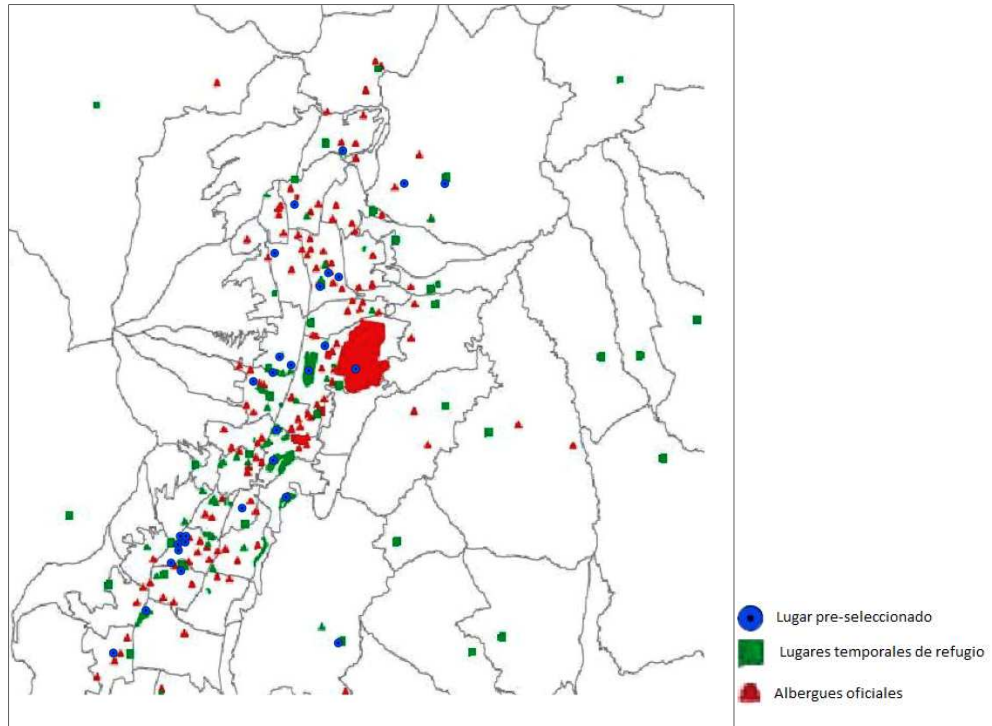


Figura 23. Sitios pre-seleccionados dentro del DMQ central

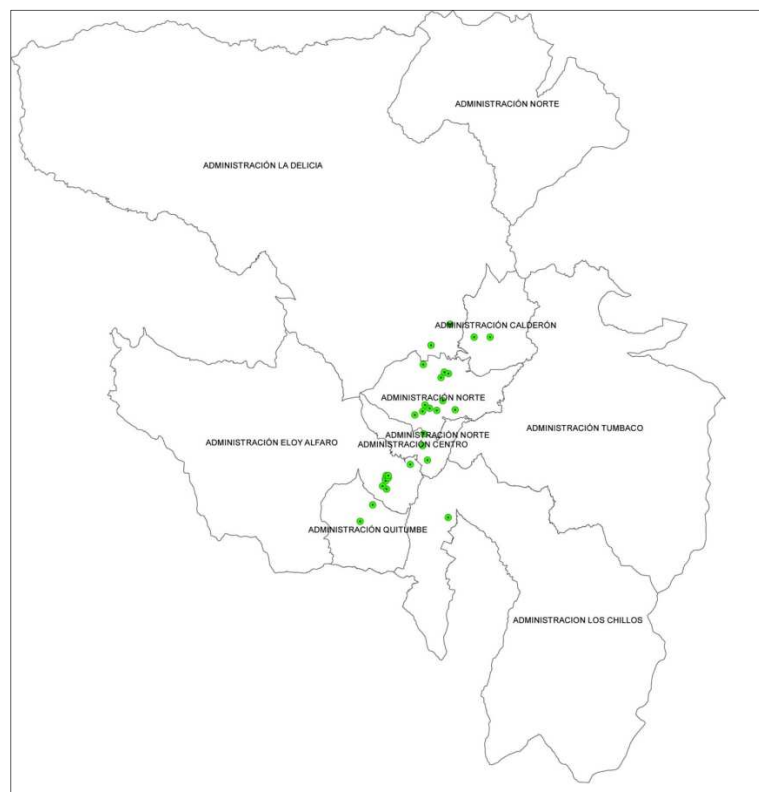


Figura 24. Sitios pre-seleccionado dentro de las administraciones zonales

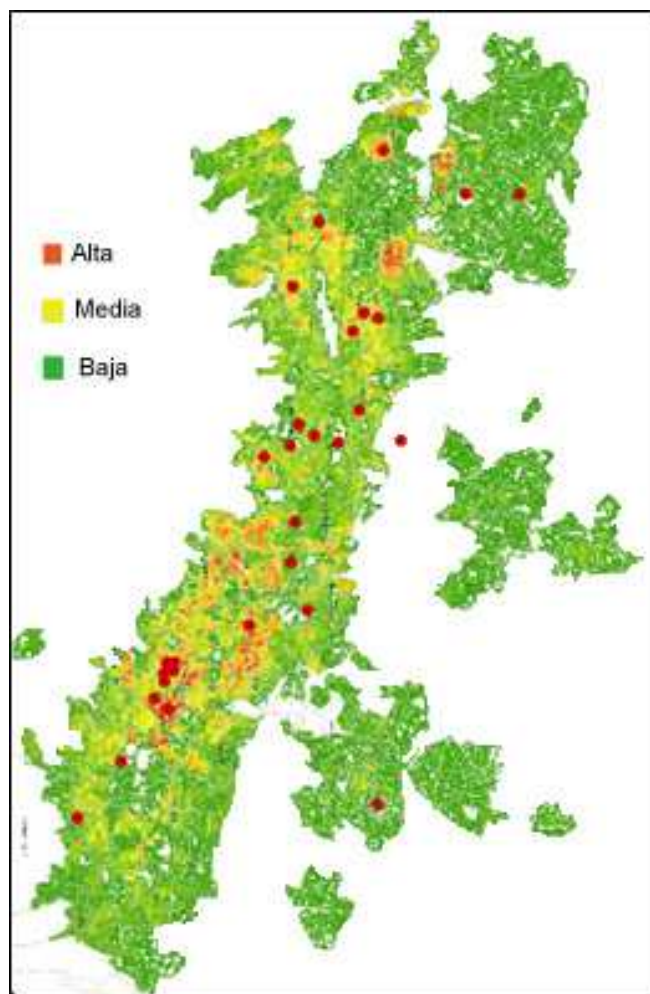


Figura 25. Lugares escogidos y densidad poblacional de Quito

2.4.2. Tercer Filtro

Se realizó un tercer filtro con este grupo de 30 lugares considerando la función que cumplen actualmente dentro de su entorno. Se desecharon los sitios que cumplían funciones específicas, difíciles de reubicar, como es el caso del Parque Arqueológico Rumipamba y las distintas canchas y ligas barriales, dando como resultado un total de 18 (Tabla 7).

Código	Área de refugio temporal
2.03	Bodegas del Ministerio de Educación
3.07	Equipamiento Comunal Carcelén
5.02	Parque Inglés
6.11	Parque la Victoria
6.14	Parque Barrio la Luz
6.21	Parque Matovelle
7.01	Liga Barrial Ñaquito
8.02	Parque la Carolina
8.24	Parque Metropolitano
12.01	Itchimbía
12.06	Parque el Ejido
13.01	Planta de tratamiento Puengasí
15.14	Parque Cooperativa 14 de Enero
16.03	Parque Ecológico de Solanda
16.12	Parque Chino
18.04	Parque de Chillogallo
19.02	Parque la Moya
20.01	Fundeporte

Tabla 7. 18 sitios pre-seleccionados luego del tercer filtro

2.4.3. Cuarto Filtro

Fue indispensable realizar un análisis de riesgos con estos 18 lugares para poder seleccionar las 12 zonas seguras del DMQ. Para esto se creó una matriz que incluyó como parámetros: amenaza sísmica y volcánica, susceptibilidad a inundaciones, movimientos en masa y cercanía a quebradas. Los primeros cuatro se obtuvieron del Atlas de Amenazas Naturales en el DMQ, y el último de un mapa geo referenciado proporcionado por el Municipio Metropolitano de Quito. Los parámetros se calificaron como se muestra en la tabla 8.

Amenaza Sísmica	
No hay falla cerca	3
Medianamente cerca a una falla	2
Cerca a una falla	1
N/A	0
Amenaza Volcánica	
Sin Peligro	3
Peligro Menor	2
Peligro Mayor	1
N/A	0
Susceptibilidad a Inundaciones	
No Susceptible	3
Susceptible	2
N/A	1
N/A	0
Susceptibilidad a Movimientos en Masa	
Baja	3
Media Baja	2
Media, Media Alta	1
Alta	0
Quebradas	
No hay quebrada cerca	3
Medianamente cerca a una quebrada	2
Cerca a una quebrada	1
N/A	0

Tabla 8. Parámetros de análisis de amenazas naturales y ponderación de variables.

Adicionalmente se realizó una ponderación para asignarle un valor distinto de importancia a cada uno de los parámetros (Tabla 9). Este análisis se basó en los mapas publicados en el Atlas de Amenazas de Quito y el mapa del Escenario Sísmico de Quito publicado por la EPN y el Municipio de Quito.

Parámetro	Factor de Ponderación
Amenaza sísmica	3
Amenaza volcánica	1
Susceptibilidad a inundaciones	2
Susceptibilidad a movimientos de masa	3
Quebradas Actuales	2

Tabla 9. Factores de ponderación entre variables de amenazas naturales.

Los criterios que se utilizaron para esta ponderación fueron los siguientes:

Amenaza sísmica: Se asignó un factor de 3 pues el objeto de los ARTS está directamente relacionado con este parámetro. Se considera *medianamente cerca a una falla* entre 100 y 200 metros, y *cerca a una falla* cuando está a menos de 100 metros.

Amenaza volcánica: Se asignó un factor de 1 debido a la baja probabilidad de que se presenten simultáneamente un sismo y una erupción volcánica.

Susceptibilidad a inundaciones: Se asignó un factor de 2 por la alta recurrencia de inundaciones en la ciudad.

Susceptibilidad a movimientos en masa: Se asignó un factor de 3 debido a que la probabilidad de que ocurran después de un sismo es muy alta.

Cercanía a quebradas actuales: fue añadida pues es importante conocer donde pueden existir rellenos o deslizamientos que en caso de un sismo podrían ser peligrosos. Se considera *medianamente cerca a una quebrada* entre 100 y 200 metros, y *cerca a una quebrada* cuando está a menos de 100 metros.

2.4.4. Quinto Filtro

Para realizar un siguiente filtro, estos 18 lugares fueron sobrepuestos en mapas de quebradas antiguas y existentes en Quito (Figura 26), para identificar los rellenos, y en el mapa de la figura 20 (posibles daños con respecto al terremoto local C) para descartar los más vulnerables (Figura 27).

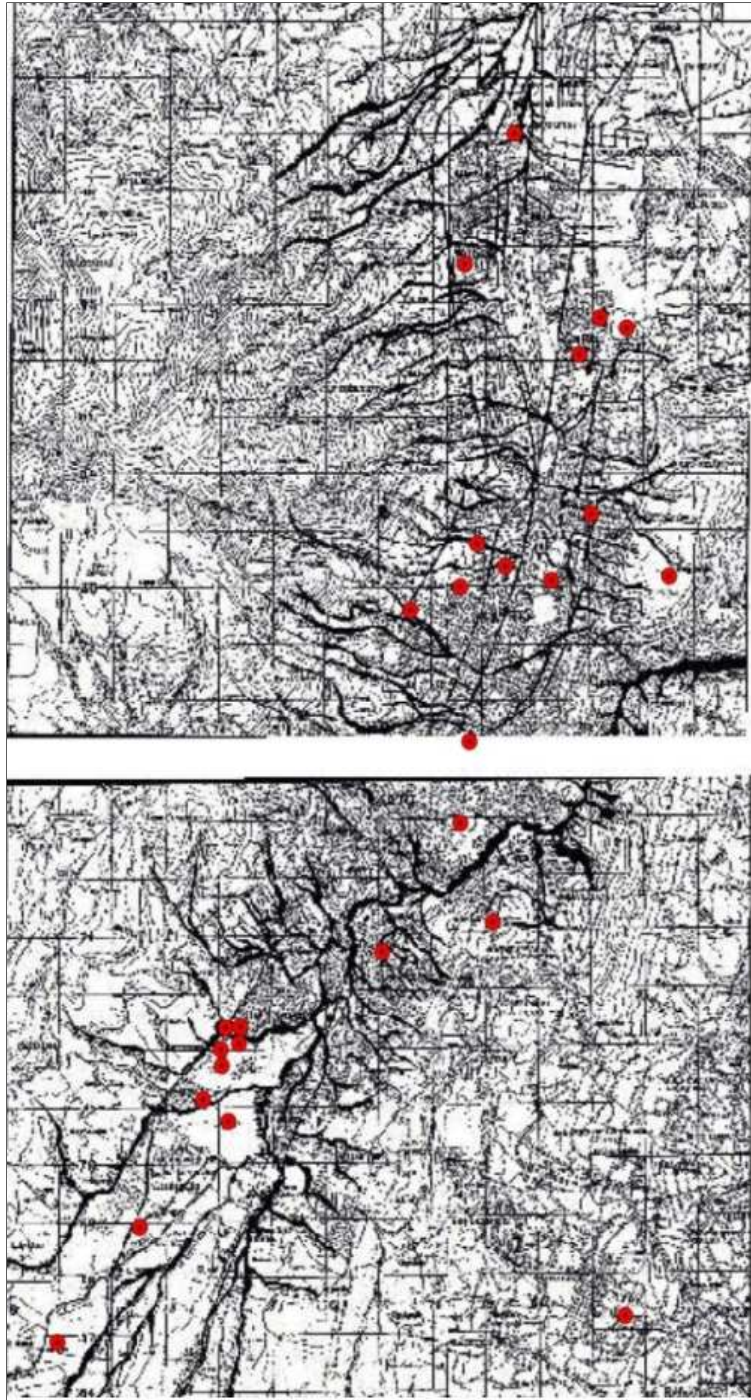


Figura 26. Lugares pre-seleccionados y quebradas antiguas y existentes de Quito (IGM)

Código	Área de refugio temporal	Existencia de quebrada
2.03	Bodegas del Ministerio de Educación	Dos, está atravesada por una y en el extremo se encuentra otra
3.07	Equipamiento Comunal Carcelén	Ninguna
5.02	Parque Inglés	Una cercana
6.11	Parque la Victoria	Ninguna
6.14	Parque Barrio la Luz	Una cercana
6.21	Parque Matovelle	Una cercana
7.01	Liga Barrial Ññaquito	Dos, está atravesada por una y tiene una cercana
8.02	Parque la Carolina	Dos en los extremos
8.24	Parque Metropolitano	Nueve quebradas
12.01	Itchimbía	Tres cercanas
12.06	Parque el Ejido	Una en el extremo
13.01	Planta de tratamiento Puengasí	Dos cercanas
15.14	Parque Cooperativa 14 de Enero	Ninguna
16.03	Parque Ecológico de Solanda	Ninguna
16.12	Parque Chino	Ninguna
18.04	Parque de Chillogallo	Una que le atraviesa
19.02	Parque la Moya	Ninguna
20.01	Fundeporte	Tres, está atravesada por una y dos se encuentran a los lados

Tabla 10. Análisis de presencia de quebradas dentro o cerca de sitios pre-seleccionados

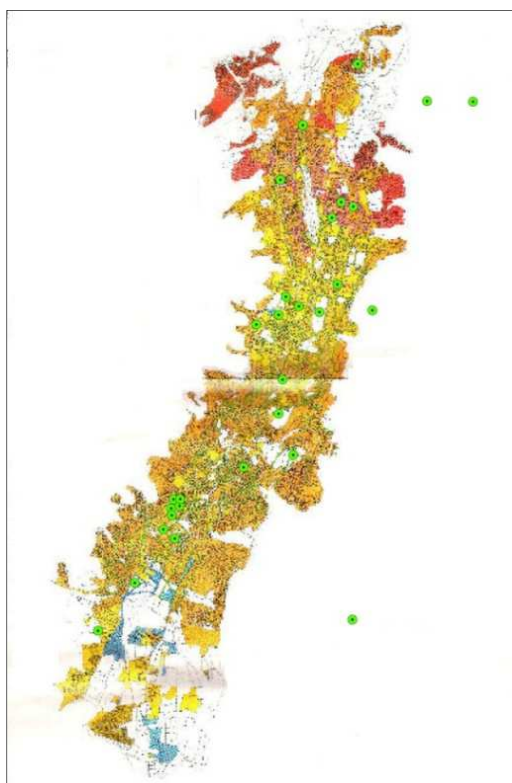


Figura 27. Lugares pre-seleccionados y escenario sísmico de Quito para terremoto local (EPN, 1994)

Después de todo el análisis realizado respecto a las quebradas (Tabla 10) y los posibles daños luego un sismo local, los 12 sitios con mayor probabilidad de ser elegidos se enlistan en la tabla 11.

Código	Área de refugio temporal
2.03	Bodegas del Ministerio de Educación
3.07	Equipamiento Comunal Carcelén
5.02	Parque Inglés
6.14	Parque Barrio la Luz
8.02	Parque la Carolina
8.24	Parque Metropolitano
12.01	Itchimbía
12.06	Parque el Ejido
13.01	Planta de tratamiento Puengasí
16.03	Parque Ecológico de Solanda
19.02	Parque la Moya
20.01	Fundeporte

Tabla 11. 12 sitios pre-seleccionados luego del quinto filtro.

En caso de existir algún inconveniente con los 12 sitios pre-seleccionados, durante la investigación más profunda de cada uno de ellos, o durante la fase de diseño, se han previsto cuatro lugares opcionales:

- _ Terreno municipal La Pampa (Calderón)
- _ Parque de la Mujer
- _ Parque de las Cuadras
- _ Área recreativa de Carapungo 2da etapa

2.5. Lugares seleccionados

Finalmente, para asegurar la idoneidad de cada uno de los 12 lugares pre-seleccionados se realizó una comprobación adicional. Se le dio una mayor importancia al parámetro de la cercanía a pozos de agua tomando en cuenta que ante situaciones de emergencia los suministros de agua potable pueden llegar a contaminarse e incluso ser interrumpidos y tener una fuente cercana de agua sería esencial para el funcionamiento efectivo de un ART. Por esta razón se decidió aumentar este factor de ponderación de 2 a 3 y efectuar nuevamente el análisis (Tabla 12).

Parámetro	Factor de Ponderación
Espacio	3
Tamaño	3
Acceso	2
Cercanía a instalaciones esenciales	1
Cercanía a instalaciones peligrosas	2
Entorno económico	2
Cercanía a zonas de riesgo	3
Cercanía a edificios altos	1
Densidad de población	3
Cercanía a pozos de agua	3

Tabla 12. Factores finales de ponderación por parámetro

Adicionalmente se examinó con mayor detalle cada uno de los sitios y como consecuencia se decidió descartar 3 de ellos: las Bodegas del Ministerio de Educación, por la existencia de redes de alta tensión y torres de transformación; Fundeporte, por estar bajo administración privada; y el Equipamiento Barrial de Carcelén, pues el Municipio de Quito tiene ya en sus planes construir un proyecto similar a un ART. Como resultado final, los 12 lugares seleccionados se muestran en la tabla 13.

Áreas de refugio temporal
Parque Inglés
Parque Barrio la Luz
Parque la Carolina
Parque Metropolitano Guanguiltagua.
Parque Itchimbía
Parque El Ejido
Planta de tratamiento Puengasí
Parque Ecológico de Solanda
Parque la Moya
Parque Las Cuadras
Terreno "La Pampa" (Calderón)
Área recreativa Carapungo 2 ^{da} Etapa

Tabla 13. 12 sitios seleccionados para el diseño de ART

A continuación se muestran dichos lugares superpuestos sobre el DMQ, administraciones zonales, densidad de población y zonas de quebradas antiguas y existentes (Figuras 28-31).

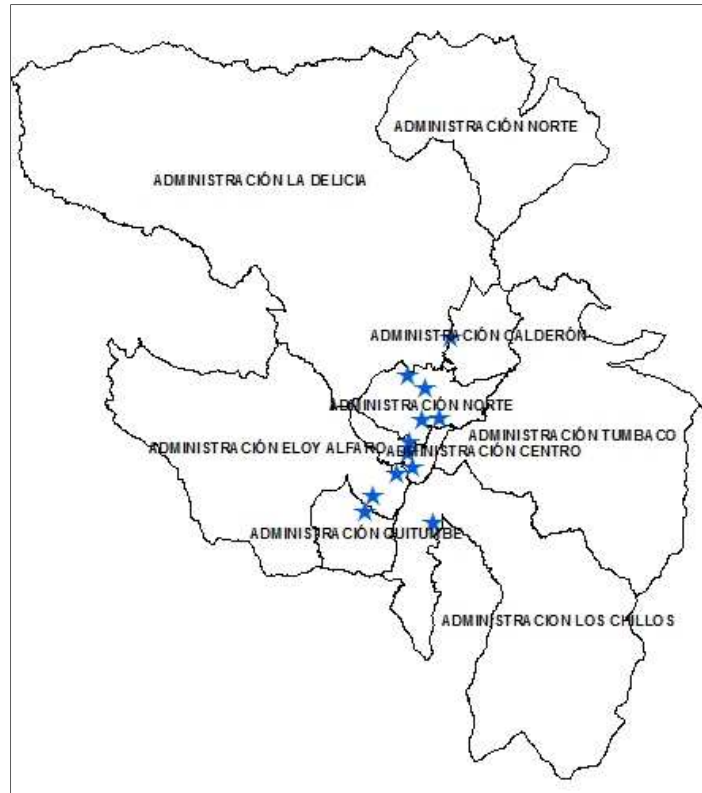


Figura 28. 12 lugares seleccionados dentro de las administraciones zonales

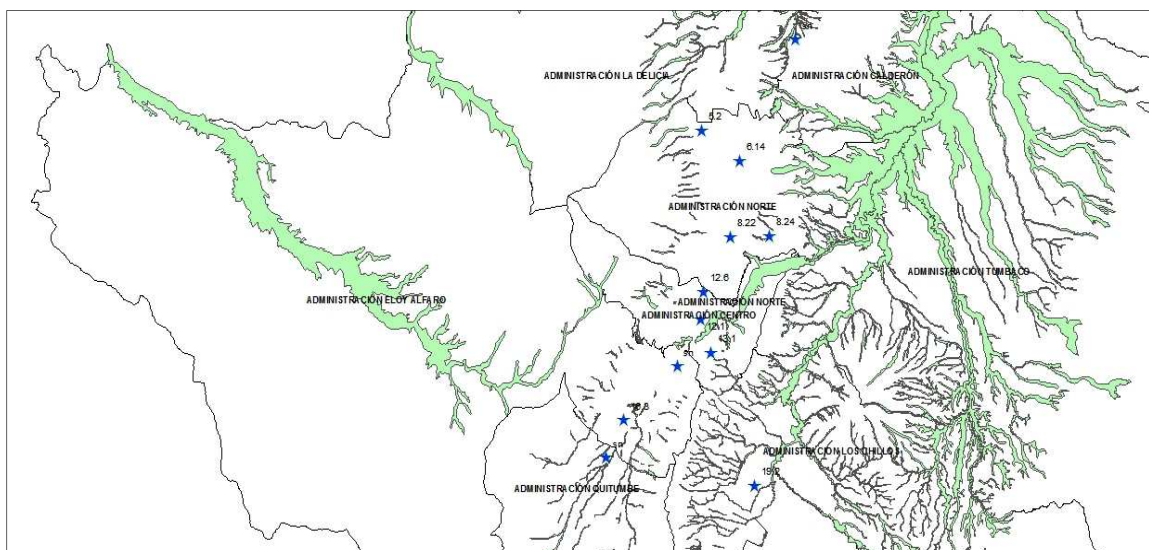


Figura 29. 12 lugares seleccionados sobre quebradas actuales de Quito

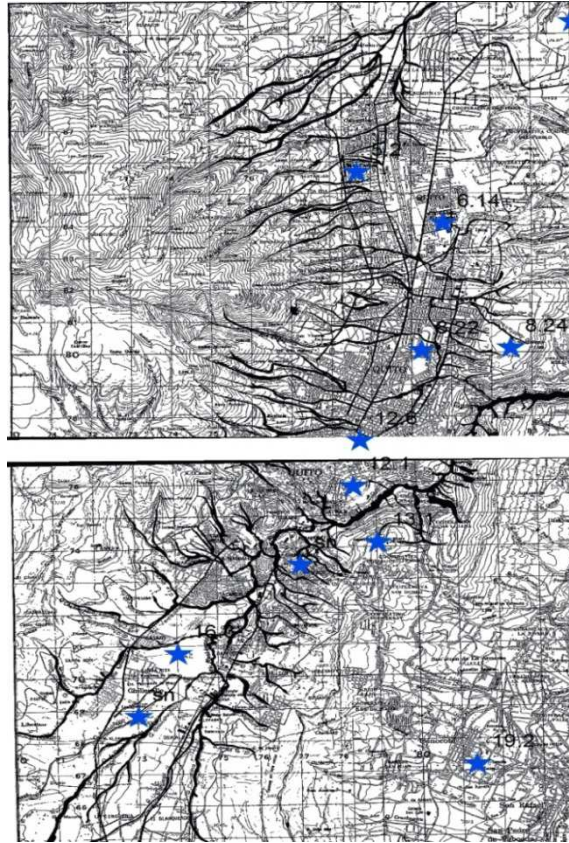


Figura 30. 12 lugares seleccionados sobre quebradas antiguas y existentes en Quito (IGM)

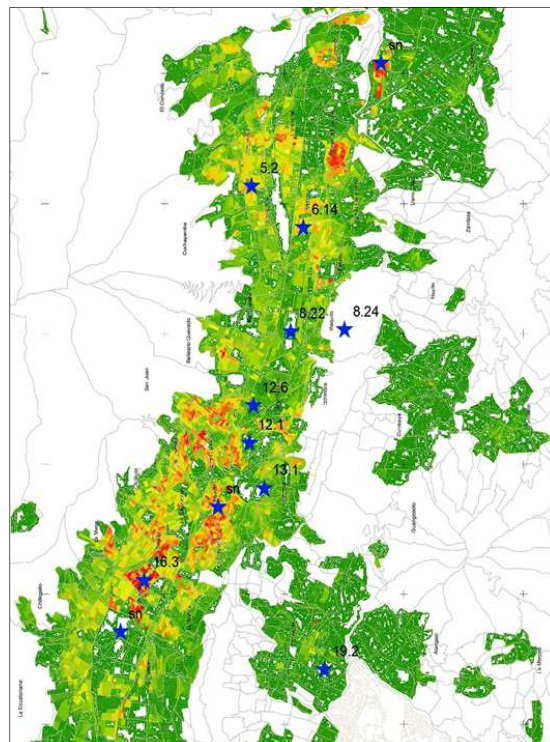


Figura 31. Lugares seleccionados para ART sobre mapa de densidad de población

2.5.1. Descripción de los 12 lugares seleccionados

Una breve descripción de los sitios seleccionados se muestra en los siguientes apartados.

2.5.1.1. Parque Inglés

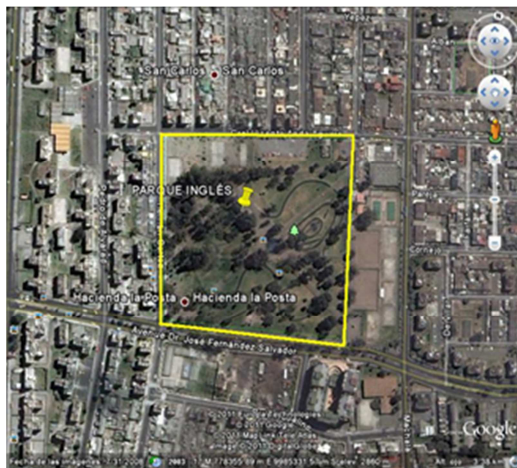


Figura 32. Parque Inglés (Google, 2003)

Área aproximada: 6.2 ha

Dirección: Av. Machala y Fernández Salvador

Descripción: Ubicado en el barrio San Carlos, sus principales vías de acceso son la Av. Occidental y Av. La Prensa, está rodeado de numerosos edificios de más de 3 pisos de altura. Se encuentra sobre una ladera positiva y cuenta con hospitales, farmacias, estaciones de policía, hidrantes y transformadores eléctricos cercanos. Tiene una buena interconexión de transporte público mediante alimentadores, buses y taxis. Actualmente es un espacio de recreación para los barrios de San Carlos y San Pedro Claver.

2.5.1.2. Parque Barrio La Luz



Figura 33. Parque Barrio La Luz (Google, 2003)

Área aproximada: 1.1 ha

Dirección: Calle Rafael Ramos y Jijón y Caamaño.

Descripción: El terreno es plano, su principal vía de acceso es la Av. 10 de Agosto y a su alrededor cuenta con una casa comunal, farmacias, centros de salud, estaciones de policía, centros educativos, mercado, cuartel, hidrantes y transformadores eléctricos. Actualmente, es un espacio de recreación y está rodeado de urbanizaciones, bloques de edificios con una densidad poblacional media. El barrio está interconectado por medio de líneas de buses y taxis.

2.5.1.3. Parque La Carolina

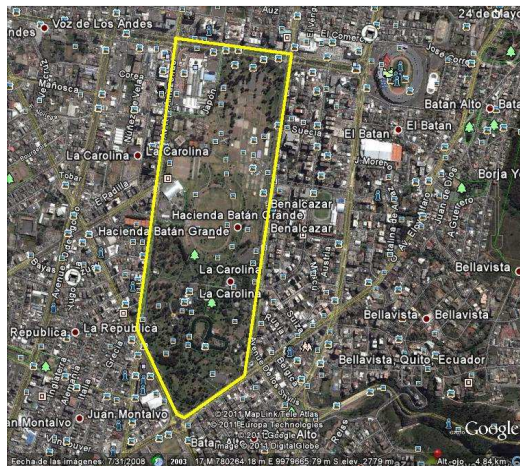


Figura 34. Parque La Carolina (Google, 2003)

Área aproximada: 67 ha

Dirección: Delimitado por Av. De los Shyris, Av. Amazonas, Av. Eloy Alfaro, Av. República y Av. Naciones Unidas.

Descripción: Es una de las áreas verdes más importantes de la ciudad, está ubicada en el centro financiero de la capital y cuenta con toda clase de servicios a su alrededor, incluyendo líneas de buses y taxis. Dentro del parque se pueden practicar una gran cantidad de deportes y encontrar otros lugares de interés como el parque náutico, el Jardín Botánico, el Vivarium y el Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales.

2.5.1.4. Parque Metropolitano Guanguiltagua

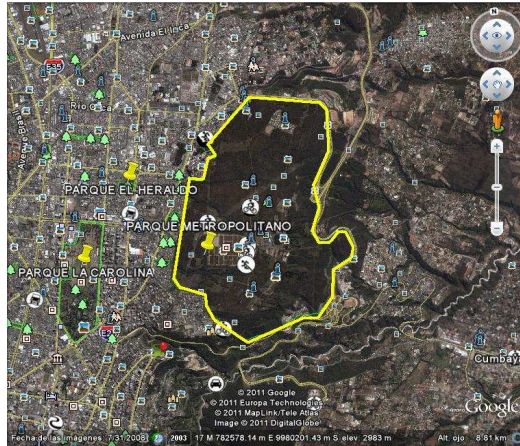


Figura 35. Parque Metropolitano Guanguiltagua (Google, 2003)

Área aproximada: 574 ha

Dirección: Acceso principal por la calle Guanguiltagua en el sector del Batán Alto.

Descripción: Es una de las áreas verdes más grandes e importantes de la ciudad de Quito, está ubicado en el barrio El Batán a 2890 msnm y aunque tiene un poco de dificultad en cuanto a la accesibilidad y transporte, su tamaño lo hace ideal para la construcción de un ART. Además de ser una reserva ecológica, el parque permite realizar diversos deportes y cuenta con miradores y áreas de picnic.

2.5.1.5. Parque Itchimbía



Figura 36. Itchimbía (Google, 2003)

Área aproximada: 78 ha

Dirección: Padre J. M. Aguirre y Concepción

Descripción: Ubicado en el barrio El Dorado a 2910 msnm, está rodeado de otros barrios tradicionales como La Tola y San Blas, por el hospital Eugenio Espejo, la Cruz Roja y edificios públicos como la Dirección Metropolitana de Seguridad y es un sitio importante pues atendería a la población del centro histórico. Es un parque educativo y recreativo, ofrece una variedad de actividades como juegos infantiles, ágora natural, senderos, ciclo vía, canchas, entre otros. Dentro de este parque se levanta el centro cultural Itchimbía.

2.5.1.6. Parque El Ejido



Figura 37. Parque El Ejido (Google, 2003)

Área aproximada: 18 ha

Dirección: Delimitado por la Av. 6 de Diciembre, Av. Patria, Av. 10 de Agosto y Av. Tarqui.

Descripción: Está ubicado cerca del barrio La Mariscal, rodeado de edificios y universidades, marca el límite entre la ciudad antigua y moderna. Cuenta con todo tipo de servicios a sus alrededores y es de muy fácil acceso. Es un lugar para caminar y observar trabajos artísticos y artesanales.

2.5.1.7. Planta de tratamiento Puengasí



Figura 38. Planta de tratamiento Puengasí (Google, 2003)

Área aproximada: 21 ha

Dirección: Calle Javier Loyola.

Información adicional: Una de las principales plantas de tratamiento de agua potable de la ciudad que abastece algunos barrios de la misma.

2.5.1.8. Parque Ecológico de Solanda

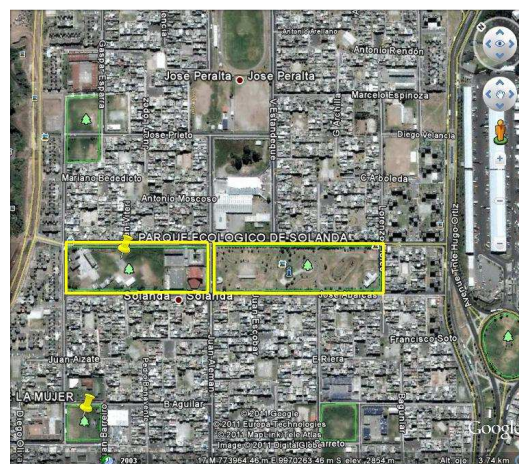


Figura 39. Parque Ecológico de Solanda (Google, 2003)

Área aproximada: 5 ha

Dirección: Salvador Bravo y José María Alemán.

Información adicional: Es un terreno plano de fácil acceso ubicado en un importante barrio del sur de Quito, Solanda, cuenta con diversos servicios en sus alrededores tales como: puestos de auxilio inmediato, farmacias, hidrantes y transformadores eléctricos. Los principales medios de transporte son las líneas de buses, alimentadores, taxis y camionetas. Actualmente es un espacio de recreación.

2.5.1.9. Parque La Moya

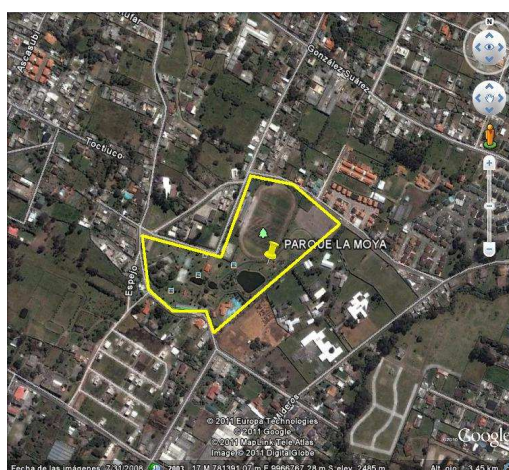


Figura 40. Parque La Moya (Google, 2003)

Área aproximada: 3 ha

Dirección: Espejo y Rosario Benalcázar.

Información adicional: Está ubicado en la parroquia de Conocoto y cuenta con un puesto de auxilio inmediato, un mercado y un centro de salud en sus alrededores. Los principales medios de transporte son las líneas de buses, alimentadores, taxis y camionetas. Actualmente es un espacio de recreación, cuenta con canchas, espacios verdes y piscina.

2.5.1.10. Parque las Cuadras



Figura 41. Parque Las Cuadras (Google, 2003)

Área aproximada: 24 ha

Dirección: Avenida Rumichaca y calle Matilde Álvarez.

Información adicional: Ubicado en el sector de Chillogallo, zona de alto crecimiento poblacional al sur de Quito, es un espacio de recreación que cuenta con un vivero forestal, senderos, juegos infantiles, ciclo vía, y está servido por uno de los principales medios de transporte de la ciudad (trolebús).

2.5.1.11. Terreno “La Pampa” (Calderón)



Figura 42. Terreno "La Pampa"(Google, 2003)

Área aproximada: 2.65 ha

Dirección: Independencia y 9 de Agosto.

Información adicional: Es un terreno plano, ubicado en la parroquia de Calderón y a menos de un kilómetro de la autopista Panamericana.

2.5.1.12. Área recreativa Carapungo 2^{da} etapa



Figura 43. Área recreativa Carapungo 2^{da} etapa (Google, 2003)

Área aproximada: 1.2 ha

Dirección: Delimitado por las calles José Velasco Ibarra, Juan de Dios Martínez, Francisco Robles y Alberto Spencer.

Información adicional: Se caracteriza por ser uno de los pocos lugares públicos grandes de la zona.

Una vez determinados las zonas seguras del Distrito Metropolitano de Quito, se debe proceder con el diseño e implantación de cada una de las áreas de refugio temporal, que están conformadas por un área de servicios, una colectiva y una de campamento. El diseño incluye la definición del módulo arquitectónico e ingenieril tipo para el ART estándar que cumpla con las condiciones establecidas según los parámetros y estándares de la nueva Norma Ecuatoriana de Construcción y los recomendados por el proyecto Esfera.

3. Diseño Arquitectónico de Áreas de Refugio Temporal

Para proceder con el diseño arquitectónico de las ART fue necesario dimensionar las necesidades del proyecto, facilitando la planificación y la óptima utilización del espacio en cada una de las zonas seguras. Con el objetivo de simplificar el trabajo se decidió realizar un diseño por módulos que puedan ser acoplados de acuerdo a las características y requerimientos que dependen, entre otras cosas, de la cantidad de personas a ser albergadas en cada uno de los sitios. Esta tarea estuvo a cargo de un grupo de arquitectos calificados.

3.1. Estimación de población a ser albergada

Una de las principales incógnitas fue la cantidad de personas que necesitarían ser albergadas en cada ART puesto que depende de múltiples factores difíciles de predecir o ser analizados. Dependiendo de la severidad del sismo y de sus efectos, se consideran tres grupos de víctimas: fallecidos, heridos y personas sin hogar. El grupo objetivo de las ART son las personas sin hogar, las mismas que podrán permanecer en el albergue un máximo de siete días, tiempo en el cual deberán organizarse y conseguir un hogar al cual trasladarse.

Para realizar esta estimación se utilizó el criterio de expertos de la Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad del DMQ, especialmente un experto en atención de desastres, quien por su experiencia en varios países afirma que luego de un evento desastroso, como el caso de un sismo severo, puede suponerse que el 10% de la población se verá afectada y el 10% de este grupo necesitará ayuda humanitaria. Quito, según el censo de población y vivienda 2011, tiene 2.239.191 habitantes por lo que el número de personas afectadas serían aproximadamente 223.919 y 22.391 necesitarán ayuda humanitaria. Por lo tanto, los 12 ART deberían albergar al menos este número de personas, en promedio. El número de personas a ser albergadas en cada ART se estimó de acuerdo a sus condiciones de espacio, de ahí que no todos los lugares tienen la misma capacidad como se muestra en la tabla 14.

Áreas de refugio temporal	Población
Parque Inglés	1600
Parque Barrio la Luz	680
Parque la Carolina	2535
Parque Metropolitano Guangüiltagua.	1680
Parque Itchimbía	1860
Parque El Ejido	2880
Planta de tratamiento Puengasí	3100
Parque Ecológico de Solanda	2420
Parque la Moya	820
Parque Las Cuadras	2880
Terreno “La Pampa” (Calderón)	2145
Área recreativa Carapungo 2da Etapa	760

Tabla 14. Población estimada para cada ART

3.2. Programación de un ART

Un ART está conformado por tres áreas principales: área de servicios, área de campamento y área colectiva.

3.2.1. Área de servicios

El área de servicios es la construcción principal y está compuesta por las siguientes sub-áreas:

1. Salud

Este espacio ha sido designado para valoración médica inicial y primeros auxilios; cuenta con camillas, insumos básicos (medicamentos, equipo para primeros auxilios) y un área de espera. Las personas que requieran atención médica superior serán trasladadas a centros de salud.

2. Administración

Está compuesta por una oficina principal de coordinación, una sala de reuniones y equipos de comunicación.

3. Bodegaje

Está destinada al almacenaje de carpas, frazadas, catres, postes y mallas de cerramientos.

4. Servicios higiénicos

Servicios higiénicos para uso del personal del área de servicios.

5. Máquinas

Área destinada para la instalación de las siguientes máquinas: generador de electricidad, bomba centrífuga y tanques superficiales de almacenamiento de agua.

6. Área de transición

Sirve como conexión entre las demás sub-áreas.

3.2.2. Área Colectiva

Se encuentra entre el área de servicios y el área de campamento, posee una rampa de acceso para delimitarlas y facilita la comunicación, organización y control de la población.

3.2.3. Área de Campamento

Es el área destinada a la ocupación de los refugiados que será cercada mediante un cerramiento de fácil instalación (almacenado en el área de bodegaje) en el momento del desastre y consta de las siguientes sub-áreas:

1. Área de carpas unifamiliares
2. Área de circulación entre carpas
3. Zonas de baños / duchas generales
4. Sistema de recolección de desechos

5. Sistema de circulación de agua al interior del ART

3.3. Especificaciones del equipo**3.3.1. Servicios higiénicos y duchas**

Se han considerado un tipo de sanitarios ecológicos y portátiles con un funcionamiento similar a los que se usan en aviones o trenes. Un líquido neutralizante es utilizado para tratar y degradar los desechos orgánicos que son depositados en el tanque, así se lo mantiene desinfectado y se evita el desprendimiento de olores (ver especificaciones en tabla 15). Los baños portátiles incluyen un tanque desmontable que puede ser trasladado en cualquier vehículo sin mayor esfuerzo; en la parte inferior se coloca tapón de 2 pulgadas que facilitará el desfogue de residuos en cualquier alcantarilla, pozo séptico o caja de revisión. También se ha decidió utilizar duchas portátiles que son fabricadas bajo pedido y sus especificaciones se describen en la tabla 16.

Baños portátiles Eco-sanitarios	
Altura	2.20 m
Ancho	1.05 m
Profundidad	1.05 m
Abertura de la puerta	1.85 m
Volumen estándar del tanque	80 galones (320 litros)
Altura del asiento	0.52 m
Peso	135 lb (60kg)
<ul style="list-style-type: none"> - Tanque de desechos totalmente desmontable - Material de plástico sintético con polyester reforzado, malla cerrada y acabados en fibra de vidrio para alta flexibilidad con filtro UV - Pasador de cierre interno en acero inoxidable - 4 ventanas para ventilación 	

Tabla 15. Especificaciones de baños portátiles (Ecosanitarios)

Duchas portátiles Eco-sanitarios	
Altura	2.20 m
Ancho	1.05 m
Profundidad	1.05 m
Abertura de la puerta	1.85 m

Tabla 16. Especificaciones de duchas portátiles (Eco-sanitarios)



Figura 44. Baño portátil (Eco-sanitarios)

3.3.2. Carpas

Carpa ReliefTent TJ-3010	
Altura	2.30 m
Ancho	4 m
Profundidad	4 m
Material	Algodón- poliéster de 280g/m2 anti-desgarro, impermeable, protección ultravioleta.
Puerta	Malla anti-mosquitos.
Cuerdas	Diámetro 6mm.
Clavijas	Acero galvanizado, diámetro 6mm.
Tamaño de empaque	1.05 m x 0.35m x 0.35m
Peso neto	35 kg.
Peso bruto	38 kg
Capacidad	5 personas

Tabla17. Especificaciones de la carpa (Tianjin Tuojia Outdoors Manufacturing Co., Ltd.)



Figura45. Carpa TJ-3010 (Tianjin Tuojia Outdoors Manufacturing Co., Ltd.)

3.3.3. Camillas y catres

Camilla	
Largo	1.95 m
Ancho	0.55 m
Alto	0.77 m

Tabla 18. Especificaciones - camilla

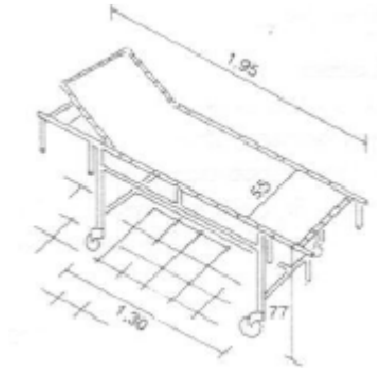


Figura 46. Camilla

Catre acojinado	
Largo	1.80 m
Ancho	0.5 m

Tabla 19. Especificaciones - catre



Figura 47. Catre acojinado (Aztatl)

3.3.4. Cerramiento

Se ha considerado el Cerramiento CercaPronto3D de rápida instalación, fácil montaje y almacenamiento, desarrollado para seguridad perimetral, incluye paneles rígidos de

malla electrosoldada, postes metálicos y elementos de fijación e instalación (IdealAlambrec Bekaert, 2011), sus especificaciones se detallan en la tabla 20.

Nombre	Alto de la malla (m)
CercaPronto3D	2.08

Tabla 20. Especificaciones Cerramiento CercaPronto3D (IdealAlambrecBekaert, 2011)



Figura 48. Cerramiento CercaPronto3D (IdealAlambrec)

3.4. Dimensionamiento de áreas

Un grupo de arquitectos, basándose en las necesidades y la disponibilidad de espacio y el criterio profesional, realizó el diseño y dimensionamiento de las diferentes áreas descritas anteriormente (Tabla 21). El área de bodegaje requerida para almacenar la cantidad de suministros para abastecer a toda la población de un ART es excesivamente grande considerando el espacio disponible; por esta razón, se ha dispuesto que la bodega tenga la capacidad para almacenar provisiones para aproximadamente 360 personas. El resto de suministros serán transportados desde la bodega del Municipio.

Área	Superficie (m ²)
Valoración médica	13
Salud	36
Administrativa	42.36
Servicios Higiénicos	12
Bodega	95
Máquinas	58

Tabla 21. Dimensionamiento de áreas

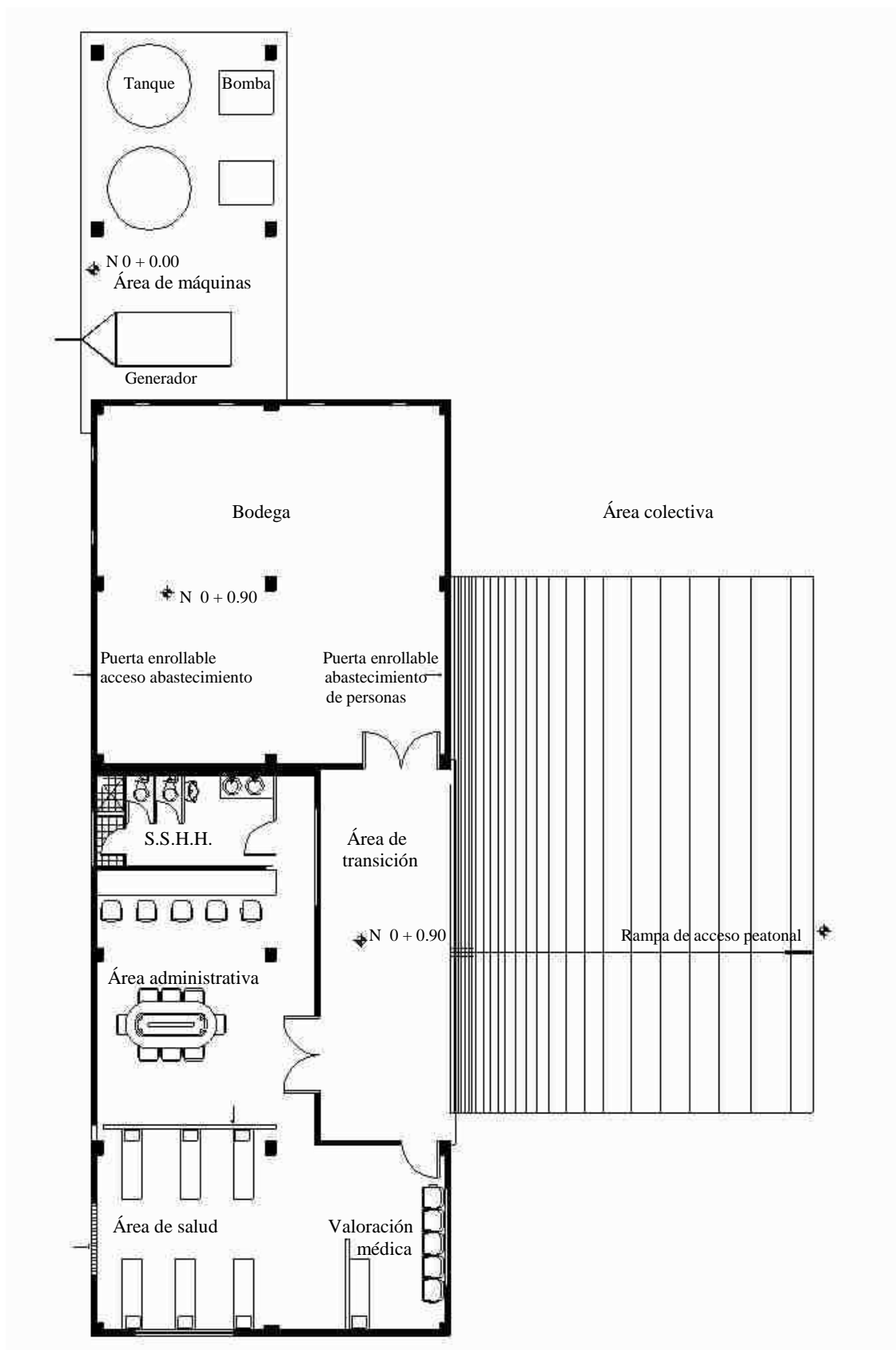


Figura 49. Planta ART

El área de campamento varía de acuerdo al tamaño del sitio, se han diseñado bloques compuestos por 16 carpas, es decir, una comunidad de 80 personas (Figura 50) dejando un espacio de 5 metros entre filas de carpas para permitir el paso de vehículos como ambulancias, camión de basura, entre otros.

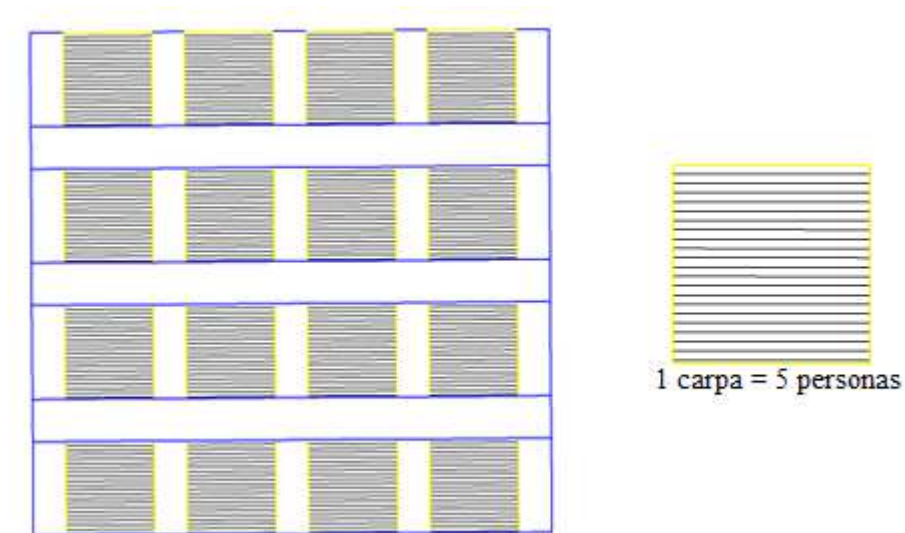


Figura 50. Área de campamento- Comunidad de 80 personas

Una vez concluido el diseño arquitectónico, se cuenta con el modelo base de la estructura a ser diseñada. El cálculo estructural que se basa en los parámetros expuestos en el siguiente capítulo.

4. Diseño Sismo-resistente Especial de las Áreas de Refugio Temporal

4.1.Fundamentos de Diseño

Los procedimientos y requisitos a utilizarse en el diseño sismo-resistente de las ART son los establecidos en el capítulo 2 de la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-11. De acuerdo a la norma, se debe considerar la zona sísmica del Ecuador en donde se va a construir la estructura, las características del suelo del sitio de emplazamiento, el tipo de uso, destino e importancia de la estructura y el tipo de sistema y configuración estructural a utilizarse. Las Áreas de Refugio Temporal, se diseñarán como estructuras esenciales, es decir, deben permanecer operativas luego de un terremoto para atender emergencias. (NEC, 2011)

En la sección 2.1.23 de la NEC-11 se explica que todas las estructuras deben diseñarse para soportar los desplazamientos laterales producidos por el sismo de diseño. Se conoce como sismo de diseño aquel con una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, lo que equivale un período de retorno de 475 años. Es decir, que en 50 años, existe una probabilidad del 10 por ciento de que se exceda la aceleración del suelo mostrada en el mapa de zonificación sísmica. El período de retorno se define como el período de tiempo promedio estadístico (medido en años) entre dos eventos sísmicos de la misma severidad.

Adicionalmente, para estructuras esenciales se aplicarán verificaciones de comportamiento inelástico para diferentes niveles de terremotos, los cuales se analizarán en el siguiente capítulo.

4.2.Factor de Zona

El factor de zona Z representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la gravedad. El valor correspondiente a la ciudad de Quito es de 0.40g de acuerdo al mapa de zonificación sísmica de la sección 2.5.2 de la NEC-11 (Figura 51). El mapa proviene de un estudio completo, en el que se considera

fundamentalmente los resultados de los estudios de peligro sísmico del Ecuador actualizados a 2011, así como ciertos criterios adicionales (NEC, 2011) y los valores correspondientes a las zonas se muestran en la tabla 22.

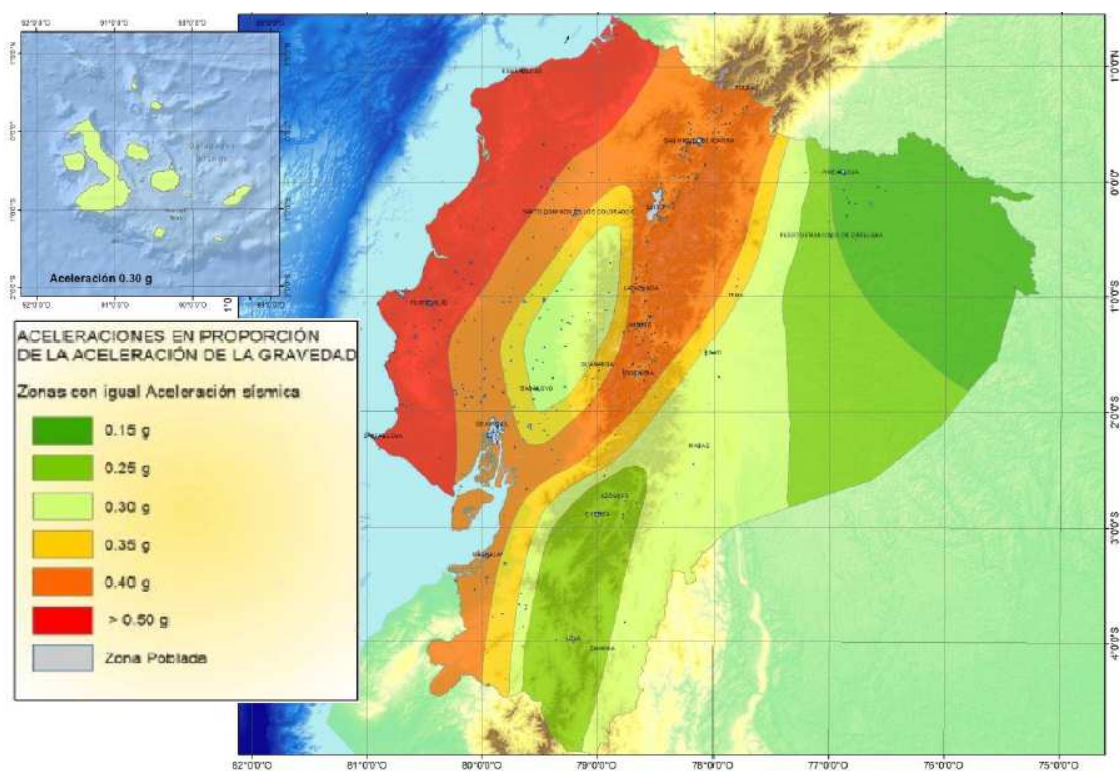


Figura 51. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño.

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	≥ 0.5
Característica de la amenaza sísmica	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Tabla 22. Factor de zona Z.

4.3. Curvas de Peligro Sísmico

Una curva de peligro sísmico es aquella que relaciona el valor de la aceleración sísmica esperada en roca (PGA) con un nivel de probabilidad anual de excedencia para un periodo estructural determinado. Las curvas de peligro sísmico de la sección 2.5.3 de la

norma proporcionan aceleraciones máximas espectrales para periodos estructurales de 0.1, 0.2, 0.5 y 1 segundos para cada capital de provincia (Figura 52).

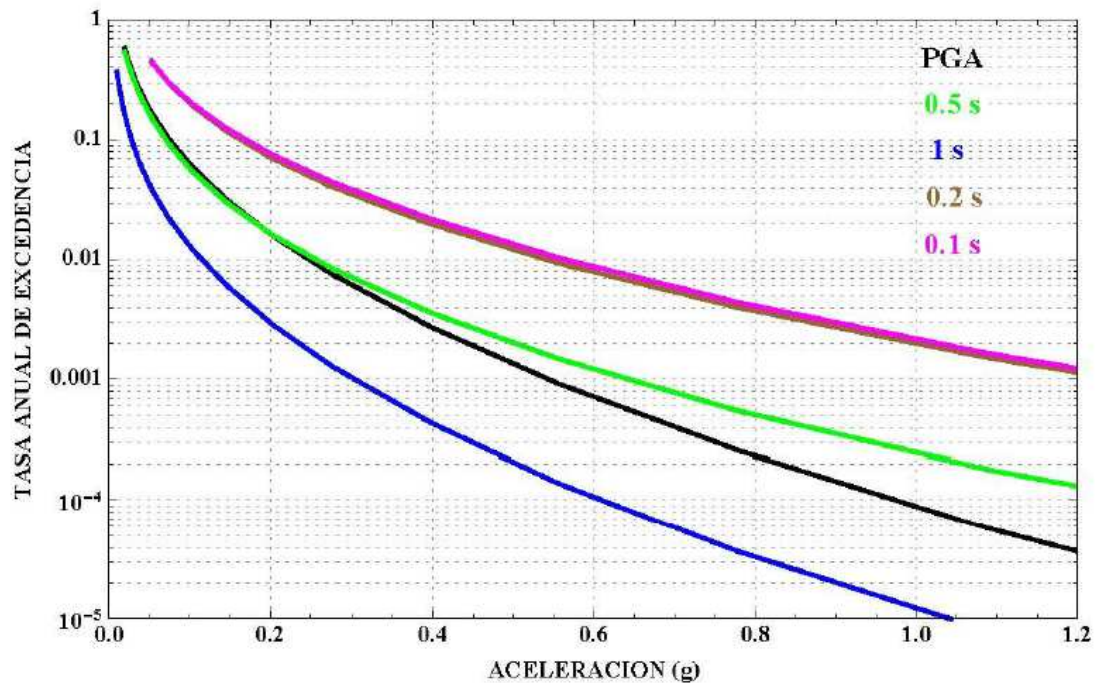


Figura 52. Curva de Peligro Sísmico Probabilista para Quito

La probabilidad anual de excedencia es una representación estadística en porcentaje de la posibilidad de que un sismo exceda una aceleración determinada en un tiempo específico de exposición (en años) y se relaciona con el período de retorno como se muestra en la ecuación 1 (Safina, 2003).

$$T = - \frac{\text{tiempo de exposición}}{\ln(1 - \text{probabilidad anual de excedencia})} \quad (1)$$

Para obtener la probabilidad anual de excedencia se divide la probabilidad de excedencia (expresado como una fracción) para el tiempo de exposición, por lo que el tiempo de retorno es el inverso de la misma.

$$T = \frac{1}{\text{probabilidad anual de excedencia}} \quad (2)$$

Como se había mencionado antes, el sismo de diseño es aquel que tiene una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, es decir una probabilidad excedencia anual 0.0021. En la curva de peligro sísmico de la figura 52 se puede observar que para

el caso de Quito, una probabilidad de excedencia de 0.0021 corresponde a una aceleración aproximada de 0.4g y un período de retorno de 475 años.

$$T = \frac{1}{0.0021} \approx 475 \text{ años}$$

4.4. Perfiles de Suelo

En la sección 2.5.4 de la norma se definen seis tipos de suelos de acuerdo a tres parámetros con base en los 30 metros superiores del mismo: la velocidad media de la onda cortante, el número de golpes del ensayo de penetración estándar para el 60% de la energía teórica a lo largo de todo el perfil y finalmente dependiendo si el suelo es cohesivo o no cohesivo se tomará en cuenta la resistencia media al corte, o el número de golpes promedio del ensayo de penetración estándar respectivamente. Además se utiliza el contenido de agua y el índice de plasticidad (Tabla 23).

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s > $V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante	760 m/s > $V_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ KPa (≈ 1 kgf/cm ²)
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante	360 m/s > $V_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ 100 kPa (≈ 1 kgf/cm ²) > $S_u \geq 50$ kPa (≈ 0.5 kgf/cm ²)
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa (≈ 0.50 kgf/cm ²)
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista (Ver 2.5.4.9). Se contemplan las siguientes subclases: F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75) F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m) F5—Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte. F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.	

Tabla 23. Clasificación de perfiles de suelos (NEC, 2011).

Clasificar el perfil de suelo permite determinar los valores de los coeficientes de amplificación o reducción dinámica F_a (amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de aceleración para diseño en roca), F_d (amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de desplazamiento para diseño en roca) y F_s (considera el comportamiento no lineal, la degradación del periodo del sitio y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos).

En la tabla 24 se muestran los valores posibles para los distintos tipos de perfil de suelo para un valor de $Z = 0.4g$ (los suelos tipo F requieren un estudio especial).

Tipo de Perfil	Fa	Fd	Fs
A	0.9	0.9	0.75
B	1	1	0.75
C	1.23	1.3	1.3
D	1.25	1.4	1.5
E	1.28	1.6	1.9

Tabla 24. Perfiles de suelo y coeficientes Fa, Fd y Fs.

4.5. Espectro Elástico de Diseño en Aceleraciones

El espectro elástico de diseño en aceleraciones muestra la reacción de una estructura ante la vibración del suelo, expresada como fracción de la gravedad S_a , considera el factor Z , y el tipo de suelo en donde está emplazada la estructura, se define en la sección 2.5.5.1 de la NEC-11 y se obtiene a partir de las ecuaciones 3 y 4.

$$S_a = \eta Z F_a \text{ para } 0 \leq T \leq T_c \quad (3)$$

$$S_a = \eta Z F_a \left(\frac{T_c}{T} \right)^r \text{ para } T > T_c \quad (4)$$

Donde,

$r = 1$ para suelos A, B y C, 1.5 para suelos D o E.

$\eta = 1.8$ para provincias de la Costa, 2.48 para provincias de la Sierra y Esmeraldas, 2.6 para provincias del Oriente.

$$T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a}$$

Dentro del análisis dinámico, para evaluar la respuesta de los modos de vibración diferentes al fundamental se deben utilizar las ecuaciones que se muestran en la parte punteada de la gráfica a fin de obtener un espectro sísmico elástico como el que se muestra en la figura 53.

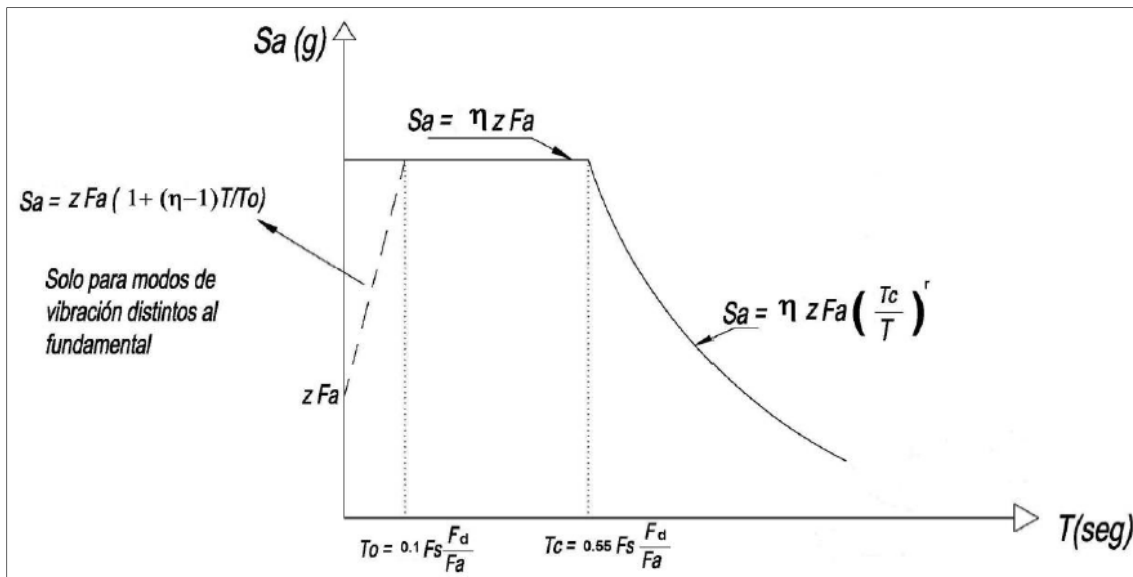


Figura 53. Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño (NEC, 2011).

4.6. Filosofía de Diseño Sismo-resistente

Según la Norma Ecuatoriana de Construcción (sección 2.6.1), una estructura sismo-resistente debe satisfacer los siguientes lineamientos:

- “Prevenir daños en elementos no estructurales y estructurales, ante terremotos pequeños y frecuentes, que pueden ocurrir durante la vida útil de la estructura.
- Prevenir danos estructurales graves y controlar danos no estructurales, ante terremotos moderados y poco frecuentes, que pueden ocurrir durante la vida útil de la estructura.
- Evitar el colapso ante terremotos severos que pueden ocurrir rara vez durante la vida útil de la estructura, procurando salvaguardar la vida de sus ocupantes.”
(NEC, 2011)

Para lograr esto, la estructura debe presentar derivas de piso inferiores a las admisibles, resistir las fuerzas especificadas por la norma y tener la capacidad de disipar energía de deformación inelástica.

El objetivo del diseño sismo-resistente para estructuras esenciales como las Áreas de Refugio Temporal, es aumentar el nivel de protección de las mismas y lograr que sigan funcionando después de un terremoto.

4.7. Deriva de Piso

El daño estructural y no estructural está directamente relacionado con el desplazamiento lateral de las edificaciones, deformaciones excesivas pueden provocar muchos daños. Por esta razón el diseño debe asegurar que las deformaciones inelásticas de una estructura sean inferiores a los siguientes límites (NEC-11, sección 2.6.2).

Estructura	Δ_M máxima
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
Mampostería	0.01

Tabla 25. Valores Δ_M máximos expresados como fracción de la altura de piso.

Donde,

$$\Delta_M = 0.75 R \Delta_E$$

R = factor de reducción de resistencia.

Δ_E = Derivas obtenidas como consecuencia de la aplicación de las fuerzas laterales.

4.8. Coeficiente de Importancia I

El objetivo principal del factor de importancia I, definido en la sección 2.6.4, es aumentar la demanda sísmica de las estructuras, las mismas que se han clasificado en tres categorías de acuerdo a su importancia como se muestra en la tabla 26.

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Factor
Edificaciones esenciales y/o peligrosas	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1

Tabla 26. Tipo de uso, destino e importancia de la estructura (NEC, 2011)

4.9. Coeficientes de Configuración Estructural

Los coeficientes de configuración estructural, definidos en la sección 2.6, buscan penalizar el diseño de estructuras irregulares en planta y en elevación. Dichas irregularidades causan comportamientos deficientes durante un sismo. Estos coeficientes aumentan el cortante de diseño y brindan mayor seguridad a la estructura. En caso de que las estructuras no presenten ningún tipo de irregularidad, estos coeficientes tendrán el valor de 1.

4.9.1. Coeficiente de Irregularidad en Planta ϕ_P

El coeficiente Φ_P se calcula en base a la tabla 27, con la siguiente fórmula:

$$\Phi_P = \Phi_{PA} \times \Phi_{PB} \quad (5)$$

Donde,

Φ_{PA} = mínimo valor de Φ_{Pi} de cada piso i de la estructura de entre las irregularidades 1, 2 y 3 si se encuentran presentes.

Φ_{PB} = si se encuentra presenta la irregularidad tipo 4.

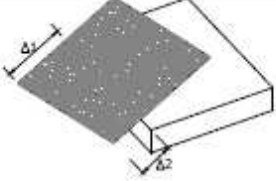
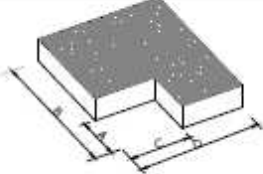
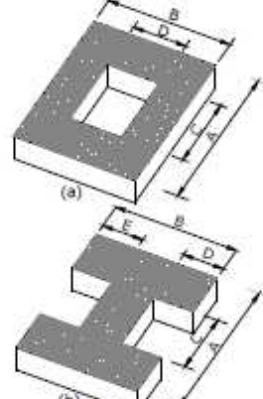

<p>Tipo 1 - Irregularidad torsional $\phi_{pt}=0.9$ $\Delta > 1.2 \frac{(\Delta 1 + \Delta 2)}{2}$</p> <p>Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia. La torsión accidental se define en el numeral 6.4.2 del presente código.</p>	
<p>Tipo 2 - Retrocesos excesivos en las esquinas $\phi_{pt}=0.9$ $A > 0.15B$ y $C > 0.15D$</p> <p>La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.</p>	
<p>Tipo 3 - Discontinuidades en el sistema de piso $\phi_{pt}=0.9$ a) $CxD > 0.5AxB$ b) $[Cx D + Cx E] > 0.5Ax B$</p> <p>La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.</p>	
<p>Tipo 4 - Ejes estructurales no paralelos $\phi_{pt}=0.9$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.</p>	

Tabla 27. Coeficientes de irregularidad en planta

4.9.2. Coeficiente de Irregularidad en Elevación ϕ_E

El coeficiente Φ_E se calculará en base a la tabla 28, con la siguiente fórmula:

$$\Phi_E = \Phi_{EA} \times \Phi_{EB} \quad (6)$$

En donde,

Φ_{EA} = mínimo valor de Φ_{Ei} de cada piso i de la estructura de entre las irregularidad 1.

Φ_{PB} = mínimo valor de Φ_{Ei} si se encuentran presentes las irregularidades tipo 2 y/o 3.

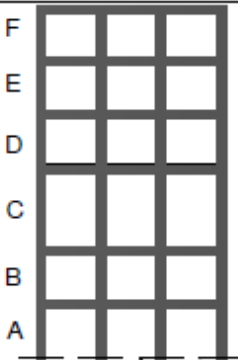
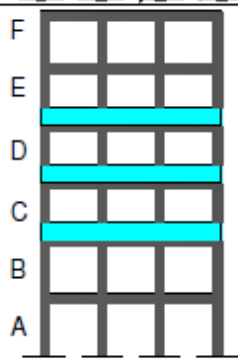
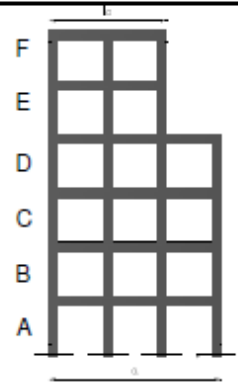
<p>Tipo 1 - Piso flexible $\phi_{Ei}=0.9$ Rigidez $K_c < 0.70$ Rigidez K_D Rigidez $< 0.80 \frac{(K_D + K_E + K_F)}{3}$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.</p>	
<p>Tipo 2 - Distribución de masa $\phi_{Ei}=0.9$ $m_D > 1.50 m_E$ ó $m_D > 1.50 m_C$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.</p>	
<p>Tipo 3 - Irregularidad geométrica $\phi_{Ei}=0.9$ $a > 1.3 b$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.</p>	

Tabla 28. Coeficientes de irregularidad en elevación (NEC, 2011)

4.10. Factor de Reducción de Resistencia Sísmica R

El factor R definido en la sección 2.7.2.3 reduce las fuerzas sísmicas de diseño de acuerdo al sistema estructural utilizado como se muestra en la tabla 29.

Sistemas Duales	
Pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras, sean de hormigón o acero laminado en caliente.	7
Pórticos de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas) o con muros estructurales de hormigón armado.	7
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas).	7
Pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.	6
Pórticos resistentes a momentos	
Pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	6
Pórticos espaciales sismo-resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.	6
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente.	6
Otros sistemas estructurales para edificaciones	
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado.	5
Pórticos espaciales sismo-resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5
Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural R, Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada	
Pórticos resistentes a momento	
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en el capítulo 4, limitados a 2 pisos	3
Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos	3
Muros estructurales portantes	
Mampostería no reforzada, limitada a un piso	1
Mampostería reforzada, limitada a 2 pisos	3
Mampostería confinada, limitada a 2 pisos	3
Muros de hormigón armado, limitados a 4 pisos	3

Tabla 29. Coeficiente de reducción de respuesta estructural R (NEC, 2011)

R se puede utilizar cuando la estructura cumpla los requisitos de diseño sismo-resistente, además, cabe resaltar que para una estructura con un factor I mayor a 1, como el caso de un ART, no se deben utilizar sistemas estructurales de ductilidad limitada.

4.11. Diseño Basado en Fuerzas

Todas las estructuras se deben diseñar de manera que resistan fuerzas sísmicas que provengan de cualquier dirección.

4.12. Cortante Basal de Diseño V

En la sección 2.7.2.1 se define como “la fuerza cortante total de diseño por cargas laterales aplicada en la base de la estructura” (NEC, 2011) y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V = \frac{I S_a}{R \phi_P \phi_E} W \quad (7)$$

Donde,

I = factor de importancia.

W = carga reactiva, que es la carga muerta total de la estructura más un 25% de la carga viva de piso y 50% para bodegas o estructuras de almacenaje.

S_a = aceleración espectral correspondiente al espectro de respuesta elástico para diseño,

R = factor de reducción de respuesta estructural.

ϕ_P, ϕ_E = factores de configuración estructural en planta y en elevación.

4.13. Período de Vibración T

El periodo de vibración de una estructura, se define en la sección 2.7.2.2 como el tiempo que tarda en completar un ciclo de vibración. El valor de T puede estimarse con la siguiente ecuación:

$$T = C_t h_n^\alpha \quad (8)$$

Donde,

h_n = altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros.

- Para pórticos espaciales de hormigón armado sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras, C_t = 0.047 y α = 0.9

4.14. Distribución Vertical de Fuerzas Laterales

En la sección 2.7.2.4 se establece el procedimiento para distribuir las fuerzas laterales totales en la altura de la estructura a partir de las siguientes ecuaciones.

$$V = \sum_{i=1}^n F_i \quad ; \quad V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad ; \quad F_x = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} V \quad (9)$$

Donde,

V = cortante total en la base de la estructura, definido en 2.7.2.1.

V_x = cortante total en el piso x de la estructura

F_i = fuerza lateral aplicada en el piso i de la estructura

F_x = fuerza lateral aplicada en el piso x de la estructura

n = número de pisos de la estructura

w_x = peso aginado al piso o nivel x de la estructura, siendo una fracción de la carga reactiva W (incluye la fracción de la carga viva correspondiente, según 2.7.1.1)

w_i = peso aginado al piso o nivel i de la estructura, siendo una fracción de la carga reactiva W (incluye la fracción de la carga viva correspondiente, según 2.7.1.1)

h_x = altura del piso x de la estructura

h_i = altura del piso i de la estructura

k = coeficiente relacionado con el periodo de vibración de la estructura, que se evalúa de la siguiente manera:

$$- T \leq 0.5s, k=1.0$$

$$-0.5s < T \leq 2.5s, k = 0.75 + 0.50 T$$

$$-T > 2.5, k = 2.0$$

4.15. Dirección de Aplicación de fuerzas sísmicas

Debe suponerse las fuerzas sísmicas actúan simultáneamente sobre una estructura, 100% en una dirección y el 30% de las mismas en la dirección perpendicular. Para el cálculo se debe utilizar la combinación que requiera la mayor resistencia del elemento. “Alternativamente, los efectos ortogonales se pueden calcular como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los efectos producidos por el 100% de las fuerzas sísmicas actuando independientemente en las dos direcciones ortogonales, asignándole el signo que conduzca al resultado más conservador” (NEC, 2011).

4.16. Procedimiento dinámico de cálculo de fuerzas sísmicas

En la sección 2.7.7 de la Norma Ecuatoriana de la Construcción se exponen los criterios que deben ser cumplidos cuando se utilizan procedimientos de cálculo dinámico. Para este caso, las fuerzas sísmicas se representan mediante el espectro de respuesta elástico de aceleraciones descrito anteriormente utilizando como mínimo al sismo de diseño. Se utiliza además el procedimiento de análisis dinámico espectral con el cumplimiento de las especificaciones de la sección 2.7.7.6 de la NEC-11.

En lo referente al diseño sismo-resistente, la norma NEC-11 ha incorporado varios avances que son el producto de estudios recientes y que se ven reflejados, por ejemplo, en las curvas de peligro sísmico y los espectros elásticos de diseño. Sin embargo, debido a que la estructura de un ART debe diseñarse como edificación esencial, es indispensable realizar una verificación de desempeño sísmico como parte del proceso de diseño. Se debe mencionar además que el diseño se realizó para un suelo tipo D por la sugerencia de los estudios geo-técnicos de la empresa Suelos y Muros, partiendo de resultados preliminares de los estudios de sondeos y ensayos SPT., los cálculos se encuentran detallados en la memoria de cálculo (Anexo 2).

5. Verificación del comportamiento sismo-resistente

El hormigón se ha convertido en uno de los materiales de construcción más importantes a nivel mundial, sin embargo se conoce que su fragilidad ante terremotos ha sido el responsable de algunos colapsos a lo largo de la historia. Después de observar los efectos de terremotos como los de California en 1971 o en 1989, los códigos de construcción empezaron a ser revisados con el propósito de proveer un adecuado desempeño de los edificios para resistir fuertes movimientos de la tierra (ATC-40, 1996).

Las técnicas tradicionales de ingeniería asumen que los edificios se comportan de manera elástica ante un sismo; sin embargo, los grandes terremotos pueden causar daños severos en los edificios haciendo que estos se comporten de manera inelástica para disipar energía. Los nuevos procedimientos de análisis pueden estimar de manera más acertada el comportamiento real de un edificio durante un sismo, como el que propone ATC-40.

El ATC-40 nace como respuesta a las condiciones antes mencionadas. Su principal propósito fue proveer una metodología de análisis y diseño para ser usada en la evaluación sísmica de las estructuras y ser la base de los códigos de construcción futuros.

5.1. Nivel de desempeño sísmico

Se han propuesto algunos métodos de diseño y evaluación de estructuras basados en conceptos de desempeño sísmico, de acuerdo a los cuales, se acepta cierto nivel de daños dependiendo del nivel de terremoto. El nivel de desempeño describe una condición límite aceptable dependiendo del daño físico y la funcionalidad de la estructura, además del nivel de seguridad de sus habitantes. (ATC-40, 1996)

La propuesta del ATC-40 considera por separado los niveles de desempeño de los elementos estructurales y no estructurales. Los distintos niveles de desempeño para elementos estructurales se definen de la siguiente manera:

SP-1 Ocupación Inmediata; el daño estructural es muy limitado, el sistema que resiste a cargas verticales y laterales no sufre mayores cambios. La vida de las personas no corre peligro y la estructura sigue funcionando normalmente.

SP-2 Daño Controlado; no es un nivel como tal, se utiliza para definir una situación entre la ocupación inmediata y la seguridad de vida, es decir, cuando se desea extender la seguridad de una edificación más allá de la seguridad de vida, como es el caso de construcciones que albergan bienes valiosos.

SP-3 Seguridad de vida; los daños posteriores al terremoto pueden ser significativos, pero la mayoría de los elementos estructurales no han colapsado. La vida de los habitantes no corre peligro en el interior ni en el exterior de la estructura aunque pueda haber heridos. Los costos de reparación son bastante altos.

SP-4 Seguridad Limitada; no es un nivel como tal, se utiliza para definir una situación entre la seguridad de vida y la estabilidad estructural, es decir, cuando el nivel de seguridad de vida no es rentable.

SP-5 Estabilidad Estructural; la estructura está al borde de un colapso total o parcial, han ocurrido daños sustanciales incluyendo potenciales reducciones significativas en la rigidez y resistencia del sistema que resiste las cargas laterales, sin embargo el sistema que resiste las cargas verticales se mantiene, por lo que el edificio se mantiene en pie, no obstante las réplicas lo podrían llevar al colapso. La vida de las personas está en peligro y los daños a la estructura son irreparables.

SP-6 No Considerado; no es un nivel como tal, es una situación en la cual solo se analizan los elementos no estructurales.

En donde SP es la abreviatura de “Structural Performance”. Los niveles de desempeño de los elementos no estructurales NP (“Nonstructural Performance”) se describen a continuación.

NP-A Operacional; después del sismo, los elementos no estructurales no han sufrido daños, equipo y maquinaria permanecen operativos a pesar de que algunos servicios externos no están disponibles.

NP-B Ocupación Inmediata; después del sismo, los elementos no estructurales no han sufrido daños, sin embargo no se asegura el funcionamiento de equipo y maquinaria.

NP-C Seguridad de vida; después del sismo se consideran daños considerables en los sistemas y elementos no estructurales, el colapso no está considerado ni la caída de objetos pesados que puedan causar heridas graves, el equipo y la maquinaria dejan de funcionar. La vida de las personas no corre ningún riesgo.

NP-D Amenaza reducida; después del sismo se presentan daños graves en los sistemas y elementos no estructurales, el colapso no está considerado ni la caída de objetos pesados que puedan causar heridas graves, aunque pueden ocurrir casos aislados.

NP-E No Considerado; no es un nivel como tal, provee una designación para el caso en donde los elementos no estructurales que no tienen influencia en la respuestas estructural no son evaluados.(ATC-40, 1996).

ATC-40 define como nivel de desempeño de la estructura a la combinación de un nivel de desempeño estructural y de uno no estructural. De todas las combinaciones posibles, cuatro de ellas definen los niveles de desempeño de la estructura más comúnmente referenciados (tabla 30).

	Nivel de Prevención al colapso 5-E	Nivel de Seguridad de vida 3-C	Nivel de ocupación inmediata 1-B	Nivel operacional 1-A
Daño Global	Severo	Moderado	Ligero	Muy Ligero
General	Pequeña resistencia y rigidez residual, pero columnas y muros cargadores funcionando. Grandes derivas permanentes. Algunas salidas bloqueadas. Parapetos no asegurados que han fallado o tienen alguna falla incipiente. El edificio está cerca del colapso.	Algo de resistencia y rigidez residual ha quedado en todos los pisos. Elementos que soportan cargas gravitacionales aún funcionando. Fallas en muros dentro de su plano o parapetos inclinados. Algo de deriva permanente. Daño en paredes divisorias. El edificio se mantiene económicamente reparable.	No hay deriva permanente. La estructura aún mantiene resistencia y rigidez originales. Fisuras menores en fachadas, paredes divisorias, cielos rasos así como elementos estructurales. Los ascensores aún pueden ser encendidos. Sistema contraincendios aún operable.	No hay deriva permanente. La estructura aún mantiene la resistencia y rigidez originales, Fisuras menores en fachadas, paredes divisorias y cielos rasos así como en elementos estructurales. Todos los sistemas importantes para una operación normal están en funcionamiento.
Componentes no Estructurales	Daño severo	Peligro de caída de objetos mitigado pero bastante año en sistemas: arquitectónico, mecánico y eléctrico.	Equipos y contenido están seguros de manera general, pero algunos no operan debido a fallas mecánicas o falta de utilidad.	Ocurre daño insignificante. La energía eléctrica y otros servicios están disponibles, posiblemente por servicios de reserva.

Tabla 30. Control de Daño y Niveles de desempeño para Edificios (NEC, 2011)

5.2. Desempeño objetivo

El nivel de desempeño esperado de una estructura describe el comportamiento satisfactorio de la misma ante distintas intensidades sísmicas (ATC-40, 1996), es decir, el desempeño objetivo que debería alcanzar dicha estructura sometida a un nivel específico de terremoto y que se define de acuerdo a las necesidades o especificaciones de un código de construcción. Se pueden definir distintos niveles de desempeño esperado al seleccionar dos o más niveles de desempeño para diferentes niveles de movimiento.

El nivel de movimiento del suelo se puede ser expresado de manera probabilística, donde se indique el nivel de intensidad (por ejemplo, medido con la variable aceleración sísmica máxima) asociado a una probabilidad de ocurrencia dada; o de manera

determinística, donde se indica la intensidad sísmica máxima esperada para un evento de magnitud y falla fuente específicos. Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (sección 3.2), luego de haber diseñado una estructura de acuerdo a los requisitos expuestos en el capítulo anterior, se debe realizar una verificación del correcto desempeño sísmico en el rango inelástico, de manera que cumpla con el nivel de Seguridad de Vida ante el sismo de diseño (período de retorno = 475 años) y no colapse (nivel de Prevención al Colapso) ante un terremoto de 2500 años de período de retorno (probabilidad de excedencia de 2% en 50 años)(NEC, 2011). Como parte de la verificación del desempeño estructural, se utiliza una combinación de cargas gravitacionales y sísmicas diferente (ecuación 10).

$$1.1 (D + 0.25L) + E \quad (10)$$

5.3. Análisis estático no lineal

Para evaluar el desempeño de una estructura existen varios métodos de análisis tanto elásticos (lineales) como inelásticos (no lineales). Tradicionalmente una edificación es analizada de manera elástica, sin embargo, al ocurrir un sismo, una estructura empieza a comportarse de manera inelástica y presenta una resistencia adicional a la considerada. Por otra parte, el análisis estático no lineal permite considerar este comportamiento, en el cual las deformaciones de los elementos exceden su capacidad elástica y la estructura sufre daños.

A pesar de que el análisis elástico es una buena estimación de la capacidad elástica de la estructura e indica el límite de fluencia, es incapaz de predecir los mecanismos de ruptura o tomar en cuenta la redistribución de fuerzas a medida que continúa la fluencia. El uso de métodos inelásticos permite entender cómo trabaja la estructura identificando modos de falla y el potencial de colapso de la misma y resuelve la incertidumbre asociada los procedimientos típicos (ATC-40, 1996).

Existen algunos métodos para realizar un análisis no lineal; sin embargo, debido a la complejidad y poco practicidad de este tipo de análisis se ha recurrido a los métodos simplificados que permiten estimar los valores de fuerza y desplazamiento medios y se utilizan para comparar la capacidad de la estructura con la demanda sísmica a la que

puede ser sometida. Algunos de estos métodos son: método del espectro capacidad-demanda, que usa la intersección entre la curva de capacidad (pushover) y el espectro de respuesta reducido para estimar el desplazamiento máximo; método de coeficiente de desplazamiento, que usa el análisis *pushover* y una versión modificada de la aproximación de igual desplazamiento (*equal displacement approximation*); y el método de la secante que utiliza una estructura sustituta y una rigidez secante (ATC-40, 1996).

Debido a la practicidad del Método del Espectro Capacidad-Demanda y a que permite comparar claramente el espectro de capacidad de la estructura con el espectro de demanda sísmica, ha sido el método escogido para utilizarse en la evaluación sísmica de las ART.

5.3.1. Método del espectro capacidad-demanda

“En términos generales, el método consiste en comparar el espectro de capacidad de la estructura con el espectro de la demanda sísmica para identificar el desplazamiento máximo o punto de desempeño, donde la capacidad y la demanda se igualan, permitiendo estimar la respuesta máxima de la edificación, la cual servirá de base para compararla con el nivel de desempeño deseado” (Safina, 2003)

Tres conceptos básicos se deben considerar para entender este método: capacidad, demanda (desplazamiento) y desempeño. La capacidad es una representación de la habilidad de la estructura para resistir la demanda sísmica y depende de las capacidades de resistencia y deformación de los elementos individuales de la estructura. La demanda es una representación del movimiento de la tierra producido por un sismo, el cual provoca desplazamientos horizontales en las estructuras que varían con el tiempo. Y el desempeño se refiere a la manera en que la estructura es capaz de resistir la demanda de un terremoto, cuando la curva de capacidad y demanda han sido definidas se puede verificar si los componentes no han sobrepasado los límites aceptables de desempeño (ATC-40, 1996).

La capacidad de una estructura y la demanda de un sismo están directamente relacionadas, de manera que si la segunda aumenta, la estructura pierde rigidez, los

períodos de vibración se hacen más largos y la energía disipada por ciclo aumenta (Safina, 2003).

5.3.1.1. Espectro de capacidad

La capacidad de una estructura se representa con la curva de capacidad de la misma (fuerza vs. desplazamiento). Dicha curva se representa como el cortante basal V medido para incrementos de estados de carga horizontal, en función del desplazamiento lateral del último piso de la estructura Δ_r . Este análisis es conocido como *pushover* pues implica un proceso de empujar horizontalmente la estructura incrementando el patrón de carga hasta que la estructura alcance un estado límite. Se pueden ingresar varios patrones de carga para realizar este análisis; sin embargo para este caso se utilizará la distribución triangular de la Norma Ecuatoriana de Construcción 2011 pues se ha comprobado que los patrones de carga triangular producen resultados bastante similares a los reales. La curva se representa por segmentos de rectas consecutivas con pendiente decreciente debido a la pérdida de rigidez y daño de los elementos (ATC-40, 1996).

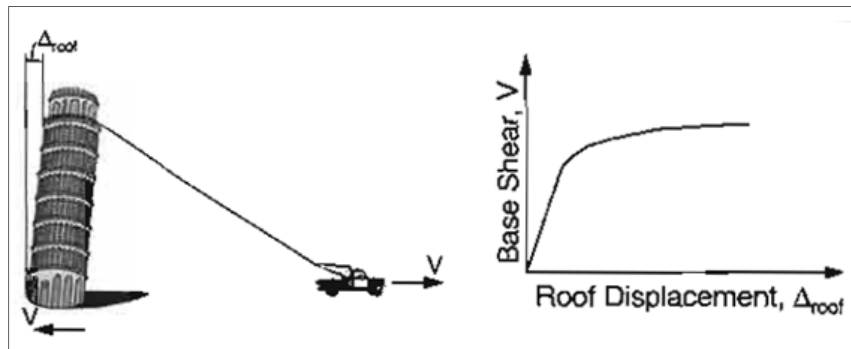


Figura 54. Curva de capacidad (ATC-40, 1996)

Para usar el método del espectro de capacidad-demanda, es necesario convertir la curva de capacidad a un espectro de capacidad que es una representación de la primera en un formato ADRS (Aceleración-Desplazamiento-Response-Spectra), es decir, aceleración espectral S_a vs desplazamiento espectral S_d .

Esta transformación requiere de una conversión punto por punto, donde cada punto (V_i, Δ_{ij}) en la curva de capacidad es convertido a un punto (S_{ai}, S_{dj}) correspondiente en el espectro de capacidad usando las ecuaciones 11 y 12.

$$S_{ai} = \frac{V_i/W}{\alpha_1} \quad (11)$$

$$S_{di} = \frac{\Delta t}{PF_i \times \phi_{1,t}} \quad (12)$$

Donde,

V = cortante basal

W = peso muerto de la estructura + posibles cargas viva

α_1 = masa modal del modo fundamental de vibración

Δt = desplazamiento del techo

PF_i = factor de participación del modo fundamental de vibración

$\phi_{1,t}$ = amplitud en el último piso (techo) del modo fundamental de vibración.

(ATC-40, 1996)

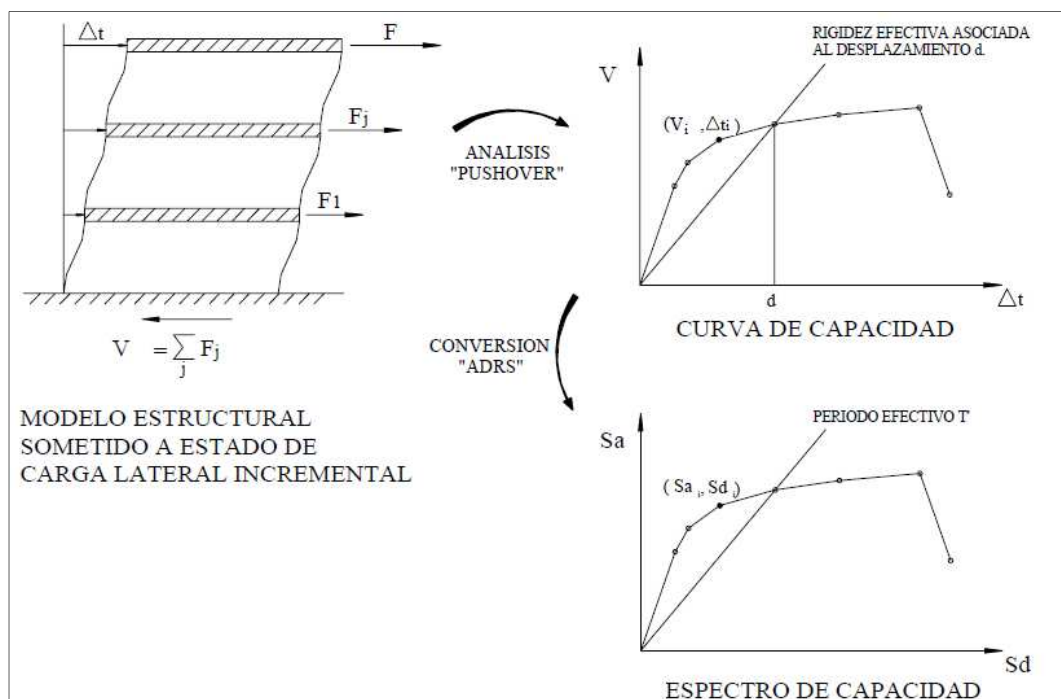


Figura 55. Proceso de obtención del espectro de capacidad. (Safina, 2003)

5.3.1.2. Espectro de demanda

La obtención del espectro de capacidad es muy útil pues permite tener una visión clara de las características de desempeño del edificio, sin embargo para determinar si la estructura cumple con el nivel de desempeño esperado es necesario estimar el desplazamiento máximo probable para un nivel de terremoto determinado.

El espectro de respuesta que se obtiene a partir de las normas de construcción funciona para el rango elástico y utiliza un 5% de amortiguamiento para estructuras de hormigón armado. El espectro de demanda se obtiene al reducir el espectro de respuesta antes descrito, que representa la demanda no lineal para el mismo desplazamiento estructural, para esta transformación es necesario utilizar factores de reducción espectrales que están dados en términos del amortiguamiento efectivo y dependen del tipo de comportamiento estructural (Tabla 31). Cuando se tienen grandes deformaciones, la estructura es capaz de disipar mucha más energía, por este hecho la demanda sísmica inicial debe reducirse en proporción a este incremento del amortiguamiento efectivo. El amortiguamiento cuando la estructura está en el rango inelástico puede ser visto como una combinación de amortiguamiento viscoso y amortiguamiento hysterético. Un amortiguamiento efectivo aproximado se calcula en base a la forma de la curva de capacidad, la demanda de desplazamiento estimada y la curva resultante de histéresis(ATC-40, 1996).

Duración de nivel de movimiento sísmico ¹	Estructura nueva ²	Estructura existente promedio ³	Estructura existente pobre ⁴
Corta	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Larga	Tipo B	Tipo C	Tipo C
<ol style="list-style-type: none"> 1. Para lugares cercanos a una falla se considera duración corta y para lugares lejanos a la falla se considera duración larga. 2. Edificio cuyos elementos primarios conforman un sistema de resistencia a la carga lateral esencialmente nuevo y cumplen con un código reciente, los elementos en incumplimiento tienen poca contribución a la resistencia y rigidez. 3. Edificio cuyos elementos primarios son una combinación de elementos nuevos y existentes o mejores que el promedio de sistemas existentes. 4. Edificio cuyos elementos primarios conforman un sistema de resistencia a cargas laterales en incumplimiento a un código reciente, con un comportamiento hysterético pobre o nulo. 			

Tabla 31. Tipos de comportamiento estructural (ATC-40,1996)

Una vez reducido el espectro de respuesta debe ser transformado al formato ADRS, es decir, donde cada punto (S_{ai}, T_i) tendrá un punto (S_{ai}, S_{di}) correspondiente a partir de la ecuación 13. De modo que “el espectro de demanda es una representación gráfica de la aceleración máxima de respuesta respecto al correspondiente desplazamiento máximo, para un período y nivel de amortiguamiento dados.” (Safina, 2003)

$$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{ai} g \quad (13)$$

5.3.1.3. Intersección del espectro de capacidad y espectro de demanda

La intersección del espectro de capacidad con el espectro de demanda se conoce como *punto de desempeño* y representa el desplazamiento estructural máximo esperado para la demanda sísmica (Figura 56).

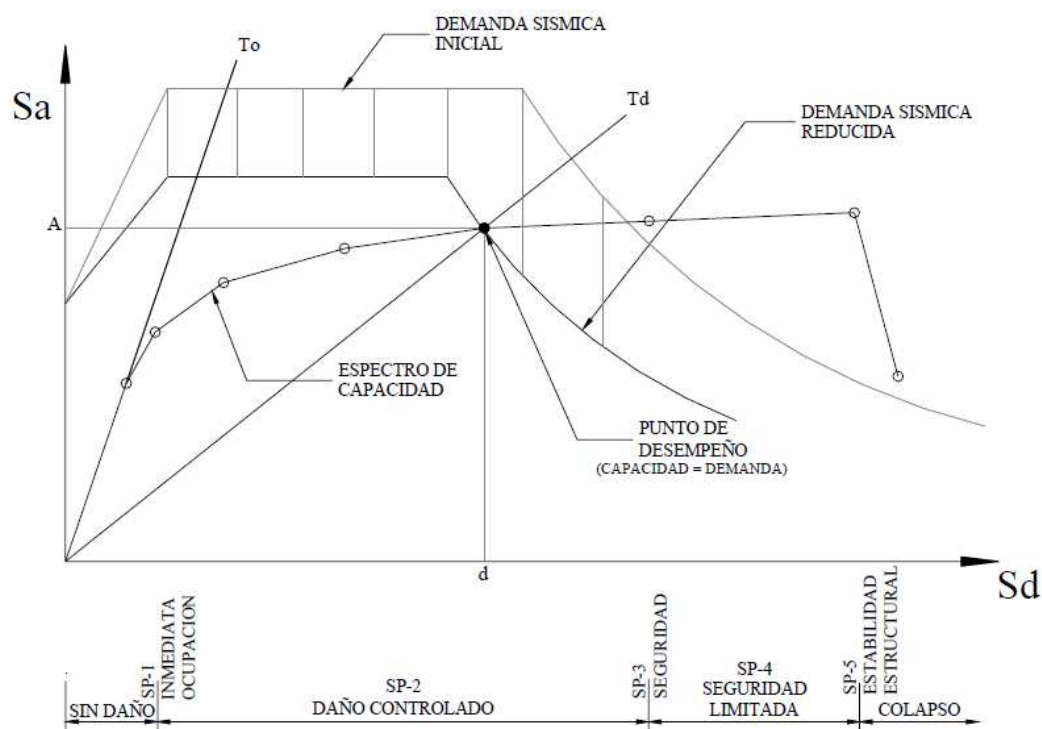


Figura 56. Espectro de capacidad-demanda (Safina, 2003).

El espectro de capacidad-demanda permite determinar la respuesta estructural máxima del sistema y por lo tanto medir el nivel de desempeño sísmico de la estructura durante un sismo determinado. Por último, es necesario señalar que la intención de este método no es obtener una solución exacta, pero da como resultado buenas estimaciones del comportamiento real de la estructura.

5.4. Reglas de modelado

Para poder realizar el análisis pushover es necesario tener algunas consideraciones que se describen en las reglas de ATC-40 y se encuentran ampliadas en FEMA-356. Para empezar deben ser determinados los patrones de carga gravitacional, que incluye la carga muerta y viva, y la carga lateral que simula los efectos de un terremoto. A continuación se debe construir un modelo analítico considerando las características del comportamiento global de la estructura incluyendo distribución de masa, resistencia, rigidez y deformación. El modelo analítico debe representar todos los elementos y componentes que influyen en las características mencionadas anteriormente. Los elementos son porciones de la estructura horizontal o vertical que actúan para resistir carga vertical o lateral como pórticos. Los elementos están compuestos de componentes como vigas, losas, columnas, nudos, etc. Para pórticos de hormigón se debe tener claro si la estructura es un pórtico viga-columna o losa-columna. El modelo de los componentes debe incluir la respuesta local, debido a que tanto vigas como columnas pueden desarrollar respuesta inelástica en sus extremos en caso de incursionar en el rango inelástico luego de un sismo severo, es necesario modelar rótulas plásticas dichas zonas, tarea que puede ser realizada en programas de análisis y diseño estructural como SAP2000 o ETABS. A medida que se realiza el análisis pushover el programa muestra las rótulas que se van formando paso a paso con un código de colores que corresponde a los distintos niveles de desempeño como podemos ver en la figura 57.

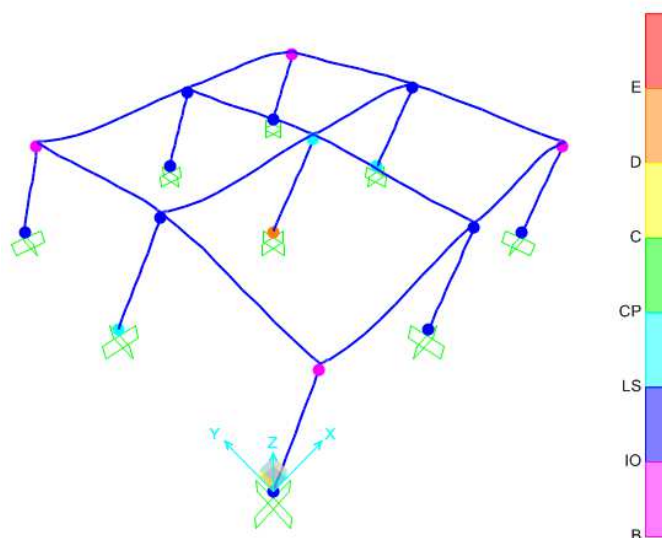


Figura 57. Rótulas plásticas en SAP2000

El comportamiento de los componentes es modelado generalmente usando una relación no lineal definida por una serie de segmentos de línea recta, la figura 58 muestra una representación típica en donde el punto A corresponde al componente sin carga, a partir de éste se describe una respuesta lineal hasta el punto de fluencia B y luego otra respuesta lineal con una rigidez reducida hasta el punto C, donde se asume que el componente deja de resistir carga lateral y la caída de resistencia hasta el punto D representa la falla inicial del componente. E corresponde al punto en el que los componentes dejan de resistir carga gravitacional. Los puntos IO, LS y CP son incorporados por los programas para definir los niveles de desempeño de: ocupación inmediata, seguridad de vida y prevención de colapso (FEMA-356, 2000). Una alternativa para generalizar la deformación de los puntos mostrados en la figura 58 es utilizar la rotación de las rótulas plásticas (curva momento-rotación) como propone ATC-40 y como lo hacen los programas de computación al incorporar las tablas desarrolladas en este código y mejoradas en FEMA-356 que son el resultado de estudios empíricos (ATC-40, 1996).

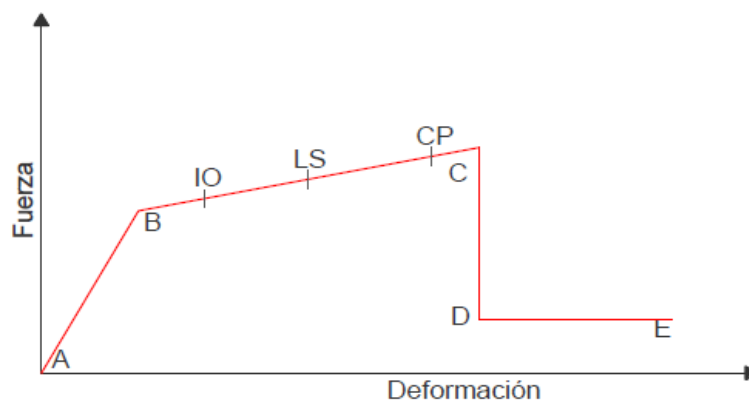


Figura 58. Niveles de desempeño en la curva fuerza-deformación de un componente (Alemán & Naranjo, 2003)

Los materiales también deben ser modelados de acuerdo a sus propiedades, para el hormigón por ejemplo, es necesario considerar la resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad, la densidad de los agregados y la variabilidad. Para el caso del acero se debe tomar en cuenta el grado, las deformaciones, corrosión, entre otros; además para poder realizar pushover es necesario haber ingresado el armado de las vigas y columnas según el diseño previamente establecido.

5.5. Criterios de Aceptación

Para determinar si una estructura alcanza el desempeño objetivo especificado la respuesta del análisis estático no lineal debe ser comparada con los límites apropiados propuestos por ATC-40. En esta sección se presentan dichos límites de respuesta estructural, los cuales constituyen el criterio de aceptación para la estructura. Los límites de respuesta se clasifican en dos categorías: límites de aceptabilidad globales de la estructura y límites de aceptabilidad de elementos y componentes.

Los límites de aceptabilidad globales de la estructura incluyen requerimientos para la capacidad de carga vertical, resistencia a la carga lateral y deriva lateral. En cuanto a los límites de aceptabilidad de elementos y componentes, cada elemento (pórtico, pared, losa, cimentación) debe ser revisado para determinar si sus componentes están dentro de los límites aceptables.

Como se había mencionado anteriormente, el desempeño objetivo representa el nivel de desempeño deseado para un terremoto específico. Si las respuestas obtenidas del análisis exceden los límites de aceptabilidad dados, se considera que la estructura no alcanza el desempeño objetivo y por lo tanto debe ser redefinido o el diseño estructural debe ser mejorado.

5.5.1. Límites de aceptabilidad globales

La capacidad de la estructura para resistir la carga vertical debe permanecer intacta para el desempeño aceptable a cualquier nivel. Cuando un elemento o componente pierde dicha capacidad, la estructura debe ser capaz de redistribuir la carga vertical a otros elementos o componentes.

La resistencia de la estructura a la carga lateral no se debe degradar en más del 20% de la resistencia máxima de la estructura. Dos efectos pueden llevar a la pérdida de resistencia a la carga lateral, el primero es el efecto P- Δ que se refiere a la carga gravitacional actuando a medida que la estructura se deforma lateralmente y el segundo es la degradación en la resistencia de componentes individuales de la estructura bajo la acción de ciclos de deformación.

La deformación lateral en el punto de desempeño debe ser comparada con la deformación límite de la tabla 32 para varios niveles de desempeño. La deriva total máxima se define como la deriva entre piso para el desplazamiento del punto de desempeño. La deriva inelástica máxima se define como la porción de la deriva total máxima que está más allá del límite de fluencia efectiva. Para estabilidad estructural, V_i es la fuerza de corte lateral total calculada en el piso i y P_i es la carga gravitacional total en el piso i .

Nivel de desempeño				
Límite de deriva entre piso	Ocupación Inmediata	Control de Daños	Seguridad de Vida	Estabilidad Estructural
Deriva total máxima	0.01	0.01-0.02	0.02	$0.33 * \frac{V_i}{P_i}$
Deriva inelástica máxima	0.005	0.005-0.015	Sin límite	Sin límite

Tabla 32. Límites de deformación lateral (ATC-40, 1996)

5.5.2. Límites de aceptabilidad para elementos y componentes

Los elementos y componentes se clasifican en primarios y secundarios según su significancia en el sistema para resistir la carga lateral en o cerca del punto de desempeño. Los elementos y componentes que proveen una porción significativa de la resistencia o rigidez lateral de la estructura en el punto de desempeño son considerados como primarios; otros elementos y componentes son considerados secundarios. Esta clasificación requiere y permite la aplicación del criterio ingenieril. Esta clasificación es útil pues se hace una distinción en los límites para estos dos tipos de componentes.

Las deformaciones calculadas de los componentes no pueden exceder la deformación límite para los niveles de desempeño apropiados. Estos límites se establecen utilizando una relación fuerza-deformación como la que se describió en la sección 5.3. ATC-40 presenta una serie de tablas (Tablas 33-36) que describen los parámetros de modelado y los criterios de aceptación numéricos para los distintos componentes. Dichas tablas han sido mejoradas por FEMA-356 y se encuentran incorporadas en algunos programas de computación como SAP2000 de manera que se pueda mostrar el nivel de desempeño correspondiente en cada rótula. Las celdas coloreadas en verde representan los valores que fueron modificados debido a mejoras en los estudios, todos ellos se incrementaron aumentando el rango de tolerancia (FEMA-356, 2000).

Criterios de Aceptación Numéricos para rotaciones de rótulas plásticas en Vigas de Hormigón Armado, en radianes							
Tipo de componente		Nivel de Desempeño ³					
		Primario			Secundario		
		IO	LS	CP	LS	CP	
1 Vigas controladas por flexión¹							
$\frac{\rho-\rho'}{\rho_{bal}}$	Refuerzo Transversal ²	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$ ⁴					
≤ 0	C	≤ 3	0.010	0.02	0.025	0.02	0.05
≤ 0	C	≥ 6	0.005	0.01	0.02	0.02	0.04
≥ 0.5	C	≤ 3	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≥ 0.5	C	≥ 6	0.005	0.005	0.015	0.015	0.02
≤ 0	NC	≤ 3	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≤ 0	NC	≥ 6	0.0015	0.005	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	≤ 3	0.005	0.01	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	≥ 6	0.0015	0.005	0.005	0.005	0.01
2 Vigas controladas por corte¹							
Espaciamiento del Estribo $\leq d/2$			0.0015	0.0020	0.0030	0.01	0.02
Espaciamiento del Estribo $> d/2$			0.0015	0.0020	0.0030	0.005	0.01
3 Vigas controlados por traslape inadecuado a lo largo del vano¹							
Espaciamiento del Estribo $\leq d/2$			0.0015	0.0020	0.0030	0.01	0.02
Espaciamiento del Estribo $> d/2$			0.0015	0.0020	0.0030	0.005	0.01
4 Vigas embebidas inadecuadamente en el nudo viga-columna¹							
			0.01	0.01	0.015	0.02	0.03
<p>1. Cuando más de una de las condiciones 1,2,3 y 4 ocurre para un componente dado, use el valor numérico mínimo apropiado de la tabla.</p> <p>2. Bajo el encabezado de "Refuerzo Transversal," "C" y "NC" son abreviaciones para detalles conformados y no conformados. Un componente es conformado si, dentro de la región de flexión plástica, los estribos están espaciados $\leq d/3$, y si, para componentes de moderada a gran demanda de ductilidad, la fuerza que proveen los estribos (Vs) es al menos $\frac{3}{4}$ del cortante de diseño, caso contrario el componente es no conformado.</p> <p>3. La interpolación lineal entre los valores de la tabla está permitida.</p> <p>4. V= cortante de diseño</p> <p>5. Para concreto alivianado usar el 75% de los valores tabulados.</p>							

Tabla 33. Criterios de Aceptación Numéricos para rotaciones de rótulas plásticas en Vigas de Hormigón Armado (FEMA-356, 2000)

Criterios de Aceptación Numéricos para rotaciones de rótulas plásticas en Columnas de Hormigón Armado, en radianes							
Tipo de componente			Nivel de Desempeño ⁴				
			Primario			Secundario	
			IO	LS	CP	LS	CP
1 Columnas controladas por flexión¹							
$\frac{P}{A_g f'_c}$ ⁵	Refuerzo Transversal ²	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$ ⁶					
≤0.1	C	≤3	0.005	0.015	0.02	0.015	0.03
≤0.1	C	≥6	0.005	0.012	0.016	0.016	0.024
≥0.4	C	≤3	0.003	0.005	0.015	0.01	0.025
≥0.4	C	≥6	0.003	0.005	0.01	0.01	0.015
≤0.1	NC	≤3	0.005	0.005	0.01	0.005	0.015
≤0.1	NC	≥6	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
≥0.4	NC	≤3	0.002	0	0.005	0	0.005
≥0.4	NC	≥6	0.002	0	0	0	0
2 Columnas controladas por corte^{1,3}							
Todos los casos			0	0	0	0.0030	0.0040
3 Columnas controlados por un inadecuado traslape a lo largo de la luz libre^{1,3}							
Espaciamiento del Estribo ≤ d/2			0.005	0.005	0.01	0.01	0.02
Espaciamiento del Estribo > d/2			0	0	0	0.005	0.01
4 Columnas con carga Axial que excede el 0.7P0^{1,3}							
Refuerzo conformado sobre la longitud			0	0.005	0.01	0.01	0.02
Resto de casos			0	0	0	0	0
<p>1. Cuando más de una de las condiciones 1, 2, 3, y 4 ocurre para un componente dado, use el valor numérico mínimo apropiado de la tabla.</p> <p>2. Bajo el encabezado de "Refuerzo Transversal," "C" y "NC" son abreviaciones para detalles conformados y no conformados. Un componente es conformado si, dentro de la región de flexión plástica, los estribos están espaciados ≤ d/3, y si, para componentes de moderada a gran demanda de ductilidad, la fuerza que proveen los estribos (Vs) es al menos ¾ del cortante de diseño, caso contrario el componente es no conformado.</p> <p>3. Para calificar, las columnas deben tener refuerzo transversal conformado por zunchos. De otra manera, las acciones deben ser tratadas como controladas por fuerza.</p> <p>4. La interpolación lineal entre los valores de la tabla, está permitida.</p> <p>5. P= Fuerza axial de diseño.</p> <p>6. V= cortante de diseño</p> <p>7. Para concreto alivianado usar el 75% de los valores tabulados.</p>							

Tabla 34. Criterios de Aceptación Numéricos para rotaciones de rótulas plásticas en Columnas de Hormigón Armado (FEMA-356, 2000)

Criterios de Aceptación Numéricos para ángulo de corte total en nudos viga-columna de hormigón armado, en radianes							
Tipo de componente			Nivel de Desempeño ⁴				
			Primario			Secundario	
			IO	LS	CP	LS	CP
1 Nudo Interior							
$\frac{P}{A_g f'_c}$ ²	Refuerzo Transversal ¹	$\frac{V}{V_n}$					
≤0.1	C	≤1.2	0	0	0	0.02	0.03
≤0.1	C	≥1.5	0	0	0	0.015	0.02
≥0.4	C	≤1.2	0	0	0	0.015	0.025
≥0.4	C	≥1.5	0	0	0	0.015	0.02
≤0.1	NC	≤1.2	0	0	0	0.015	0.02
≤0.1	NC	≥1.5	0	0	0	0.01	0.015
≥0.4	NC	≤1.2	0	0	0	0.01	0.015
≥0.4	NC	≥1.5	0	0	0	0.01	0.015
2 Otros Nudos							
	Ref. Trans2						
≤0.1	C	≤1.2	0	0	0	0.015	0.02
≤0.1	C	≥1.5	0	0	0	0.01	0.015
≥0.4	C	≤1.2	0	0	0	0.015	0.02
≥0.4	C	≥1.5	0	0	0	0.01	0.015
≤0.1	NC	≤1.2	0	0	0	0.0075	0.01
≤0.1	NC	≥1.5	0	0	0	0.0075	0.01
≥0.4	NC	≤1.2	0	0	0	0.005	0.0075
≥0.4	NC	≥1.5	0	0	0	0.005	0.0075
<p>1. Bajo el encabezado de "Refuerzo Transversal," "C" and "NC" son abreviaciones para detalles conformados y no conformados. Un componente es conformado si, los estribos están espaciados a ≤h/3 dentro del nudo, caso contrario el componente es no conformado.</p> <p>2. Este es el coeficiente del diseño de fuerza axial en la columna sobre el nudo para el producto del área transversal y la resistencia del concreto. La fuerza de diseño axial es calculada considerando las fuerzas de diseño gravitacionales y laterales.</p> <p>3. Este es el coeficiente de la fuerza cortante diseño sobre la resistencia a cortante del nudo.</p> <p>4. La interpolación lineal entre los valores de la tabla, está permitida.</p> <p>5. Para concreto alivianado usar el 75% de los valores tabulados.</p> <p>6. Deformación no elástica es permitida pues la fluencia de los nudos no es admitida en una estructura conformada.</p>							

Tabla 35. Criterios de Aceptación Numéricos para ángulo de corte total en nudos viga-columna de hormigón armado (FEMA-356, 2000)

Criterios de Aceptación Numéricos para rotaciones de rótulas plásticas en losas bidireccionales y conexiones losa-columnas, en radianes						
Tipo de componente		Nivel de Desempeño ⁴				
		Primario			Secundario	
		IO	LS	CP	LS	CP
1 Losas controladas por flexión y conexiones losa-columna						
$\frac{V_{g2}}{V_0}$	Continuidad del Refuerzo ³					
≤0.2	SI	0.01	0.015	0.02	0.03	0.05
≥0.4	SI	0	0	0	0.03	0.04
≤0.2	NO	0.01	0.015	0.02	0.015	0.02
≥0.4	NO	0	0	0	0	0
2 Losas controlados por un inadecuada longitud de desarrollo traslape a lo largo del vano¹						
		0	0	0	0.01	0.02
3 Losas controladas por inadecuado embebimiento en la conexión losa-columna¹						
		0.01	0.01	0.015	0.02	0.03
1. Cuando más de una de las condiciones 1, 2, y 3 ocurren para un determinado componente, use el valor numérico mínimo apropiado de la tabla. 2. V_g = el cortante en dirección de la gravedad actuante en sección crítica de la losa definido en ACI 318; V_0 = el punzonamiento directo definido por ACI 318. 3. Bajo el Título de “Continuidad del refuerzo”, use “SI” donde al menos una de las varillas inferiores principales en cada dirección es efectivamente continua a través del nudo de la columna. Caso contrario, use “NO”. 4. La interpolación entre valores de la tabla está permitida.						

Tabla 36. Criterios de Aceptación Numéricos para rotaciones de rótulas plásticas en losas bidireccionales y conexiones losa-columnas (ATC-40, 1996)

5.6. Análisis no lineal en SAP2000

Para efectuar el análisis no lineal de un ART en el programa SAP2000 es necesario crear una combinación de carga gravitacional no lineal (CGNL) como se señala en la sección de Análisis de Verificación del Desempeño Estructural de la NEC-11. Se utilizó el modelo generado en la etapa de diseño que cumple las reglas de modelado mencionadas en este capítulo e incluye el armado definitivo en vigas y columnas. Sin embargo, fue necesario añadir las rótulas plásticas en vigas y columnas para considerar el comportamiento inelástico de las mismas. El programa permite asignarlas de manera automática según los lineamientos de FEMA-356 (tablas 6-7 y 6-8) que coinciden con los de ATC-40 en el cuadro de diálogo Auto Hinge Assignment Data (Assign/ Frame / Hinges...).

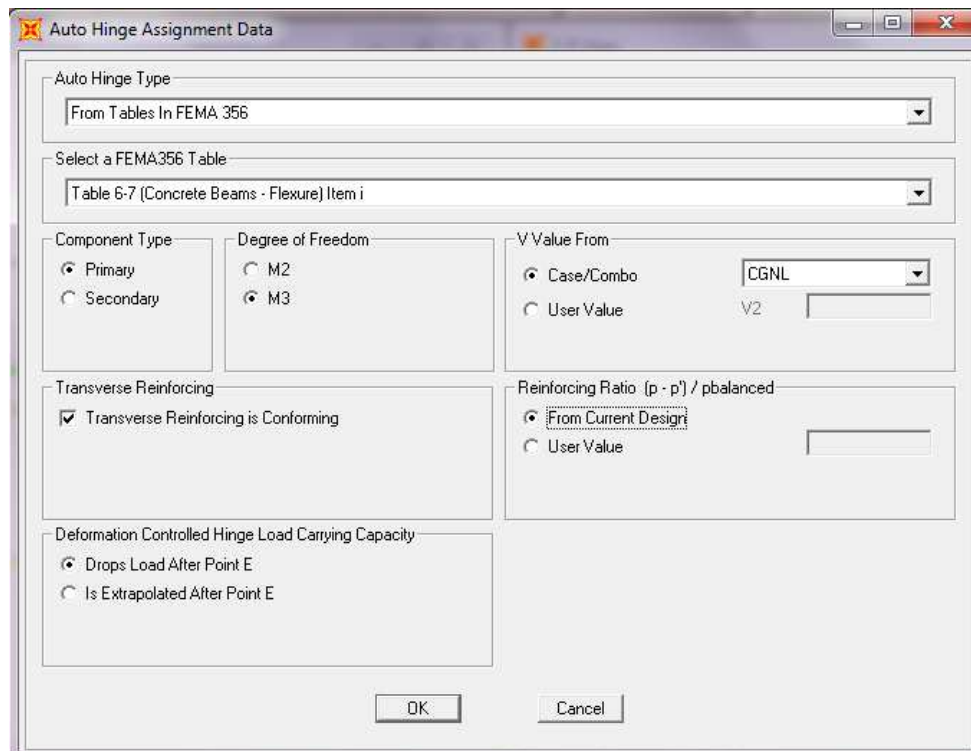


Figura 59. Asignación automática de rótulas plásticas en vigas en SAP2000

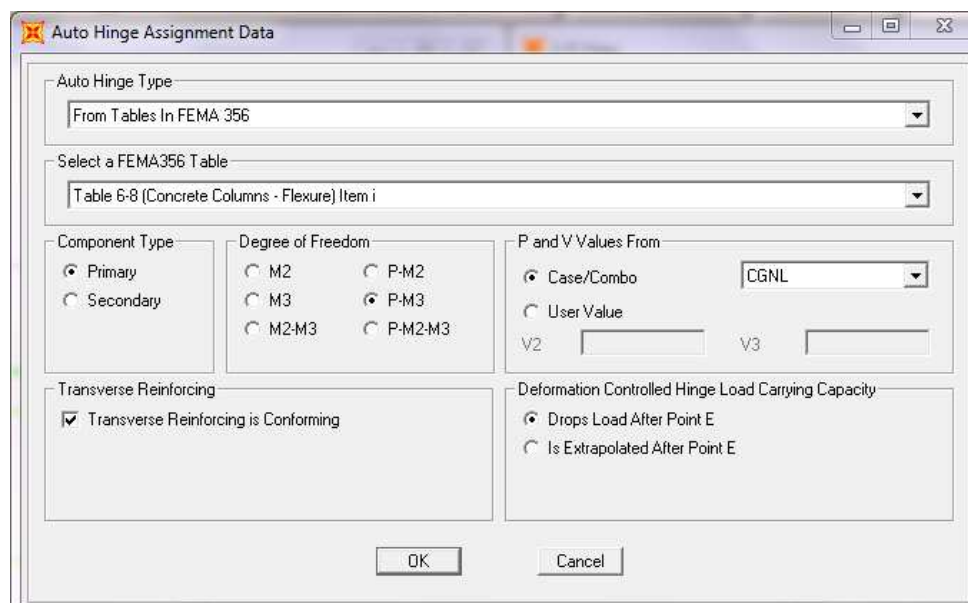


Figura 60. Asignación automática de rótulas plásticas en columnas en SAP2000

Todos los componentes se consideran primarios y conformados. La combinación de carga que se utiliza tanto en vigas como columnas para obtener el cortante y el axial es la Carga Gravitacional No Lineal (CGNL). En las vigas se asigna un grado de libertad para momento y en las columnas uno para axial y momento, los mismos que dependen

de los ejes locales del modelo y del sentido del análisis. En general, se recomienda realizar dos análisis: uno en sentido x y uno en sentido y , a menos que la estructura sea simétrica. Adicionalmente, se discretizan los componentes utilizando la opción Auto Subdivide Line Objects at Hinges con una longitud relativa de 0.02 en la rótula en el cuadro de diálogo Frame Hinge Assignment Overwrites.

A continuación es necesario crear un caso de carga no lineal que nos permitirá obtener la curva de capacidad en el cuadro de dialogo Load Case Data (Define/Load Cases...). Este caso debe continuar a partir de la carga gravitacional no lineal (Continue from State at End of Nonlinear Case): CGNL. ACT-40 y FEMA-356 recomiendan utilizar uno de los modos fundamentales de vibración de la estructura de acuerdo al sentido del análisis como tipo de carga para obtener mejores resultados, así que en Load Type se ingresa Mode y en Load Name se selecciona el número del modo a ser aplicado de acuerdo a la dirección del análisis. El programa permite modificar otros parámetros (sección Other Parameters) del análisis como aplicación de carga, resultados guardados y parámetros no lineales. La aplicación de carga debe ser controlada por desplazamiento usando un desplazamiento monitoreado de aproximadamente el 4% de la altura total del edificio para el nudo de control que de acuerdo al ATC-40 debe estar ubicado en el centro de rigideces del último nivel sin considerar azoteas que no sean parte de la estructura. En el parámetro de resultados guardados se debe elegir múltiples estados. Finalmente, en los parámetros no-lineales se debe elegir la opción de reiniciar utilizando rigidez secante como método de descarga de rótula (Hinge Unloading Method) pues así se obtienen mejores resultados (Computers and Structures Inc. (CSI), 2011) debido a que este método es muy similar al propuesto por FEMA-273 y tiene menor probabilidad de errores. Además, se recomienda aceptar el resto de configuraciones por defecto que suelen funcionar bien.

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: PUSHMODEX Set Def Name Notes: Modify/Show...

Load Case Type: Static Design...

Initial Conditions:

- Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- Continue from State at End of Nonlinear Case CGNL

 Important Note: Loads from this previous case are included in the current case.

Modal Load Case:

- All Modal Loads Applied Use Modes from Case MODAL

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	2	1.
Mode	2	1

Add Modify Delete

Analysis Type:

- Linear
- Nonlinear
- Nonlinear Staged Construction

Geometric Nonlinearity Parameters:

- None
- P-Delta
- P-Delta plus Large Displacements

Other Parameters:

- Load Application: Displ Control Modify/Show...
- Results Saved: Multiple States Modify/Show...
- Nonlinear Parameters: User Defined Modify/Show...

OK Cancel

Figura 61. Caso de carga no-lineal en SAP2000

Hasta aquí se han definido las opciones necesarias para obtener la curva de capacidad, ahora es preciso definir los espectros de demanda especificados en los desempeños objetivos. En este caso, siguiendo los reglamentos de la NEC-11 se deben cargar dos espectros, uno de $T_r = 475$ años y otro de $T_r = 2500$ años. El programa permite definir una función de espectro de respuesta mediante un archivo de texto con los valores de la curva.

Por último, después de haber seguido estos pasos, se ejecuta el análisis y se revisan los resultados obtenidos. Esta revisión consiste en determinar si la estructura cumple con los desempeños objetivos. Para ello se debe obtener la visualización de la curva de capacidad pushover.

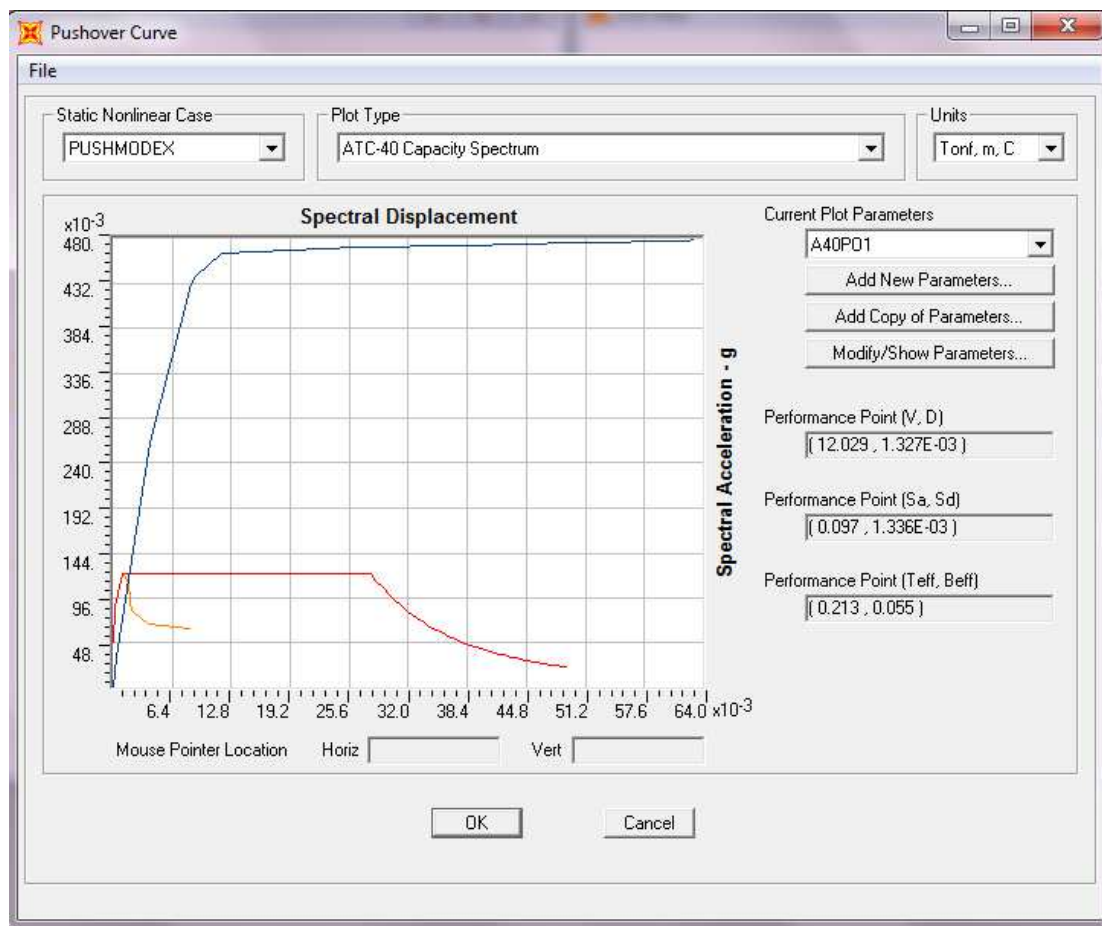


Figura 62. Curva de capacidad en SAP2000

En este cuadro de diálogo se configuran las opciones de trazado, para comenzar se debe elegir el tipo de trazado ATC-40 Capacity Spectrum y se deben modificar los parámetros (Current Plot Parameters) de manera que se grafiquen los espectros de capacidad definidos por el usuario (Tr de 475 y 2500 años). Se elige el tipo de comportamiento estructural A debido a la cercanía del edificio nuevo a la falla geológica (Tabla 31) y no es necesario graficar espectros de demanda además del correspondiente al 5% de amortiguamiento.

El punto de desempeño muestra el período de la estructura para la demanda asignada y a partir de este se puede determinar el paso del análisis pushover que debe ser revisado (Display / Deformed Shape) para verificar el cumplimiento del desempeño objetivo en las rótulas plásticas. En la mayoría de casos este período no va a coincidir con el período mostrado en los pasos del pushover, se debe revisar el paso con el período inmediato superior como se puede ver a continuación (en el cuadro de diálogo Pushover Curve, File / Display Tables).

Step	Teff	Beff	SdCapacity	SaCapacity	SdDemand	SaDemand	Alpha	PFPhi
0	0.199732	0.050000	0.000000	0.000000	0.001203	0.121387	1.000000	1.000000
1	0.199732	0.050000	0.000323	0.032568	0.001203	0.121387	0.951681	0.983232
2	0.245224	0.076654	0.003914	0.261990	0.001621	0.108500	0.950577	0.996337
3	0.280301	0.148199	0.008427	0.431768	0.001730	0.088617	0.949279	0.995031
4	0.286272	0.166574	0.008952	0.439757	0.001732	0.085091	0.949322	0.994248
5	0.316565	0.241402	0.011502	0.462049	0.001840	0.073901	0.948801	0.995520
6	0.322246	0.252684	0.011959	0.463600	0.001871	0.072524	0.948729	0.995598
7	0.474781	0.389492	0.026302	0.469714	0.003399	0.060694	0.948287	1.000502
8	0.570963	0.428936	0.038245	0.472275	0.004915	0.060694	0.948197	1.001828
9	0.652314	0.451307	0.050188	0.474819	0.006415	0.060694	0.948145	1.002518
10	0.723862	0.464120	0.062132	0.477357	0.007900	0.060694	0.948111	1.002941
11	0.729267	0.464897	0.063090	0.477560	0.008018	0.060694	0.948108	1.002968

Current Sort String

Current Filter String

Done

Figura 63. Determinación de paso a ser revisado en SAP2000

También es indispensable comprobar que se cumpla la deriva máxima permisible para el nivel de desempeño objetivo, se debe revisar el desplazamiento máximo de los nudos para calcular la deriva de piso. Los resultados obtenidos del análisis se encuentran descritos en la memoria de cálculo (Anexo 2).

6. Diseño del sistema de autoabastecimiento de agua potable de las Áreas de Refugio Temporal

El suministro de agua potable y de condiciones de saneamiento es indispensable para la vida y el progreso de las personas, y de especial importancia en situaciones de emergencia. El agua cumple una serie de funciones para satisfacer necesidades básicas del ser humano como la hidratación, la alimentación y la higiene persona y doméstica. Sin embargo, constituye una fuente importante de transmisión de enfermedades si se encuentra en condiciones insalubres. Por esta razón se debe garantizar la provisión de agua segura y de condiciones sanitarias básicas después de un desastre natural, como un terremoto, con la finalidad de proteger la salud pública.

Debido a la magnitud de las consecuencias que podrían presentarse si no se cumplen las condiciones antes mencionadas, han existido varias iniciativas por parte de organizaciones mundiales para proveer pautas que permitan la gestión adecuada de estos servicios. El Proyecto Esfera, lanzado en 1997 con el objetivo de crear un manual de orientación y guía para brindar una vida digna a aquellas personas afectadas por una catástrofe, es un ejemplo de ello. El diseño del sistema de autoabastecimiento de agua potable para las Áreas de Refugio Temporal está parcialmente basado en algunas normas definidas por este manual que se presentan a continuación:

- “El promedio del consumo de agua para beber, cocinar y la higiene personal en todos los hogares es por lo menos 15 litros por persona por día.
- La máxima distancia entre cualquier hogar y el lugar más cercano de suministro de agua no excede los 500 metros.
- No se tarda más de tres minutos en llenar un recipiente de 20 litros.
- Los puntos (y los sistemas) de abastecimiento de agua son mantenidos de tal forma que se dispone consistentemente y con regularidad de cantidades apropiadas de agua.
- Números máximos de personas por fuente de agua: 250 personas por grifo.
- Un máximo de 20 personas usan cada letrina/inodoro.

- Las letrinas públicas o colectivas son limpiadas y mantenidas de forma que pueden hacer uso de ellas todos los usuarios a los que se destinan.” (Proyecto Esfera, 2004)

El dimensionamiento de las necesidades de cada ART fue realizado en base a estos parámetros, considerando la población de cada una de ellas. El sistema hidro-sanitario de cada área funcionará independientemente de la red de agua potable de la ciudad, de esta manera se ha previsto que el agua se almacene en tanques ubicados dentro la estructura principal y la distribución se ejecute mediante un sistema conformado por una bomba hidroneumática y una red interna de tuberías de PVC. En este trabajo se muestra, a manera de ejemplo, el diseño del sistema de autoabastecimiento de agua potable para dos Áreas de Refugio Temporal: ART Parque La Carolina y ART Parque Metropolitano Guanguiltagua, los cálculos se encuentran detallados en la memoria de cálculo (Anexo 3).

6.1. Volumen de almacenamiento

Para calcular el volumen de almacenamiento es necesario determinar la cantidad de agua que una persona consume en un día (dotación), el número de habitantes y el tiempo de almacenamiento. Para este caso la dotación es de 15 litros por persona por día como lo especifica la norma del Proyecto Esfera, el número de personas varía dependiendo del lugar y el tiempo de almacenamiento es de un día.

Con el objetivo de economizar la construcción y el mantenimiento, se ha decidido utilizar tanques prefabricados dando prioridad a productos existentes en el mercado nacional. Después de realizar una investigación se encontró que la mejor opción son los tanques de almacenamiento de mayor capacidad disponibles en el país (5000 litros). Por cuestiones de espacio se ha dispuesto colocar un máximo de cuatro tanques por ART, en caso de que el volumen almacenado no sea suficiente para un día se ha decidido que los tanqueros de agua acudan las veces que fueran necesarias.

6.2. Caudal de diseño

Caudal es el volumen de fluido por unidad de tiempo y se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q_a = Q_v \times K \quad (13)$$

Donde,

Q_v = caudal máximo

Q_a = caudal real, se calcula sumando los caudales instantáneos mínimos de cada aparato sanitario.

K es el coeficiente de simultaneidad, se calcula a partir de la siguiente fórmula $K = (20 + 4N) / 12 * (N + 1)$, donde N es el número de viviendas. Para analizar la situación más crítica se consideraron los aparatos sanitarios en lugar de viviendas.

6.3. Caudales instantáneos mínimos

Se aplicaron los caudales instantáneos mínimos especificados en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11, tomando en cuenta los aparatos a utilizarse en las ART: duchas y grifos para el área de campamento, e inodoros, lavabos y urinarios para el interior de la estructura. Los servicios higiénicos del área de campamento no fueron considerados como aparatos a ser abastecidos pues los sanitarios portátiles antes descritos no necesitan suministro de agua.

Aparato Sanitario	Caudal instantáneo mínimo (L/s)	Presión		Diámetro según NTE INEN 1939 (mm)
		recomendada (m.c.a.)	mínima (m.c.a.)	
Ducha	0.20	10.0	3.0	16
Grifo para manguera	0.20	7.0	3.0	16
Inodoro con depósito	0.10	7.0	3.0	16
Lavabo	0.10	5.0	2.0	16
Urinario con llave	0.15	7.0	3.0	16

Tabla 37. Demandas de caudales, presiones y diámetros en aparatos de consumo

6.4. Selección de diámetros

Con el objetivo de determinar los diámetros necesarios para las tuberías de la red de distribución se aplicó la siguiente ecuación (Coker & Ludwig, 2007).

$$D = \sqrt{\frac{21.22 \times Q}{V}} \quad (14)$$

Donde,

Q es el caudal que debe llevar la tubería en l/min.

V es la velocidad del agua en la tubería en m/s. Según NEC-11, la velocidad de diseño debe fluctuar entre 0.6 m/s y 2.5 m/s. Además se considera óptimo un valor de 1.2 m/s.

6.5. Pérdidas

El flujo del agua por la tubería y accesorios ocasiona pérdidas de energía causadas por la fricción entre los dos materiales; estas pérdidas se manifiestan como una disminución de la presión entre dos puntos del sistema (Universidad de Oviedo, 2008).

6.5.1. Cálculo de pérdidas en tuberías

Se han desarrollado fórmulas empíricas para calcular las pérdidas por fricción a lo largo de una tubería. Existen dos fórmulas comunes que son empleadas de acuerdo al diámetro de la tubería. La fórmula de Flamant funciona para diámetros inferiores a dos pulgadas; para diámetros mayores se usa la fórmula de Hazen y Williams (Perez Carmona, 2002).

Hazen y Williams	Flamant
$j = (Q/280 * C * D^{2,63})^{1,85}$	$j = 6,1 * C (Q^{1,75} / D^{4,75})$
<p>j= pérdida de carga en m/m. Q= caudal en m³/s. D= diámetro en m. C= coeficiente de fricción, para PVC C=150.</p>	

Tabla 38. Fórmulas para cálculo de pérdidas en tuberías (Pérez Carmona, 2002)

6.5.2. Cálculo de pérdidas en accesorios

El método de las longitudes equivalentes está basado en la idea de que una tubería que tiene varios accesorios es equivalente a una tubería rectilínea de mayor longitud, desde el punto de vista de carga. “Consiste en sumar a la longitud del tubo, para el cálculo, longitudes que correspondan a la misma pérdida de carga que causarían los accesorios existentes en la tubería. A cada accesorio le corresponde una longitud adicional. Teniendo en consideración todos los accesorios y demás causas de pérdidas se llega a una longitud total” (Perez Carmona, 2002).

Los valores de longitud equivalente para accesorios se han calculado en base a la fórmula de Darcy-Weisbach y a investigaciones realizadas por expertos en la materia y se pueden encontrar en tablas en algunos textos de diseño de instalaciones hidro-sanitarias y se calculan con las fórmulas de la tabla 39, donde D es el diámetro en pulgadas y C es el coeficiente de fricción (Perez Carmona, 2002).

Accesorio	Longitud equivalente (m)
Codo radio medio 90°	$Le = (0.67D + 0.09) (120/C)^{1.85}$
Válvula de compuerta abierta	$Le = (0.17D + 0.03) (120/C)^{1.85}$
Tee paso directo normal	$Le = (0.53D + 0.04) (120/C)^{1.85}$
Tee paso de lado y salida bilateral	$Le = (1.56D + 0.37) (120/C)^{1.85}$
Reducción	$Le = (0.15D + 0.01) (120/C)^{1.85}$

Tabla 39. Fórmulas para cálculo de longitudes equivalentes (Pérez Carmona, 2002)

Para realizar el cálculo de las pérdidas en primer lugar se debe dividir la red de tubería en tramos de acuerdo al diámetro, se deben identificar los accesorios presentes en cada tramo y sumar las longitudes equivalentes a la longitud del tramo, como siguiente paso se debe multiplicar la longitud total por el valor j calculado a partir de las fórmulas y finalmente sumar los valores de pérdida de todos los tramos para obtener la pérdida total.

6.6. Bomba centrífuga

Una bomba es un dispositivo construido para transformar energía mecánica y transferirla como energía hidráulica al agua, de manera que esta puede ser transportada de un lugar a otro a diferentes niveles y velocidades. Para poder definir el tipo de bomba a ser utilizada es necesario conocer la demanda de caudal y la altura dinámica total, que es la altura a la que se desea bombear el agua considerando las pérdidas. Para cada modelo de bomba centrífuga disponible los fabricantes proveen una curva de rendimiento que relaciona la altura dinámica total con del caudal, las cuales permiten analizar si el modelo satisface las necesidades.

7. Diseño de dos Áreas de Refugio Temporal Tipo

Finalmente, después de seleccionar 12 lugares para la construcción de las Áreas de Refugio Temporal para el Distrito Metropolitano de Quito y describir los criterios que se utilizan para realizar el diseño estructural con su respectiva verificación de desempeño sísmico y el diseño de autoabastecimiento de agua potable se han cumplido los objetivos de este trabajo. En lugar de incluir el proceso de diseño de todos los 12 sitios, se ha realizado únicamente el detalle de dos de ellos a manera de ejemplo para esta tesis, como se describe en las memorias de cálculo: Parque La Carolina y Parque Metropolitano Guangüiltagua. Es necesario mencionar que debido a que la estructura ha sido diseñada para uno de los casos más desfavorables (suelo tipo D) se ha decidido replicarla en ambos lugares; sin embargo, debido las características propias de cada sitio en lo referente a espacio, topografía, población, distribución, etc. se tiene un diseño distinto de abastecimiento de agua potable para cada uno.

Los anexos contienen la descripción de todo el proceso de diseño por separado. En el anexo 2 se presenta la memoria de cálculo del diseño y verificación estructural. En el anexo 3 se muestran las memorias de cálculo del sistema de agua potable: anexo 3A y 3B para el Parque La Carolina y el Parque Metropolitano Guangüiltagua, respectivamente. Por último, en el anexo 4 se incluyen los planos estructurales y en el anexo 5 los planos del sistema de agua potable.

8. Conclusiones y Recomendaciones

Ecuador, al ubicarse en el Cinturón de Fuego del Pacífico, es un país de alto peligro sísmico. Se ve afectado por el fenómeno de subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, sobre la cual se encuentra ubicado, y por la actividad sísmica de fallas continentales corticales superficiales. Dichos fenómenos han sido responsables de muchos terremotos a lo largo de la historia, algunos de ellos devastadores.

La situación geográfica de Quito, la capital, la ha convertido en una de las ciudades más vulnerables del país al encontrarse rodeada de volcanes, quebradas y fallas geológicas. Las principales amenazas que presenta el Distrito Metropolitano de Quito son: volcánicas, geomorfológicas, hidroclimáticas, morfoclimáticas y sísmica.

Dentro de este contexto, la amenaza sísmica es de particular importancia. Una falla de aproximadamente 50 kilómetros de longitud atraviesa toda la ciudad, por lo que se la ha denominado falla de Quito. Se ha estimado que una ruptura completa de esta falla causaría un terremoto de magnitud entre 6 y 7 Ms que provocaría daños irremediables a las construcciones civiles que se han edificado sin un debido diseño sismo-resistente debido a su antigüedad o falta de recursos. A causa del crecimiento demográfico que ha experimentado la ciudad en los últimos años, un gran número de personas se verían afectadas en caso de presentarse un sismo severo. A raíz de esta situación, la construcción de Áreas de Refugio Temporal post-terremoto se ha considerado indispensable.

Para la selección de zonas seguras que permitan la construcción de un ART se consideraron varios parámetros como: espacio, tamaño, acceso, densidad de población, entorno económico y cercanía a instalaciones esenciales, instalaciones y zonas peligrosas, pozos de agua y edificios altos. Todos estos parámetros, calificados y ponderados de acuerdo a su importancia se incluyeron en una matriz de selección que permitió obtener los sitios más apropiados. Además un análisis de factibilidad, funciones y amenazas más importantes, como son: volcánica, sísmica, quebradas, susceptibilidad a inundaciones y movimientos en masa, permitió elegir 12 lugares para la futura construcción de Áreas de Refugio Temporal.

Las ART se diseñaron a partir de los parámetros expuestos en el proyecto Esfera que promueve la vida digna de las personas afectadas por desastres naturales.

Adicionalmente se utilizó el criterio profesional de un equipo de arquitectos que analizó las necesidades de la población y la distribución del espacio, obteniéndose una estructura funcional y amigable con el entorno con la capacidad de almacenar buena parte de los suministros requeridos.

El diseño sismo-resistente de dichas áreas fue realizado en base a la nueva Norma de Construcción Ecuatoriana NEC-11. Se tuvieron que cumplir varios requerimientos especiales debido a la naturaleza del proyecto. Las Áreas de Refugio Temporal fueron diseñadas como una estructura esencial pues deben mantenerse operativas después de un sismo severo. Esta norma incorpora como requisito un Análisis de Verificación del Desempeño Estructural para este tipo de edificaciones.

Los métodos tradicionales de diseño suponen que la estructura se comporta de manera elástica, sin embargo durante un sismo severo las edificaciones entran en el rango inelástico, por lo que una metodología que considere estas circunstancias debe ser utilizada para la verificación del diseño. Para el caso de las ART se recurrió a la técnica basada en el diseño por desempeño que fue propuesta por primera vez en el ATC-40 y que permite verificar si la estructura cumple con un nivel de desempeño deseado para una determinada demanda sísmica. En este sentido, el método del espectro capacidad-demanda ofrece una vía práctica que permite comparar de manera gráfica la resistencia de una estructura con la demanda que produce un sismo específico.

El programa de análisis y diseño estructural SAP2000 incorpora un conjunto de herramientas basadas en algunas normas reconocidas para la verificación del desempeño estructural como ATC-40, FEMA.273, FEMA-356, etc. que facilitan la ejecución de este tipo de análisis en sus distintas etapas como la modelación de rótulas y el análisis estático no lineal para obtener resultados como el punto de desempeño y el nivel progresivo de las rótulas plásticas.

Después de analizar la estructura de las Áreas de Refugio Temporal en SAP2000 se puede concluir que cumple con los desempeños objetivos planteados por la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-11: nivel de Seguridad de Vida para un sismo con período de retorno de 475 años y nivel de Prevención al Colapso para un sismo con período de retorno de 2500 años. Debido a que la estructura es pequeña, tiene un solo nivel y el diseño de secciones y armado de vigas y columnas fue realizado con holgura, se obtuvieron muy buenos resultados, es así que las rótulas plásticas y derivas de piso se

encuentran en un nivel de desempeño mucho más alto que el solicitado; de hecho, la estructura satisface el nivel de Ocupación Inmediata.

Bibliografía

- ATC-40. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume 1, ATC-40 Report*. Redwood City, California: Applied Technology Council.
- Coker, A., & Ludwig, E. (2007). *Ludwig's applied process design for chemical and petrochemical plants*. Burlington: Elsevier.
- D'Ercole, R., & Metzger, P. (2004). *La Vulnerabilidad del Distrito Metropolitano de Quito*. Quito: Ekseption.
- Escuela Politécnica Nacional; Geohazards International; Municipio del Distrito Metropolitano de Quito; ORSTOM; OYO Corporation. (1994). *The Quito, Ecuador, Earthquake Risk Management Project*. San Francisco: Geohazards International .
- Escuela Politécnica Nacional; Geohazards International; Municipio del Distrito Metropolitano de Quito; ORSTOM; OYO Corporation. (1995). *Proyecto para Manejo del Riesgo Sísmico de Quito*. Quito.
- FEMA-356. (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington, D.C.
- Hibsch, C., Alvarado, A., Yepes, H., Sébrier, M., & Pérez, H. (1996). Falla activa de Quito y fuentes sismogénicas regionales: un estudio del riesgo sísmico de Quito (Ecuador) con el análisis de los sedimentos cuaternarios. *Bulletin de l'IFEA* , 25(3): 359-388.
- IdealAlambrec Bekaert. (2011). *Catálogo de productos, cerramientos*. Quito.
- INEC. (15 de Enero de 2010). *Censo de Población*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadísticas y Censos: <http://www.inec.gov.ec/cpv>
- MATE, & METL. (1999). *Plans de prévention des risques naturels (PPR): risques de mouvements de terrain, Guides méthodologiques*. París: La Documentation Française.
- Molestina, M. (2006). El pensamiento simbólico de los habitantes de La Florida (Quito-Ecuador). *Boletín del Instituto Francés de Estudios Andinos*, 377-395.
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2010). *Atlas de amenazas naturales en el DMQ*. Quito: Midia.
- NEC. (2011). *Norma Ecuatoriana de Construcción*. Quito.
- Pennington, W. D. (1981). Subduction of the eastern Panama Basin and seismotectonics of north-western south America. *Journal of geophysical research*, 86 (B11):10753-10770.

- Perez Carmona, R. (2002). *Diseño de instalaciones hidrosnaitarias y de gas para edificaciones*. Bogotá: ECOE.
- Proyecto Esfera. (2004). *El Proyecto Esfera Carta Humanitaria y Normas mínimas de respuesta humanitaria en casos de desastre*. Ginebra: DS Print and Redesign.
- Rivadeneira, F., Segovia, M., Alvarado, A., Egred, J., Troncoso, L., Vaca, S., & Yepes, H. (2007). *Breves Fundamentos sobre los Terremotos en el Ecuador*. Quito: Corporación Editora Nacional.
- Safina, S. (2003). *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico*. Cataluña.
- Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica. (s.f.). *Sismos en México*. Recuperado el 13 de Enero de 2012, de <http://www.smis.org.mx/htm/sm5.htm>
- Soulas, J., Yepes, H., Eguez, A., & Pérez, H. (1991). Tectónica activa y riesgo sísmico en los Andes Ecuatorianos y el extremo sur de Colombia. *Boletín Geológico Ecuatoriano*, 2(1):3-11.
- Universidad de Oviedo. (2008). *Pérdida de carga en tuberías*. Oviedo.

Anexos

Anexo 1. Cuestionario

PROYECTO ZONAS DE REFUGIO TEMPORAL ARTS

MUNICIPIO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

CUESTIONARIO ALBERGUE/ SITIO DE REFUGIO DMQ

1. Código: Parroquia: Barrio:

2. Dirección:

3. Coordenadas:

4. Es un espacio:

Libre ()	Parque ()	Escuela ()	Casa Comunal ()
Cancha ()	Otro ()		

5. El lugar es:

Plano ()	Ladera Positiva ()	Ladera Negativa ()
-----------	---------------------	---------------------

6. Es un lugar:

Público ()	Privado ()
-------------	-------------

7. Tamaño aproximado del lugar:

8. Posee:

Una construcción ()	Nada ()	Tamaño:
Uso:		

9. Accesibilidad mediante:

Vía principal ()	Vía Secundaria ()	Ancho de la vía:
-------------------	--------------------	------------------

10. Accesibilidad:

Fácil () Medianamente fácil () Difícil ()
Inaccesible ()

11. Contexto cercano:

Hospital () Centro de Salud () Farmacia () Bomberos ()
PAI () Cuartel () Mercado () Edificios Públicos ()
Fábricas () Depósito de gas/gasolina () Subestación eléctrica ()
Transformador eléctrico () Hidrante ()

12. Se encuentra cerca de:

Quebrada () Talud estable () Talud inestable () Parque ()
Centro Educativo () Casa Comunal ()

13. Existe algún riesgo detectable. ¿Cuál?

14. Las construcciones de su entorno son:

1 piso () 2 pisos () 3 pisos () más de 3 pisos ()

15. El entorno social es:

Clase alta () Media alta () Media () Media baja ()
Baja () Invasión ()

16. En el entorno existen servicios de:

Agua () Luz () Antena de telecomunicación ()
Alcantarillado ()

17. Transporte que existe en el entorno:

Trole () Ecovía () Alimentadores () Buses () Taxis ()
Camionetas () Peatonal ()

18. Calificación del lugar como:

Utilizable para el proyecto ()

Podría utilizarse con condiciones ()

No debe usarse ()

Condiciones:

FOTOGRAFÍAS DEL LUGAR

Anexo 2. Memoria de cálculo y verificación estructural

Información general

Proyecto: Área de Refugio Temporal

Ubicación: Parque Metropolitano Guanguiltagua. Acceso principal por la calle Guanguiltagua en el sector del Batán Alto Salvador.

Parque La Carolina. Av. Eloy Alfaro y Av. Amazonas.

Propietario: Ilustre Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.

Introducción

Este estudio tiene como objetivo el diseño de la estructura del Área de Refugio Temporal que debe satisfacer los requisitos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11. En esta memoria de cálculo se reúnen los criterios y se describen los métodos de cálculo que se han aplicado para la determinación de las acciones y efectos de las cargas y sollicitaciones que actuarán sobre la edificación y para el dimensionamiento de sus elementos constitutivos. Los diseños correspondientes se presentan en los planos estructurales.

Materiales

La estructura en general será construida con hormigón armado que garantice la resistencia de diseño, $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días y un módulo de elasticidad de $E = 218436.26 \text{ kg/cm}^2$. El acero de refuerzo deberá tener una resistencia a la fluencia $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ y una resistencia a la tracción de $1.25f_y$, $F_u = 5250 \text{ kg/cm}^2$.

Estructura

Pórticos espaciales resistentes a momentos, sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas, con un coeficiente de reducción de respuesta estructural $R=6$.

La estructura de un nivel con una altura de 3 metros cuenta con una planta regular conformada por una losa plana alivianada de 20cm con vigas laterales que tratan de unir las columnas entre si. Se han diseñado vigas y columnas de sección constante.

Coefficientes de irregularidad en planta: $\Phi_P = 1$

Coefficiente de irregularidad en elevación: $\Phi_E = 1$

Suelo

Suelo tipo D por sugerencia de estudios geo-técnicos, partiendo de resultados preliminares de los estudios de sondeos y ensayos SPT. La capacidad del suelo y otras características se encuentran detalladas en la tabla de datos de Suelo del siguiente apartado.

Cimentaciones

Plintos interiores

Datos

Cargas		
	P (T)	M (T.m)
D	16.17	0.095
L	6.59	0.038
E	1.18	3.13

Columna		
bc =	30	cm
lc =	40	cm
	6	Φ 16
fy =	4200	kg/cm ²

Suelo		
$\gamma_c =$	2.4	T/m ³
$\gamma_s =$	1.6	T/m ³
$q_a =$	15	T/m ²
Df =	1.5	m
$q_w =$	0.6	T/m ²

Otros		
$f'c =$	240	kg/cm ²
$f_y =$	4200	kg/cm ²
$r =$	7	cm
$r_x =$	7	cm
$*\Phi_v =$	0.75	
$*\Phi_M =$	0.90	
$*\Phi_p =$	0.65	

Datos para adherencia

γ_i lecho inferior	=	1
γ_e sin recubrimiento epóxico	=	1
γ_s varilla (< $\phi 19$)	=	0.8
λ hormigón simple	=	1

Resultados

1 - Presión efectiva	$q_{ef} =$	11.80	T/m ²	$Q_{ef} (E) =$	16.75	T/m ²	
2 - Área	1.50	X	1.50	m	A=	2.25	m ²
3 - Presiones	$q_G =$	10.35	T/m ²	$q_G (E) =$	16.44	T/m ²	
4 - Presión última	$q_u =$	15.39	T/m ²	$Q_u (E) =$	18.03	T/m ²	

H=0.25m

5 - Punzonamiento			
Esfuerzo último de falla:	$\vartheta u_2 =$	10.45	Kgf/cm ²
	$\vartheta u_2 / \varphi$	<	ϑC_2 (Resistencia hormigón)
	13.94	Kgf/cm ²	< 16.42 Kgf/cm ²

CUMPLE

6 - Corte			
Esfuerzo concreto :	$\vartheta C_1 =$	8.21	Kgf/cm ²
Dirección Larga	$V_{u1L} =$	10.20	T
Resistencia al corte	$\vartheta u_{1L} =$	3.93	Kgf/cm ²
Esfuerzo	$\vartheta u_{1L} / \varphi$	5.24	Kgf/cm ² < 8.21
Dirección Corta	$V_{u1B} =$	11.93	T
Resistencia al corte	$\vartheta u_{1B} =$	5.00	Kgf/cm ²
Esfuerzo	$\vartheta u_{1LB} / \varphi$	6.67	Kgf/cm ² < 8.21

CUMPLE

7 – Flexión				
Dirección Larga	Momento último	Mu =	4.09	mT
<i>Económico</i>	Área de acero	As =	8.56	cm ²
	Acero	6	φ 14	
	Espaciamiento	1φ 14/0.25		
Dirección Corta	Momento último	Mu =	4.87	mT
<i>Económico</i>	Área Acero	As =	8.41	cm ²
	Acero	6	φ 14	
	Espaciamiento	1φ 14/0.25		

8 – Adherencia			
Longitud de desarrollo :	Ld =	0.573	m
	Ld _{reduc} =	52.14	cm
Longitud de desarrollo existente :	Ld existen	53.00	cm
No se requieren patas			

CUMPLE

9 – Aplastamiento			
Resistencia por aplastamiento :	Φ _p * P _n =	318.24	T
	P _u =	33.841	T
	No se necesitan bastones		

Plintos de borde

Datos

Cargas		
	P (T)	M (T.m)
D	8.31	0.11
L	2.91	0.043
E	0.94	2.13

1 - Presión efectiva	q _{ef} =	11.80	T/m ²	Q _{ef} (E)=	16.75	T/m ²	
2 - Área	1.10	X	1.10	m	A=	1.21	m ²
3 - Presiones	q _G =	9.96	T/m ²	q _G (E) =	20.34	T/m ²	
4 - Presión última	q _u =	14.73	T/m ²	Q _u (E) =	22.13	T/m ²	

H= 0.25m

5 – Punzonamiento			
Esfuerzo último de falla:	$\vartheta_{u2} =$	6.11	Kgf/cm ²
	ϑ_{u2} / φ	<	ϑ_{C2} (Resistencia hormigón)
		8.15	Kgf/cm ² < 16.42 Kgf/cm ²

CUMPLE

6 – Corte			
Esfuerzo concreto :	$\vartheta_{C1} =$	8.21	Kgf/cm ²
Dirección Larga	$V_{u1L} =$	4.31	T
Resistencia al corte	$\vartheta_{u1L} =$	2.26	Kgf/cm ²
Esfuerzo	$\vartheta_{u1L} / \varphi$	3.02	Kgf/cm ² < 8.21
Dirección Corta	$V_{u1B} =$	5.87	T
Resistencia al corte	$\vartheta_{u1B} =$	3.35	Kgf/cm ²
Esfuerzo	$\vartheta_{u1LB} / \varphi$	4.47	Kgf/cm ² < 8.21

CUMPLE

7 – Flexión			
Dirección Larga	Momento último	$M_u =$	1.49 mT
<i>Económico</i>	área de acero	$A_s =$	3.08 cm ²
	Acero	6	φ 14
	Espaciamiento	1 φ 14/0.25	
Dirección Corta	Momento último	$M_u =$	1.95 mT
<i>Económico</i>	Área Acero	$A_s =$	4.41 cm ²
	Acero	6	φ 14
	Espaciamiento	1 φ 14/0.25	

8 – Adherencia			
Longitud de desarrollo :	$L_d =$	0.573	m
	$L_{d\text{reduc}} =$	54.67	cm
Longitud de desarrollo existente :	$L_d \text{ existen}$	33.00	cm
Se requieren	2 patas de :	10.8	cm

9 – Aplastamiento			
Resistencia por aplastamiento :	$\Phi_p * P_n =$	318.24	T
	$P_u =$	16.581	T
	No se necesitan bastones		

Cargas

Cargas Permanentes (carga muerta)

Revestimiento	0.07	T/m ²
Instalaciones	0.02	T/m ²
Σ	0.1	T/m ²

Carga Viva

Oficinas	0.24	T/m ²
Ceniza	0.01	T/m ²
Σ	0.25	T/m ²

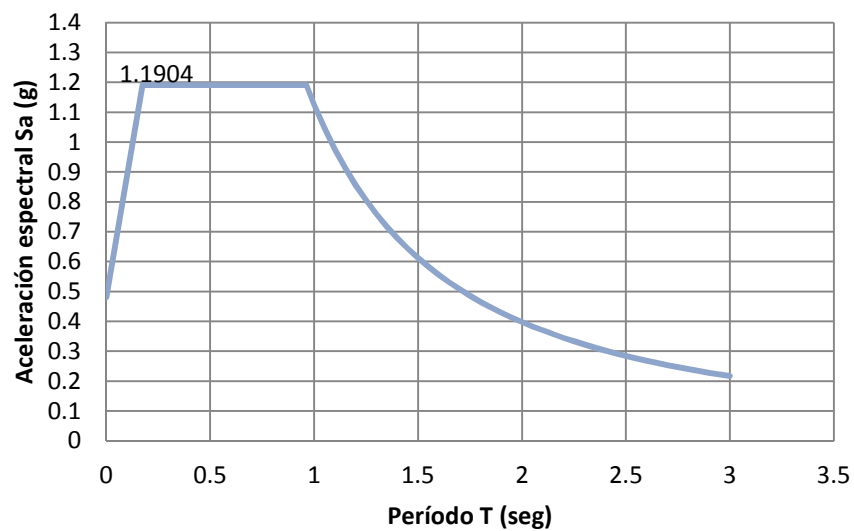
Se utilizaron las combinaciones de cargas descritas en el capítulo 1 de la NEC-11.

Fuerzas sísmicas

Factor de zona

Zona sísmica	V
Valor factor Z	0.4
Caracterización de la amenaza sísmica	Alta

Espectro inelástico de diseño



Factor de importancia

Con el objetivo de incrementar la demanda sísmica para el diseño de la estructura se la ha categorizado como una edificación esencial con un coeficiente de importancia $I=1.5$.

Fuerzas sísmicas estáticas

El cortante basal de diseño se calcula con la ecuación 2-19 de la NEC-11.

$$V = \frac{I S_a}{R \phi_P \phi_E} W$$

Donde,

$$\frac{I S_a}{R \phi_P \phi_E} = 0.298$$

$S_a = 1.19$ obtenido del espectro elástico.

Para el cálculo de $T = 0.126330$ se utilizan los siguientes valores:

$$C_t = 0.047$$

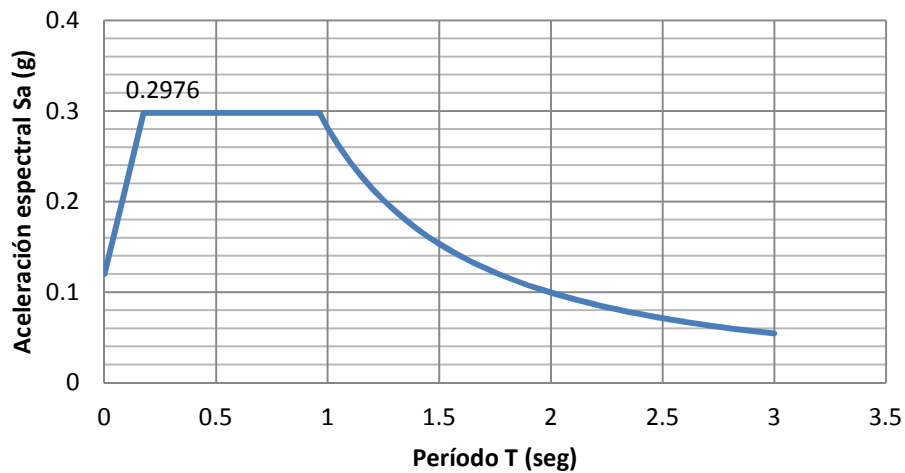
$$h = 3\text{m}$$

$$\alpha = 0.9$$

Fuerzas sísmicas dinámicas

<i>Provincia / Región</i>	PICHINCHA
η	2.48
r	1.5
Fa	1.2
Fd	1.4
Fs	1.5
T0	0.175
Tc	0.963
TL	3.360
Z	0.40

Espectro inelástico de diseño



Derivas

Deriva máxima = 0.00131781

Deriva máxima permisible $\Delta_M = 0.0044$

Verificación de desempeño estructural

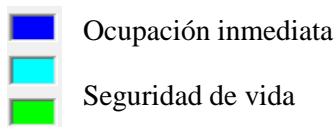
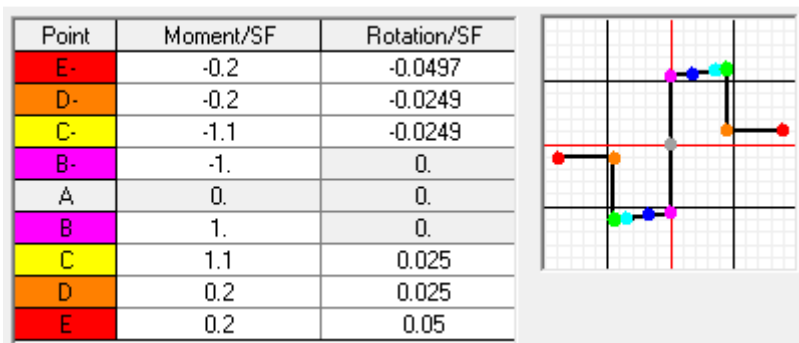
Este análisis se realizó utilizando el programa de análisis y diseño estructural SAP2000 (V14) que facilita la interpretación de los resultados y provee una visualización del nivel de desempeño de la estructura.

Rótulas plásticas

Para vigas y columnas se utilizaron las rótulas plásticas definidas en las tablas 6-7 y 6-8 de FEMA 356 respectivamente, utilizando los grados de libertad correspondientes al sentido del análisis. Además, para el modelado se utilizó una discretización correspondiente a una distancia relativa de 0.02 de la longitud total del elemento.

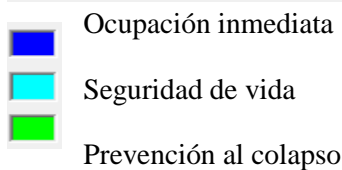
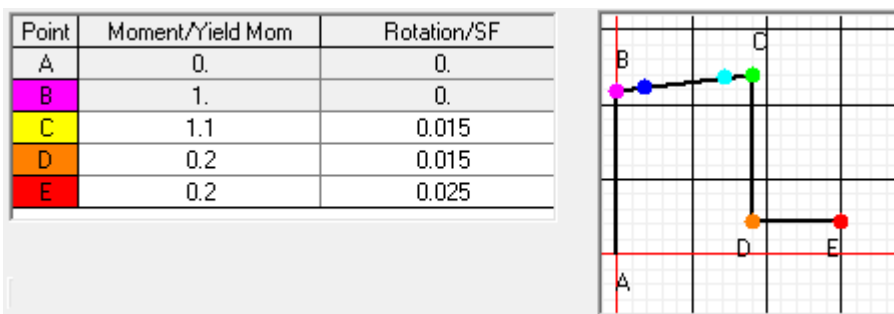
Curvas momento-rotación

Vigas



Prevención al colapso

Columnas



Análisis estático no lineal

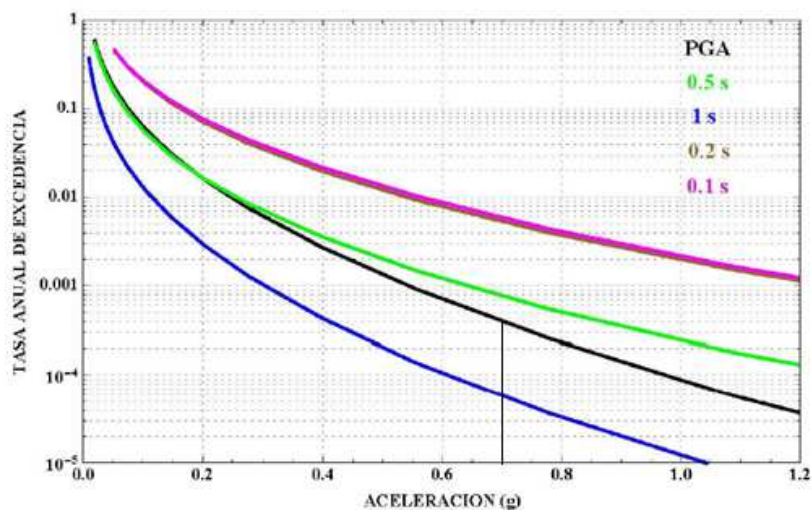
Se utilizó el método del espectro capacidad-demanda definido en ATC-40. Para el análisis pushover se empezó aplicando la carga gravitacional no lineal definida por la combinación de cargas 3-1 de la NEC-11 y luego los modos fundamentales de vibración. El análisis de los ejes “x” y “y” se hizo por separado. Además se utilizaron los siguientes parámetros:

- _ Método de control de aplicación de carga: control por desplazamiento.
- _ Método de control por desplazamiento: desplazamiento monitoreado.
- _ Magnitud de desplazamiento del nudo de control: 12cm (correspondiente al 4% de la altura total)
- _ Nudo de control: Nudo 40, ubicado en una de las esquinas de la losa.
- _ Resultados guardados: múltiples pasos.
- _ Método de descarga de rótula: reiniciar utilizando rigidez secante.
- _ El tipo de análisis es no lineal y no se consideraron los efectos P-delta.
- _ Los desempeños objetivos exigidos por la norma para una estructura esencial se muestran en la siguiente tabla.

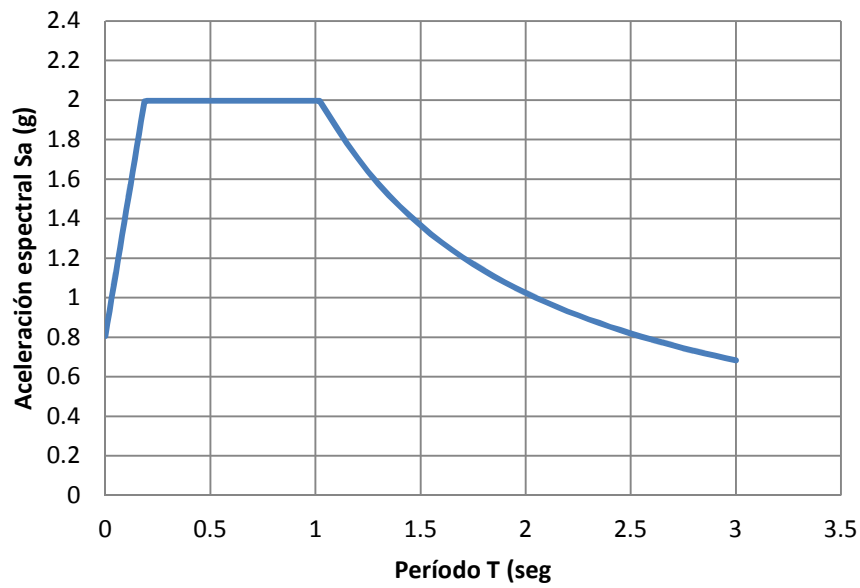
Tr	Nivel de desempeño
475 años	Seguridad de vida (LS)
2500 años	Prevención al colapso (CP)

Los espectros de elásticos de demanda utilizados corresponden a los exigidos por la NEC-11, es decir, uno con $Tr = 475$ años y otro con $Tr = 2500$ años. Es necesario mencionar que este último es sólo una aproximación al real debido a que los mayores factores de amplificación F_a , F_s y F_d disponibles en la norma están pensados para una aceleración del suelo de 0.5g, mientras que la aceleración obtenida de la curva de peligro sísmico para un período de retorno de 2500 años es 0.7g.

Curvas de peligro sísmico para Quito



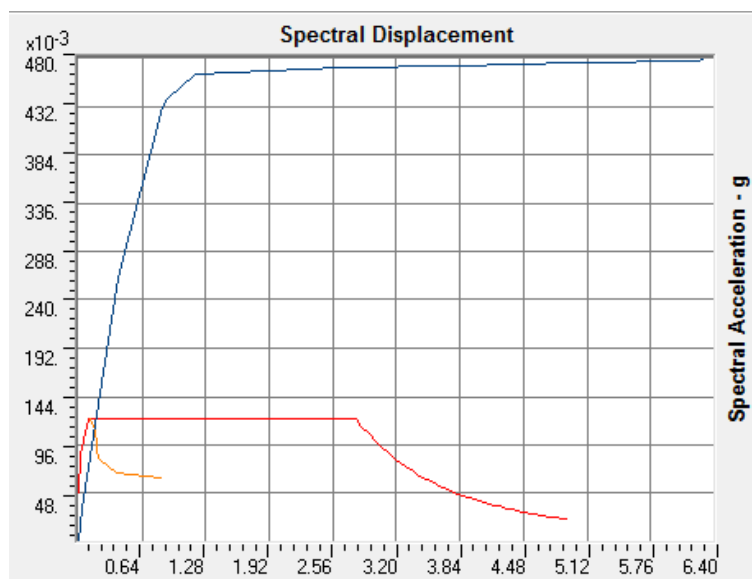
Espectro elástico $T_r=2500$ años



Punto de Desempeño

Sentido X

Espectro $T_r=475$ años



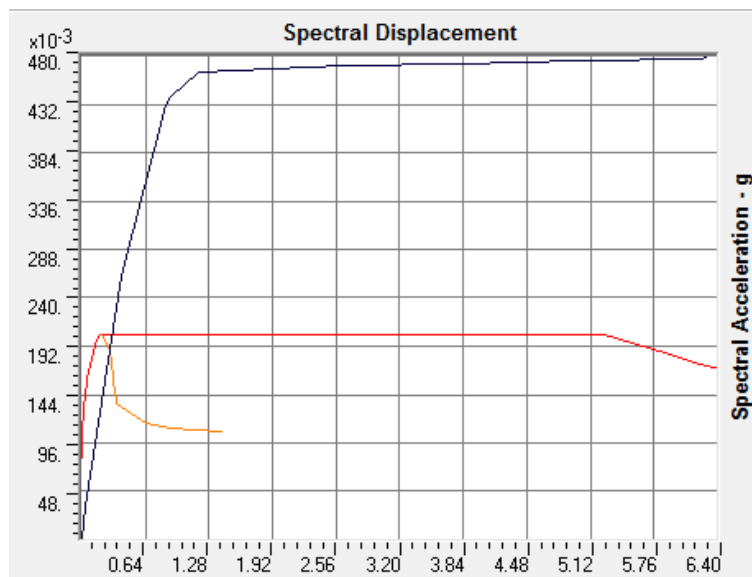
Punto de desempeño (Unidades: T, m, s)

Performance Point (V, D)

Performance Point (Sa, Sd)

Performance Point (Teff, Beff)

Espectro $T_r = 2500$ años

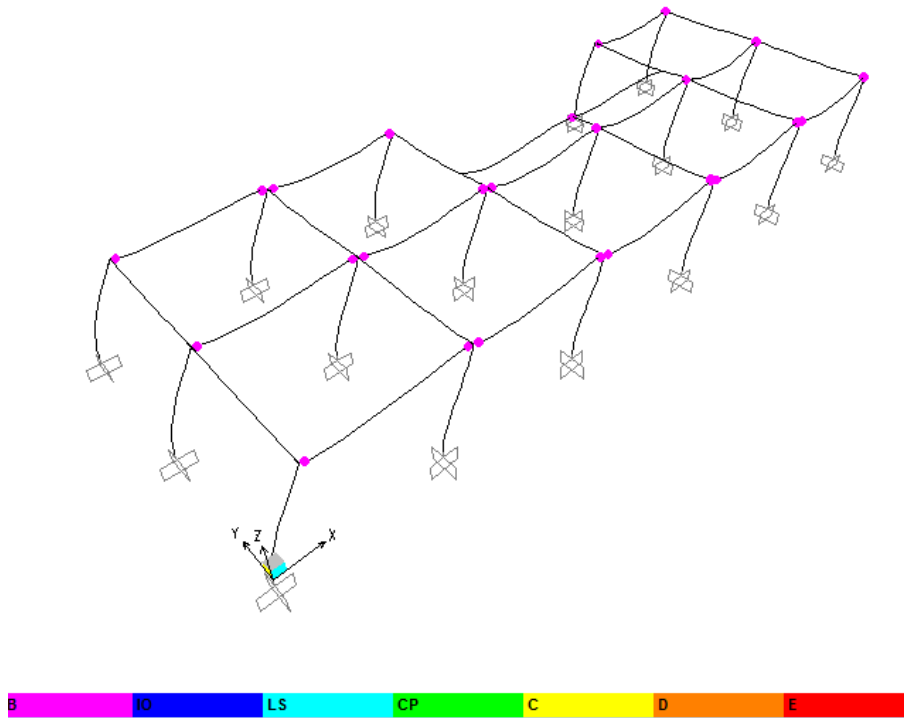


Punto de desempeño (Unidades: T, m, s)

Performance Point (V, D)

Performance Point (Sa, Sd)

Performance Point (Teff, Beff)



La imagen muestra el paso número 2 del análisis pushover con un período $T=0.2452s$, que es el más cercano a los valores del período del punto de desempeño para ambos espectros de demanda. Las rótulas se forman en vigas y corresponden al nivel B definido por la curva de momento-rotación antes mostrada por lo que se cumple el desempeño objetivo.

Derivas

Deriva máxima total: 0.001325

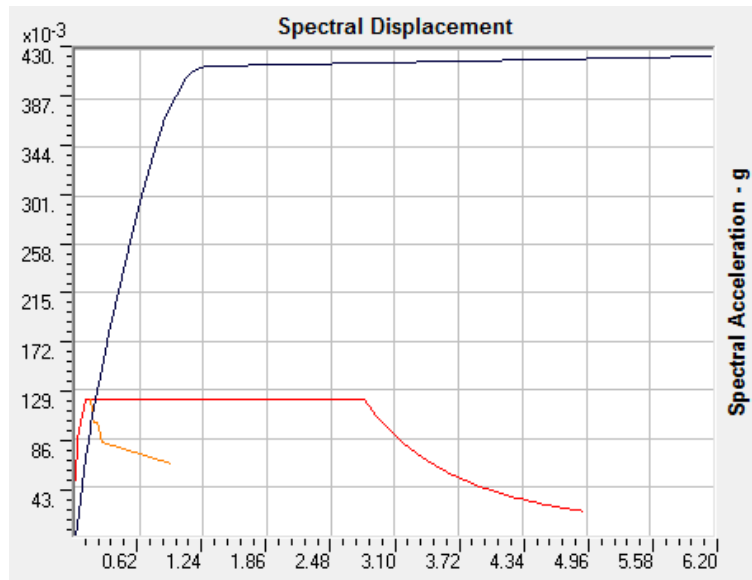
Deriva máxima permisible:

Prevención de colapso= 0.09834

Seguridad de vida= 0.02

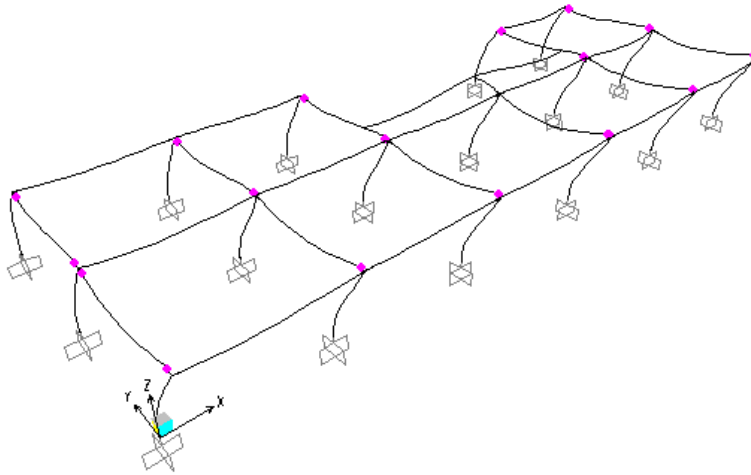
Sentido Y

Espectro Tr= 475 años



Punto de desempeño (Unidades: T, m, s)

Performance Point (V, D)	(12.831 , -3.143E-03)
Performance Point (S _a , S _d)	(0.105 , 0.163)
Performance Point (T _{eff} , B _{eff})	(0.250 , 0.085)



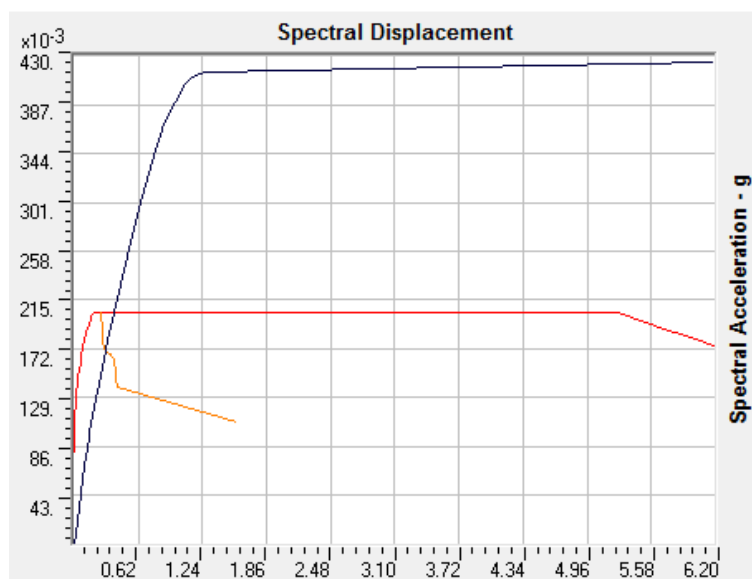
La imagen muestra el paso número 7 del análisis pushover con un período $T=0.2677s$

Derivas

Deriva máxima total: 0.00100567

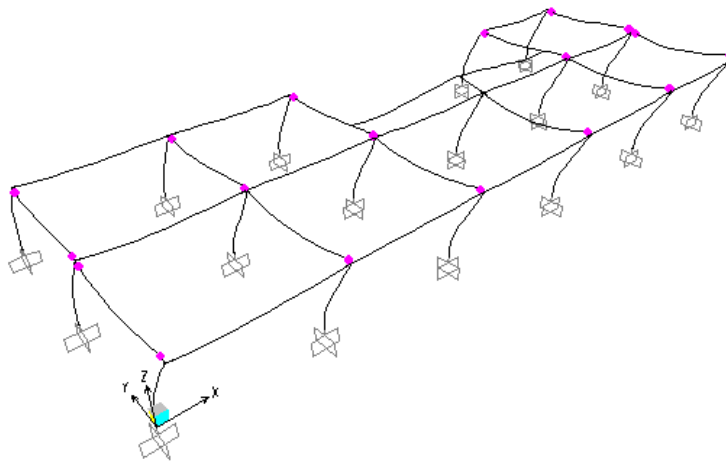
Deriva máxima permisible (seguridad de vida): 0.02

Espectro $T_r=2500$ años



Punto de desempeño (Unidades: T, m, s)

Performance Point (V, D)	(20.728 , -7.001E-03)
Performance Point (Sa, Sd)	(0.169 , 0.305)
Performance Point (Teff, Beff)	(0.269 , 0.099)



La imagen muestra el paso número 8 del análisis pushover con un período $T=0.2717s$

Derivas

Deriva máxima total: 0.00114867

Deriva máxima permisible (Prevención de colapso): 0.09834

El detalle de los diseños obtenidos se presenta en los planos estructurales del Anexo 4, en donde se incluye el plano de losas y vigas y el plano de columnas y cimentaciones con sus respectivas cantidades de materiales.

Anexo 3. Memoria de Cálculo – Sistema de Agua Potable

Anexo 3A. Parque La Carolina

Memoria de cálculo

Sistema de agua potable ARTS

Lugar: Parque La Carolina

1. Volumen de almacenamiento

Dotación = $15 \frac{l}{hab \cdot dia}$ (Dotación Recomendada por el Proyecto Esfera)

Numero de refugiados (habitantes): 2535 personas

Tiempo de almacenamiento = 1 dia

Volumen de almacenamiento

$$= \text{Dotación} \times \# \text{ habitantes} \times \text{tiempo}$$

$$= 15 \frac{l}{hab \cdot dia} \times 2535 \text{ hab} \times 1 \text{ dia} = 38025 \text{ litros}$$

Se utilizará un tanque tipo botella de PE, con una capacidad de 5000 lts. (Plastigama).



2. Cálculo de Caudales

$$Q_a = Q_v \times K$$

Donde

Q_v = caudal máximo

Q_a = caudal real

K = coeficiente de simultaneidad

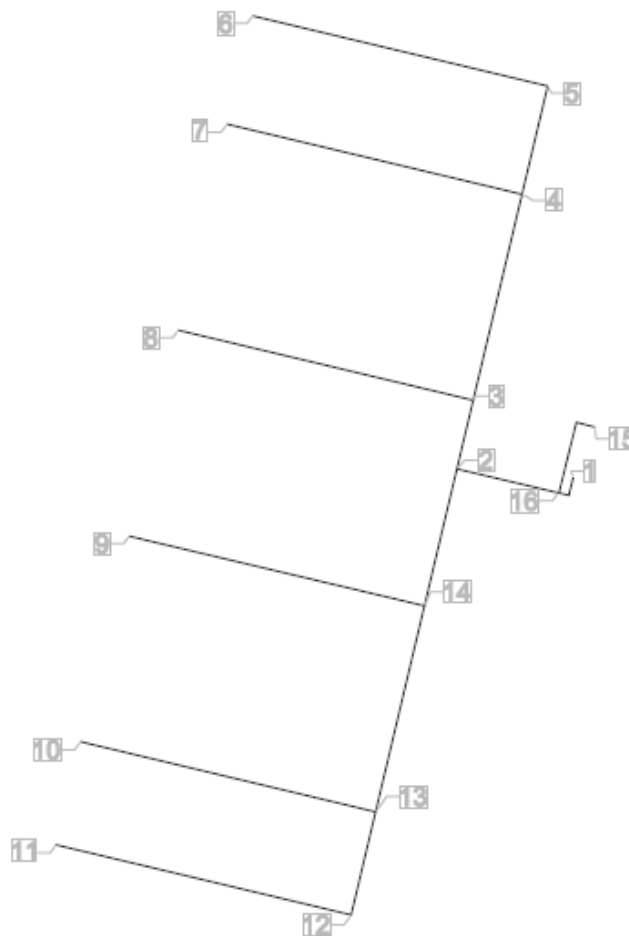
$K = (20+4N)/12*(N+1)$, donde N es el número de viviendas (Perez Carmona, 2002)

N= 54 (2 lavabos, 17 duchas, 32 grifos, 1 urinarios, 2 baños)

K= 0.358

CAUDAL DEMANDADO				
Aparato	Número de aparatos	Caudal mínimo	Total	
		l/s	l/s	l/min
Duchas	17	0.2	3.4	204
Lavabos	2	0.1	0.2	12
Grifos	32	0.2	6.4	384
Urinarios	1	0.15	0.15	9
Baños	2	0.1	0.2	12
Total	54		10.35	621

Tramos:



CAUDAL POR TRAMO							
Tramo	Duchas	Lavabos	Grifos	Urinarios	Baños	Q _v (l/s)	Q _a (l/s)
1-16	17	2	32	1	2	10.35	3.70
16-15	1	2	0	1	2	0.75	0.39
16-2	16	0	32	0	0	9.6	3.46
2-5	8	0	16	0	0	4.8	1.86
2-12	8	0	16	0	0	4.8	1.86
4-7	0	0	8	0	0	1.6	0.77
3-8	0	0	8	0	0	1.6	0.77
14-9	0	0	8	0	0	1.6	0.77
13-10	0	0	8	0	0	1.6	0.77
5-6	8	0	0	0	0	1.6	0.77
12-11	8	0	0	0	0	1.6	0.77

3. Selección de Diámetros

$$D = \sqrt{\frac{21.22 \times Q}{v}}$$

Tramo	Diámetro (pulgadas)
1-16	2
16-15	3/4
16-2	2
2-5	1 1/2
2-12	1 1/2
4-7	1
3-8	1
14-9	1
13-10	1
5-6	1
12-11	1

4. Cálculo de Pérdidas

Tramo 1-16			
$J=(Q/280*C*D^{2,63})^{1,85}$			
Q = 3.7 l/s C = 150 PVC D = 0.0508 m J = 0.062 m/m			
Pérdidas por accesorios			
Accesorio	Cantidad	Le	Subtotal
Reducción 2 a 1	1	0.21	0.21
Reducción 1 a 3/4	1	0.11	0.11
Tee 2'' P.D.	1	0.73	0.73
Válvula compuerta abierta 2"	1	0.24	0.24
Total Accesorios			1.29
Longitud Tubería	4.60	m	
Longitud Total	5.89	m	
Pérdida Total	0.37	m	

Tramo 16-15			
$J=6,1*C(Q^{1,75}/D^{4,75})$			
Q = 0.00039 m ³ /s C = 0.0001 PVC D = 0.0191 m J = 0.098 m/m			
Pérdidas por accesorios			
Accesorio	Cantidad	Le	Subtotal
Codo 3/4'	2	0.39	0.78
Tee 3/4'' P.D.	5	0.29	1.45
Reducción 3/4 a 1/2	6	0.08	0.49
Total Accesorios			2.72
Longitud Tubería	26.70	m	
Longitud Total	29.42	m	
Pérdida Total	2.88	m	

Tramo 16-2			
$J=(Q/280*C*D^{2,63})^{1,85}$			
Q =	3.46	l/s	
C =	150	PVC	
D =	0.0508	m	
J =	0.055	m/m	
Pérdidas por accesorios			
Accesorio	Cantidad	Le	Subtotal
Reducción 2 a 1 1/2	2	0.21	0.42
Tee 2'' P.D.	1	0.73	0.73
Total Accesorios			1.15
Longitud Tubería	28.21	m	
Longitud Total	29.36	m	
Pérdida Total	1.62	m	

Tramo 2-5			
$J=6,1*C(Q^{1,75}/D^{4,75})$			
Q =	0.00186	m ³ /s	
C =	0.0001	PVC	
D =	0.0381	m	
J =	0.056	m/m	
Pérdidas por accesorios			
Accesorio	Cantidad	Le	Subtotal
Tee 1 1/2'' P.D.	2	0.55	1.11
Reducción 1 1/2 a 1''	3	0.16	0.47
Codo 1 1/2''	1	0.72	0.72
Total Accesorios			2.30
Longitud Tubería	106.50	m	
Longitud Total	108.80	m	
Pérdida Total	6.08	m	

Tramo 2-5			
$J=6,1 \cdot C(Q^{1,75}/D^{4,75})$			
Q = 0.00186 m ³ /s			
C = 0.0001 PVC			
D = 0.0381 m			
J = 0.056 m/m			
Pérdidas por accesorios			
Accesorio	Cantidad	Le	Subtotal
Tee 1 1/2" P.D.	2	0.55	1.11
Reducción 1 1/2 a 1"	3	0.16	0.47
Codo 1 1/2"	1	0.72	0.72
Total Accesorios			2.30
Longitud Tubería	123.50	m	
Longitud Total	125.80	m	
Pérdida Total	7.03	m	

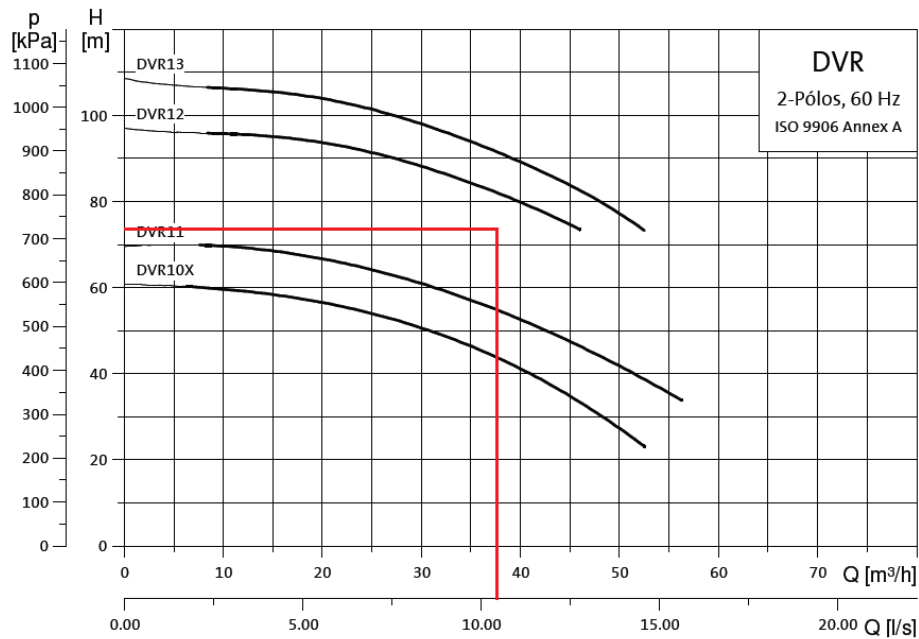
Tramo 4-7, 3-8, 14-9, 13-10			
$J=6,1 \cdot C(Q^{1,75}/D^{4,75})$			
Q = 0.00077 m ³ /s			
C = 0.0001 PVC			
D = 0.0254 m			
J = 0.082 m/m			
Pérdidas por accesorios			
Accesorio	Cantidad	Le	Subtotal
Tee 1" P.D.	6	0.38	2.26
Tee 1" P.D.L.	1	1.28	1.28
Reducción 1 a 1/2"	8	0.11	0.84
Válvula de compuerta abierta 1"	1	0.13	0.13
Total Accesorios			4.52
Longitud Tubería	81.75	m	
Longitud Total	86.27	m	
Pérdida Total	7.07	m	
Total (4 tramos)	28.29	m	

Tramo 5-6, 12-11			
$J=6,1 * C(Q^{1,75}/D^{4,75})$			
Q = 0.00077 m ³ /s			
C = 0.0001 PVC			
D = 0.0254 m			
J = 0.082 m/m			
Pérdidas por accesorios			
Accesorio	Cantidad	Le	Subtotal
Tee 1'' P.D.	7	0.38	2.64
Codo 1"	1	0.50	0.50
Reducción 1 a 1/2''	8	0.11	0.85
Válvula de compuerta abierta 1"	1	0.13	0.13
Total Accesorios			3.99
Longitud Tubería	81.80	m	
Longitud Total	85.79	m	
Pérdida Total	7.03	m	
Total (2 tramos)	14.07	m	

Tramo 1/2" (Duchas)			
$J=6,1 * C(Q^{1,75}/D^{4,75})$			
Q = 0.0002 m ³ /s			
C = 0.0001 PVC			
D = 0.0127 m			
J = 0.208 m/m			
Pérdidas por accesorios			
Accesorio	Cantidad	Le	Subtotal
Codo 1/2''	2	0.281	0.56
Total Accesorios			0.56
Longitud Tubería	3.00	m	
Longitud Total	3.56	m	
Pérdida Total	0.74	m	
Perdida Total (17 tramos)	12.63	m	

Pérdida Total: 72.96 m

5. Selección de la Bomba



Bomba Mark Grundfos Monoestágio Rosqueada DVR12 Trifásica 220V/380V

Características	
Modelo	DVR12
Potencia	20HP
Tensión	220V/380V
Caudal Máximo	56 m ³ /h
Altura Máxima (M.C.A.)	180
Conexión DNS	2 ½"
Conexión DNR	2"

Anexo 3B. Parque Metropolitano Guanguiltagua

Memoria de cálculo

Sistema de agua potable ARTS

Lugar: Parque Metropolitano Guanguiltagua

1. Volumen de almacenamiento

Dotación = $15 \frac{l}{hab \cdot dia}$ (Dotación Recomendada por el Proyecto Esfera)

Numero de refugiados (habitantes): 1680 personas

Tiempo de almacenamiento = 1 dia

Volumen de almacenamiento

$$= \text{Dotación} \times \# \text{ habitantes} \times \text{tiempo}$$

$$= 15 \frac{l}{hab \cdot dia} \times 1680 \text{ hab} \times 1 \text{ dia} = 25200 \text{ litros}$$

Se utilizará 3 tanques tipo botella de PE, con una capacidad de 5000 lts. (Plastigama).



2. Cálculo de Caudales

$$Q_a = Q_v \times K$$

Donde

Q_v = caudal máximo

Q_a = caudal real

K es el coeficiente de simultaneidad

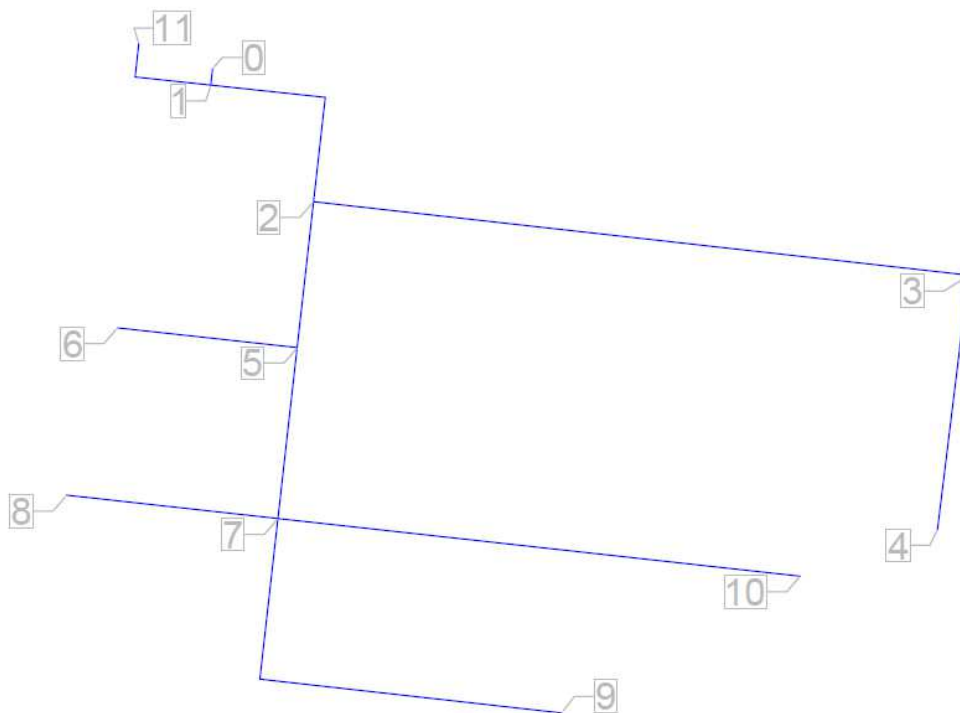
$K = (20 + 4N) / 12 * (N + 1)$, donde N es el número de viviendas (Perez Carmona, 2002)

$N = 49$ (2 lavabos, 13 duchas, 21 grifos, 1 urinarios, 2 baños)

$K = 0.367$

CAUDAL DEMANDADO(NEC, 2011)				
Aparato	Número de aparatos	Caudal mínimo	Total	
		l/s	l/s	l/min
Duchas	13	0.20	2.60	156
Lavabos	2	0.10	0.20	12
Grifos	21	0.20	4.20	252
Urinarios	1	0.15	0.15	9
Baños	2	0.10	0.20	12
Total	39		7.35	441

Tramos



CAUDAL POR TRAMO							
Tramo	Duchas	Lavabos	Grifos	Urinarios	Baños	Q _v (l/s)	Q _a (l/s)
0-1	13	2	21	1	2	7.35	2.70
1-2	12	0	21	0	0	6.6	2.46
2-3	6	0	8	0	0	2.8	1.18
3-4	6	0	0	0	0	1.2	0.63
2-5	6	0	13	0	0	3.8	1.52
5-6	0	0	1	0	0	0.2	0.2
5-7	6	0	12	0	0	3.6	1.45
7-8	0	0	4	0	0	0.8	0.48
7-10	0	0	8	0	0	1.6	0.77
7-9	6	0	0	0	0	1.2	0.63
1-11	1	2	0	1	2	0.75	0.39

3. Selección de Diámetros

$$D = \sqrt{\frac{21.22 \times Q}{V}} \quad (\text{Coker \& Ludwig, 2007})$$

Q = Caudal Q_a en l/min

V = velocidad en m/s, se tomó el valor de 2.5m/s para optimizar el diseño

Tramo	Diámetro (pulgadas)
0-1	1 1/2
1-2	1 1/2
2-3	1
3-4	1
2-5	1 1/2
5-6	1/2
5-7	1 1/2
7-8	1
7-10	1
7-9	1
1-11	1

4. Cálculo de Pérdidas

Tramo 0-1			
$J=6,1 \cdot C(Q^{1,75}/D^{4,75})$			
Q = 0.0027 m ³ /s			
C = 0.0001 PVC			
D = 0.0381 m			
J = 0.107 m/m			
Pérdidas por accesorios			
Accesorio	Cantidad	Le	Subtotal
Reducción 2 a 1 1/2	1	0.205	0.21
Reducción 1 1/2 a 1	1	0.156	0.16
Válvula compuerta abierta 1 1/2"	1	0.189	0.19
Tee 1 1/2" P.D.L.	1	1.019	1.02
Total Accesorios			1.57
Longitud Tubería	3.00	m	
Longitud Total	4.57	m	
Pérdida Total	0.49	m	

Tramo 1-2			
$J=6,1 \cdot C(Q^{1,75}/D^{4,75})$			
Q = 0.00246 m ³ /s			
C = 0.0001 PVC			
D = 0.0381 m			
J = 0.091 m/m			
Pérdidas por accesorios			
Accesorio	Cantidad	Le	Subtotal
Codo 1 1/2"	1	0.72	0.72
Tee 1 1/2" P.D.	1	0.553	0.55
Reducción 1 1/2 a 1	1	0.156	0.16
Total Accesorios			1.4327631
Longitud Tubería	39.73	m	
Longitud Total	41.16	m	
Pérdida Total	3.75	m	

Tramo 2-3			
$J=6,1 \cdot C(Q^{1,75}/D^{4,75})$			
Q = 0.00118 m ³ /s C = 0.0001 PVC D = 0.0254 m J = 0.173 m/m			
Pérdidas por accesorios			
Accesorio	Cantidad	Le	Subtotal
Tee 1'' P.D.	8	0.38	3.02
Reducción 1 a 1/2''	8	0.11	0.85
Codo 1''	1	0.50	0.50
Válvula compuerta abierta 1"	1	0.13	0.13
Total Accesorios			4.50
Longitud Tubería	119.60	m	
Longitud Total	124.10	m	
Pérdida Total	21.48	m	

Tramo 3-4			
$J=6,1 \cdot C(Q^{1,75}/D^{4,75})$			
Q = 0.00063 m ³ /s C = 0.0001 PVC D = 0.0254 m J = 0.058 m/m			
Pérdidas por accesorios			
Accesorio	Cantidad	Le	Subtotal
Tee 1'' P.D.	5	0.377	1.89
Reducción 1 a 1/2''	6	0.106	0.64
Codo 1''	1	0.503	0.50
Válvula compuerta abierta 1"	1	0.13	0.13
Total Accesorios			3.16
Longitud Tubería	46.47	m	
Longitud Total	49.63	m	
Pérdida Total	2.86	m	

Tramo 2-5			
$J=6,1 \cdot C(Q^{1,75}/D^{4,75})$			
Q = 0.00063 m ³ /s			
C = 0.0001 PVC			
D = 0.0254 m			
J = 0.058 m/m			
Pérdidas por accesorios			
Accesorio	Cantidad	Le	Subtotal
Tee 1 1/2'' P.D.	1	0.553	0.55
Reducción 1 1/2 a 1/2''	1	0.156	0.16
Total Accesorios			0.71
Longitud Tubería	26.60	m	
Longitud Total	27.31	m	
Pérdida Total	1.58	m	

Tramo 5-6			
$J=6,1 \cdot C(Q^{1,75}/D^{4,75})$			
Q = 0.0002 m ³ /s			
C = 0.0001 PVC			
D = 0.0127 m			
J = 0.208 m/m			
Pérdidas por accesorios			
Accesorio	Cantidad	Le	Subtotal
Tee 1/2'' P.D.	1	0.553	0.55
Codo 1/2''	1	0.281	0.28
Total Accesorios			0.83
Longitud Tubería	32.75	m	
Longitud Total	33.58	m	
Pérdida Total	7.00	m	

Tramo 5-7			
$J=6,1 \cdot C(Q^{1,75}/D^{4,75})$			
Q = 0.00145 m ³ /s			
C = 0.0001 PVC			
D = 0.0381 m			
J = 0.036 m/m			
Pérdidas por accesorios			
Accesorio	Cantidad	Le	Subtotal
Tee 1 1/2" P.D.	2	0.553	1.11
Reducción 1 1/2 a 1"	3	0.156	0.47
Total Accesorios			1.57
Longitud Tubería	31.25	m	
Longitud Total	32.82	m	
Pérdida Total	1.19	m	

Tramo 7-8			
$J=6,1 \cdot C(Q^{1,75}/D^{4,75})$			
Q = 0.00048 m ³ /s			
C = 0.0001 PVC			
D = 0.0254 m			
J = 0.036 m/m			
Pérdidas por accesorios			
Accesorio	Cantidad	Le	Subtotal
Tee 1" P.D.	4	0.377	1.51
Reducción 1 a 1/2"	4	0.106	0.42
Válvula compuerta abierta 1"	1	0.13	0.13
Total Accesorios			1.85
Longitud Tubería	38.55	m	
Longitud Total	40.61	m	
Pérdida Total	1.46	m	

Tramo 7-10			
$J=6,1 * C(Q^{1,75}/D^{4,75})$			
Q = 0.00077 m ³ /s			
C = 0.0001 PVC			
D = 0.0254 m			
J = 0.082 m/m			
Pérdidas por accesorios			
Accesorio	Cantidad	Le	Subtotal
Tee 1'' P.D.	8	0.377	3.02
Reducción 1 a 1/2''	8	0.106	0.85
Válvula compuerta abierta 1"	1	0.13	0.13
Total Accesorios			4.00
Longitud Tubería	95.35	m	
Longitud Total	99.35	m	
Pérdida Total	8.14	m	

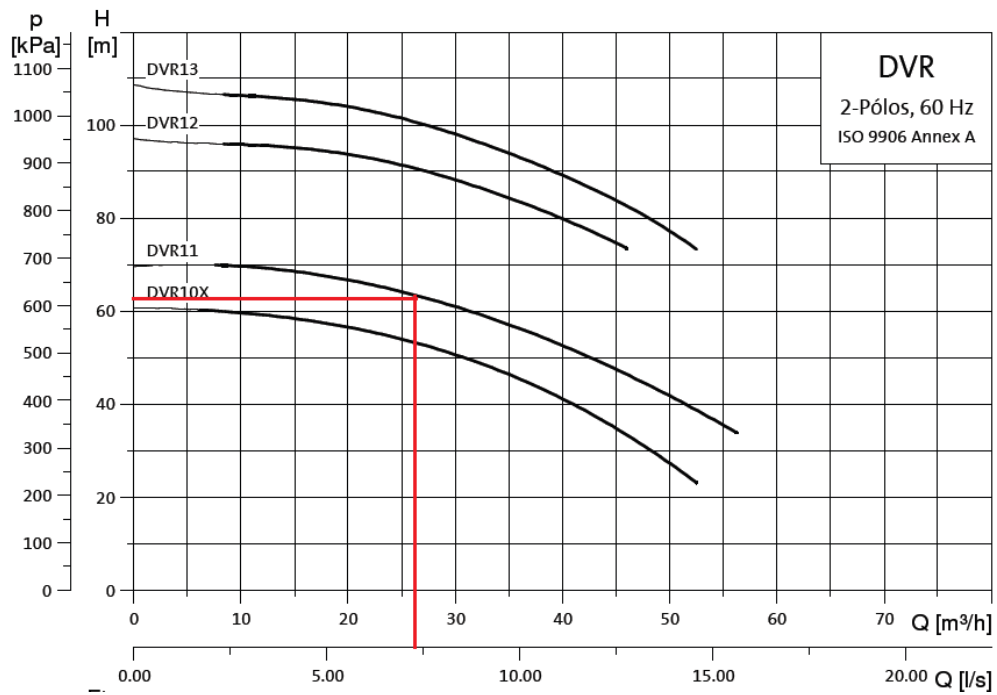
Tramo 7-9			
$J=6,1 * C(Q^{1,75}/D^{4,75})$			
Q = 0.00063 m ³ /s			
C = 0.0001 PVC			
D = 0.0254 m			
J = 0.058 m/m			
Pérdidas por accesorios			
Accesorio	Cantidad	Le	Subtotal
Tee 1'' P.D.	5	0.377	1.89
Reducción 1 a 1/2''	6	0.106	0.64
Codo 1''	2	0.5	1.00
Válvula compuerta abierta 1"	1	0.13	0.13
Total Accesorios			3.65
Longitud Tubería	84.45	m	
Longitud Total	88.10	m	
Pérdida Total	5.08	m	

Tramo 1-11			
$J=6,1 * C(Q^{1,75}/D^{4,75})$			
Q = 0.00039 m ³ /s			
C = 0.0001 PVC			
D = 0.0191 m			
J = 0.098 m/m			
Pérdidas por accesorios			
Accesorio	Cantidad	Le	Subtotal
Tee 1'' P.D.	4	0.377	1.51
Reducción 1 a 1/2''	5	0.106	0.53
Codo 1''	2	0.5	1.00
Total Accesorios			3.04
Longitud Tubería	19.80	m	
Longitud Total	22.84	m	
Pérdida Total	2.23	m	

Tramo 1/2" (Duchas)			
$J=6,1 * C(Q^{1,75}/D^{4,75})$			
Q = 0.0002 m ³ /s			
C = 0.0001 PVC			
D = 0.0127 m			
J = 0.208 m/m			
Pérdidas por accesorios			
Accesorio	Cantidad	Le	Subtotal
Codo 1/2''	2	0.281	0.56
Total Accesorios			0.56
Longitud Tubería	3.00	m	
Longitud Total	3.56	m	
Pérdida Total	0.74	m	
Perdida Total (13 tramos)	9.66	m	

PERDIDA TOTAL = 64.92 m

5. Selección de la Bomba



Curvas de desempeño



Bomba Mark Grundfos Monoestágio Rosqueada DVR11 Monofásica 110V/220V

Características	
Modelo	DVR11
Potencia	15HP
Tensión	110V/120V
Caudal Máximo	56 m ³ /h
Altura Máxima (M.C.A.)	180
Conexión DNS	2 ½"
Conexión DNR	2"

Anexo 4. Planos estructurales

Anexo 5. Planos del sistema de agua potable