

**APÉNDICE Nº13. REGISTRO DE CALICATAS EN EL DEPÓSITO DE QUITUMBE**

**METRO DE QUITO  
ZONA DE TALLERES Y PARQUEADEROS**

**QUITO, 10 DE MAYO DE 2012**

**CALICATA N°: CCQ 5**

**PRIMER ESTRATO**

No existe cobertura vegetal (Hierva), se puede observar un movimiento preliminar de tierra.

**SEGUNDO ESTRATO**

Limo areno – arcilloso de color café oscuro a negruzco con un espesor aproximado de 3.00m, de compacidad entre blando a ligeramente compacto, de ligera a mediana plasticidad, medianamente húmedo, con presencia de grumos blandos, hacia el final cambia a una tonalidad café amarillenta. Se lo podría clasificar como ML – MH. Se observa que la retroexcavadora no tiene problemas para excavar suelo suave.

**TERCER ESTRATO**

Limo areno – arcilloso de color café amarillento, hasta la profundidad de 4.00m medianamente plástica, muy húmedo a saturado, presencia de grumos suaves, Se detecta el nivel de agua a 3.73 m, referido desde la superficie actual del terreno. La clasificación puede ser ML-CL. Se observa que la retroexcavadora no tiene problemas para excavar suelo suave.

**COORD: N 9 967 020  
E 772 242  
Cota: 2925.00 m.s.n.m.**

**NIVEL DE AGUA A: -3.73 m (referidos a la superficie actual del terreno)**



### **CALICATA N°: CCQ 4**

#### **PRIMER ESTRATO**

Suelo de cobertura de aproximadamente 0.80m.

#### **SEGUNDO ESTRATO**

Limo areno – arcilloso de color café oscuro a negruzco con un espesor aproximado de 4.00m, de compactación entre blanda a ligeramente compacta, de ligera a mediana plasticidad, medianamente húmedo, con presencia de grumos blandos, hacia el final cambia a una tonalidad café amarillenta. Se lo podría clasificar como ML – MH. Se observa que la retroexcavadora no tiene problemas para excavar suelo suave.

#### **TERCER ESTRATO**

Limo areno – arcilloso de color café amarillento, hasta la profundidad de 5.90m medianamente plástica, medianamente húmedo, presencia de grumos suaves, Hasta la profundidad investigada no se detectó el nivel de agua, referido desde la superficie actual del terreno. La clasificación puede ser ML-CL. Se observa que la retroexcavadora no tiene problemas para excavar suelo suave.

**COORD: N 9 967 024**  
**E 772 095**  
**Cota: 2935.00 m.s.n.m.**

**NIVEL DE AGUA A: NO SE DETECTO HASTA LA PROFUNDIDAD DE -5.90 m.**  
**(referidos a la superficie actual del terreno)**



### **CALICATA N°: CCQ 3**

#### **PRIMER ESTRATO**

Suelo de relleno con una profundidad de aproximadamente de 0.50m.

#### **SEGUNDO ESTRATO**

Limo areno – arcilloso de color café oscuro a negruzco con un espesor aproximado de 4.00m, de compacidad entre blando a ligeramente compacto, de ligera a mediana plasticidad, medianamente húmedo, con presencia de grumos blandos, hacia el final cambia a una tonalidad café amarillenta. Se lo podría clasificar como ML – MH. Se observa que la retroexcavadora no tiene problemas para excavar suelo suave.

#### **TERCER ESTRATO**

Limo areno – arcilloso de color café amarillento, hasta la profundidad de 5.15m medianamente plástica, medianamente húmedo, presencia de grumos suaves, Hasta la profundidad investigada no se detecto el nivel de agua, referido desde la superficie actual del terreno. La clasificación puede ser ML-CL. Se observa que la retroexcavadora no tiene problemas para excavar suelo suave.

**COORD: N 9 966 784**  
**E 771 984**  
**Cota: 2950.00 m.s.n.m.**

**NIVEL DE AGUA A: NO SE DETECTO HASTA LA PROFUNDIDAD DE -5.15 m.**  
**(referidos a la superficie actual del terreno)**



## **CALICATA N°: CCQ 8**

### **PRIMER ESTRATO**

Suelo de relleno con una profundidad de aproximadamente de 0.60m.

### **SEGUNDO ESTRATO**

Limo areno – arcilloso de color café oscuro a negruzco con un espesor aproximado de 4.00m, de compactación entre blanda a ligeramente compacta, de ligera a mediana plasticidad, medianamente húmedo, con presencia de grumos blandos, hacia el final cambia a una tonalidad café amarillenta. Se lo podría clasificar como ML – MH. Se observa que la retroexcavadora no tiene problemas para excavar suelo suave.

### **TERCER ESTRATO**

Limo areno – arcilloso de color café amarillento, hasta la profundidad de 5.15m medianamente plástica, medianamente húmedo, presencia de grumos suaves, Hasta la profundidad investigada no se detectó el nivel de agua, referido desde la superficie actual del terreno. La clasificación puede ser ML-CL. Se observa que la retroexcavadora no tiene problemas para excavar suelo suave.

**COORD: N 9 966 823**  
**E 772 026**  
**Cota: 2953.00 m.s.n.m.**

**NIVEL DE AGUA A: NO SE DETECTO HASTA LA PROFUNDIDAD DE -5.15 m.**  
**(referidos a la superficie actual del terreno)**



## **CALICATA N°: CCQ 1**

### **PRIMER ESTRATO**

Suelo de cobertura de aproximadamente 0.50m

### **SEGUNDO ESTRATO**

Limo areno – arcilloso de color café oscuro a negruzco con un espesor aproximado de 4.00m, de compacidad entre blando a ligeramente compacto, de ligera a mediana plasticidad, medianamente húmedo, con presencia de grumos blandos, hacia el final cambia a una tonalidad café amarillenta. Se lo podría clasificar como ML – MH. Se observa que la retroexcavadora no tiene problemas para excavar suelo suave.

### **TERCER ESTRATO**

Limo areno – arcilloso de color café amarillento, hasta la profundidad de 4.95m medianamente plástica, medianamente húmedo, presencia de grumos suaves, Hasta la profundidad investigada no se detecto el nivel de agua, referido desde la superficie actual del terreno. La clasificación puede ser ML-CL. Se observa que la retroexcavadora no tiene problemas para excavar suelo suave. Al final se detecta presencia de estrato arenoso, de color café amarillenta a gris oscura, de grano fino, muy suelta, ligeramente plástica.

**COORD: N 9 966 893**  
**E 771 914**  
**Cota: 2954.00 m.s.n.m.**

**NIVEL DE AGUA A: NO SE DETECTO HASTA LA PROFUNDIDAD DE -4.95 m.**  
**(referidos a la superficie actual del terreno)**



## **CALICATA N°: CCQ 7**

### **PRIMER ESTRATO**

Suelo de cobertura de aproximadamente 0.50m

### **SEGUNDO ESTRATO**

Limo areno – arcilloso de color café oscuro a negruzco con un espesor aproximado de 4.00m, de compacidad entre blando a ligeramente compacto, de ligera a mediana plasticidad, medianamente húmedo, con presencia de grumos blandos, hacia el final cambia a una tonalidad café amarillenta. Se lo podría clasificar como ML – MH. Se observa que la retroexcavadora no tiene problemas para excavar suelo suave.

### **TERCER ESTRATO**

Limo areno – arcilloso de color café amarillento, hasta la profundidad de 5.00m medianamente plástica, medianamente húmedo, presencia de grumos suaves, Hasta la profundidad investigada no se detectó el nivel de agua, referido desde la superficie actual del terreno. La clasificación puede ser ML-CL. Se observa que la retroexcavadora no tiene problemas para excavar suelo suave. Al final se detecta presencia de estrato arenoso, de color café amarillento a gris oscuro, de grano fino, muy suelta, ligeramente plástica.

**COORD: N 9 966 966**  
**E 771 979**  
**Cota: 2946.00 m.s.n.m.**

**NIVEL DE AGUA A: NO SE DETECTO HASTA LA PROFUNDIDAD DE -5.00 m.**  
**(referidos a la superficie actual del terreno)**



## **CALICATA N°: CCQ 2**

### **PRIMER ESTRATO**

Suelo de cobertura y relleno de aproximadamente 2.00m

### **SEGUNDO ESTRATO**

Limo areno – arcilloso de color café oscuro a negruzco con un espesor aproximado de 4.00m, de compacidad entre blando a ligeramente compacto, de ligera a mediana plasticidad, medianamente húmedo, existe un ligero olor orgánico, con presencia de grumos blandos, hacia el final cambia a una tonalidad café amarillenta. Se lo podría clasificar como ML- OL – MH. Se observa que la retroexcavadora no tiene problemas para excavar suelo suave.

### **TERCER ESTRATO**

Limo areno – arcilloso de color café amarillento, hasta la profundidad de 4.80m medianamente plástica, medianamente húmedo, presencia de grumos suaves, hasta la profundidad investigada no se detecto el nivel de agua, referido desde la superficie actual del terreno. La clasificación puede ser ML-CL. Se observa que la retroexcavadora no tiene problemas para excavar suelo suave. Al final se detecta presencia de estrato arenoso, de color café amarillenta a gris oscura, de grano fino, muy suelta, ligeramente plástica.

**COORD: N 9 966 906**  
**E 772 064**  
**Cota: 2942.00 m.s.n.m.**

**NIVEL DE AGUA A: NO SE DETECTO HASTA LA PROFUNDIDAD DE -4.80 m.**  
**(referidos a la superficie actual del terreno)**





### **CALICATA N°: CCQ 9**

#### **PRIMER ESTRATO**

Suelo de cobertura y relleno de aproximadamente 2.00m

#### **SEGUNDO ESTRATO**

Limo areno – arcilloso de color café oscuro a negrozco con un espesor aproximado de 4.00m, de compacidad entre blando a ligeramente compacto, de ligera a mediana plasticidad, medianamente húmedo, con presencia de grumos blandos, hacia el final cambia a una tonalidad café amarillenta. Se lo podría clasificar como ML – MH. Se observa que la retroexcavadora no tiene problemas para excavar suelo suave.

#### **TERCER ESTRATO**

Limo areno – arcilloso de color café amarillento, hasta la profundidad de 4.80m medianamente plástica, medianamente húmedo, presencia de grumos suaves, hasta la profundidad investigada no se detectó el nivel de agua, referido desde la superficie actual del terreno. La clasificación puede ser ML-CL. Se observa que la retroexcavadora no tiene problemas para excavar suelo suave. Al final se detecta presencia de estrato arenoso, de color café amarillento a gris oscuro, de grano fino, muy suelta, ligeramente plástica.

**COORD: N 9 966 942**  
**E 772 149**  
**Cota: 2938.00 m.s.n.m.**

**NIVEL DE AGUA A: NO SE DETECTO HASTA LA PROFUNDIDAD DE -4.80 m.**  
**(referidos a la superficie actual del terreno)**



## **CALICATA N°: CCQ 6**

### **PRIMER ESTRATO**

Suelo de cobertura de aproximadamente 0.50m

### **SEGUNDO ESTRATO**

Limo areno – arcilloso de color café oscuro a negruzco con un espesor aproximado de 4.00m, de compacidad entre blando a ligeramente compacto, de ligera a mediana plasticidad, ligera medianamente húmedo, con presencia de grumos blandos, hacia el final cambia a una tonalidad café amarillenta. Se lo podría clasificar como ML- CL. Se observa que la retroexcavadora no tiene problemas para excavar suelo suave.

### **TERCER ESTRATO**

Limo areno – arcilloso de color café amarillento, hasta la profundidad de 5.30m medianamente plástica, medianamente húmedo, presencia de grumos suaves, hasta la profundidad investigada no se detecto el nivel de agua, referido desde la superficie actual del terreno. La clasificación puede ser ML-CL. Se observa que la retroexcavadora no tiene problemas para excavar suelo suave.

**COORD: N 9 966 903**  
**E 772 184**  
**Cota: 2939.00 m.s.n.m.**

**NIVEL DE AGUA A: NO SE DETECTO HASTA LA PROFUNDIDAD DE -5.30 m.**  
**(referidos a la superficie actual del terreno)**



GPS

	PROYECTO	3039-METRO QUITO	AGH	SUPERVISOR	REIRO	X	MANUAL	COORDENADAS	X	771.914	10/5/12	CATA N°	
	CLIENTE	METRO MADRID							Y	9.966.893	FECHA		CCQ
	LOCALIDAD	QUITO (ECUADOR)							Z	2.954	HORA		12:30
P.K.	LADO	DIST. AL EJE											
SE HA DESPLAZADO RESPECTO DE LA UBICACIÓN PROPUESTA.			LAS MISMAS QUE EN CCQ-5										
SITUACIÓN			OBSERVACIONES		CONDICIONES SUPERFICIALES		FOTOGRAFÍAS		FINAL DE CALICATA				
SMQ-66			CCQ-1		EMPLAZAMIENTO		X		LISTADO DE MUESTRAS				
CALICATA			X		SITUACIÓN EN PLANO								

MUESTRA			VANE	PENETRÓMETRO	PROFUNDIDAD EN METROS	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	DESCRIPCIÓN DEL TERRENO
BOTE	BOLSA	SACO					
					0,0		RELLENO ANTROPICO CON RESTOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, PLÁSTICOS. TIERRA VEGETAL.
					0,2		
					0,4		
					0,6		
					0,8		
					1,0		LIMO CON ALGO DE ARENA PAREDES ESTABLES
					1,2		
					1,4		
					1,6		
					1,8		
					2,0		
					2,2		
					2,4		
					2,6		LIMO ARENOSO
					2,8		
					3,0		
					3,2		
					3,4		
					3,6		
					3,8		ARENA LIMOSA
					4,0		

LÁMINA 4

1/2

	PROYECTO		SUPERVISOR	REIRO	MANUAL	COORDENADAS	X		FECHA	CCQ	CATA N°	
	CLIENTE						Y		HORA	1		
	LOCALIDAD						Z					
P.K.	LADO	DIST. AL EJE										
SITUACIÓN			OBSERVACIONES		CONDICIONES SUPERFICIALES		FOTOGRAFÍAS		FINAL DE CALICATA			
					EMPLAZAMIENTO				LISTADO DE MUESTRAS			
CALICATA					SITUACIÓN EN PLANO							

MUESTRA			VANE	PENETRÓMETRO	PROFUNDIDAD EN METROS	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	DESCRIPCIÓN DEL TERRENO
BOTE	BOLSA	SACO					
					0,0		ARENA LIMOSA
					0,2		
					0,4		
					0,6		
					0,8		
					1,0		FINAL DE CALICATA A 4,95 m SIN HABER DETECTADO AGUA.
					1,2		
					1,4		
					1,6		
					1,8		
					2,0		
					2,2		
					2,4		
					2,6		
					2,8		
					3,0		
					3,2		
					3,4		
					3,6		
					3,8		
					4,0		

LÁMINA 4

2/2


		PROYECTO <b>3039-METRO QUITO</b> CLIENTE <b>METRO MADRID</b> LOCALIDAD <b>QUITO (ECUADOR)</b>	SUPERVISOR <b>AGH</b> RETRO <input checked="" type="checkbox"/> MANUAL	COORDENADAS X <b>772.064</b> Y <b>9.966.906</b> Z <b>2.942</b>	GPS 10/5/12 FECHA <b>14:20</b> HORA	CATA N° <b>CCQ</b> <b>2</b>	
P.K.	LADO	DIST. AL EJE	OBSERVACIONES <b>LAS MISMAS QUE EN CCQ-5</b>				
SITUACIÓN			CONDICIONES SUPERFICIALES				
			FOTOGRAFÍAS		FINAL DE CALICATA		
			EMPLAZAMIENTO	<input checked="" type="checkbox"/>	LISTADO DE MUESTRAS		
			CALICATA	<input checked="" type="checkbox"/>	SITUACIÓN EN PLANO		
MUESTRA			VANE	PENETRÓMETRO	PROFUNDIDAD EN METROS	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	DESCRIPCIÓN DEL TERRENO
BOTE	BOLSA	SACO					
					0,0		TIERRA VEGETAL
					0,2		RESTOS DE PLÁSTICO
					0,4		
					0,6		LIMO ARENOSO CON BASTANTE ARCILLA
					0,8		
					1,0		
					1,2		
					1,4		
					1,6		A 1,5 m APROXIMADAMENTE SE DESENTIERRA UNA LOSETA DE HORMIGÓN.
					1,8		
					2,0		PAREDES ESTABLES
					2,2		
					2,4		LIMO CON BASTANTE ARCILLA E INDICIOS DE ARENA.
					2,6		
					2,8		
					3,0		ARENA CON BASTANTE LIMO Y BASTANTE ARCILLA
					3,2		
					3,4		
					3,6		LIMO CON BASTANTE ARCILLA Y ALGO DE ARENA
					3,8		
					4,0		

LÁMINA 4

1/2


		PROYECTO CLIENTE LOCALIDAD	SUPERVISOR RETRO <input type="checkbox"/> MANUAL	COORDENADAS X Y Z	10/5/12 FECHA HORA	CATA N° <b>CCQ</b> <b>2</b>	
P.K.	LADO	DIST. AL EJE	OBSERVACIONES				
SITUACIÓN			CONDICIONES SUPERFICIALES				
			FOTOGRAFÍAS		FINAL DE CALICATA		
			EMPLAZAMIENTO	<input type="checkbox"/>	LISTADO DE MUESTRAS		
			CALICATA	<input type="checkbox"/>	SITUACIÓN EN PLANO		
MUESTRA			VANE	PENETRÓMETRO	PROFUNDIDAD EN METROS	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	DESCRIPCIÓN DEL TERRENO
BOTE	BOLSA	SACO					
					0,0		ARENA LIMOSA CON ALGO DE GRAVILLOS
					0,2		
					0,4		
					0,6		LIMO ARENOSO
					0,8		
					1,0		FINAL DE CALICATA A 4,8 m SIN HABER DETECTADO AGUA.
					1,2		
					1,4		
					1,6		
					1,8		
					2,0		
					2,2		
					2,4		
					2,6		
					2,8		
					3,0		
					3,2		
					3,4		
					3,6		
					3,8		
					4,0		

LÁMINA 4

2/2

GPS

	PROYECTO	3039-METRO QUITO		AGH		COORDENADAS		X	771.984	10/5/12	CATA N°
	CLIENTE	METRO MADRID		SUPERVISOR		Y	9.966.784	FECHA	CCQ		FECHA
	LOCALIDAD	QUITO (ECUADOR)		RETRO	<input checked="" type="checkbox"/>	MANUAL	Z	2.950	HORA	3	
P.K.	LADO	DIST. AL EJE		OBSERVACIONES							
				LAS MISMAS QUE EN CCQ-5							
SITUACIÓN				CONDICIONES SUPERFICIALES							
				FOTOGRAFIAS				FINAL DE CALICATA			
				EMPLAZAMIENTO				LISTADO DE MUESTRAS			
				CALICATA				SITUACIÓN EN PLANO			

MUESTRA			VANE	PENETRÓMETRO	PROFUNDIDAD EN METROS	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	DESCRIPCIÓN DEL TERRENO
BOTE	BOLSA	SACO					
					0,0		
					0,2	X	RELLENO ANTRÓPICO CON RESTOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.
					0,4	X	
					0,6	X	
					0,8	X	limo arcilloso
					1,0	X	PAREDES ESTABLES
					1,2	X	
					1,4	X	
					1,6	X	
					1,8	X	
					2,0	X	
					2,2	X	
					2,4	X	
					2,6	X	
					2,8	X	
					3,0	X	ARENA LIMOSA CON INDICIOS DE GRAVA
					3,2	X	
					3,4	X	
					3,6	X	
					3,8	X	
					4,0	X	

LÁMINA 4

1/2

	PROYECTO					COORDENADAS		X			CATA N°
	CLIENTE			SUPERVISOR		Y		FECHA	CCQ		FECHA
	LOCALIDAD			RETRO	<input type="checkbox"/>	MANUAL	Z		HORA	3	
P.K.	LADO	DIST. AL EJE		OBSERVACIONES							
				CONDICIONES SUPERFICIALES							
				FOTOGRAFIAS				FINAL DE CALICATA			
				EMPLAZAMIENTO				LISTADO DE MUESTRAS			
				CALICATA				SITUACIÓN EN PLANO			

MUESTRA			VANE	PENETRÓMETRO	PROFUNDIDAD EN METROS	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	DESCRIPCIÓN DEL TERRENO
BOTE	BOLSA	SACO					
					0,0		
					0,2	X	ARENA LIMOSA CON INDICIOS DE GRAVA
					0,4	X	
					0,6	X	
					0,8	X	
					1,0	X	
					1,2	X	
					1,4	X	
					1,6	X	
					1,8	X	
					2,0	X	
					2,2	X	
					2,4	X	
					2,6	X	
					2,8	X	
					3,0	X	
					3,2	X	
					3,4	X	
					3,6	X	
					3,8	X	
					4,0	X	

LÁMINA 4

2/2

GPS

	PROYECTO	3039-METRO QUITO	AGH	COORDENADAS	X	772.095	10/5/12	CATA N°	
	CLIENTE	METRO MADRID			Y	9.967.024	FECHA		CCQ
	LOCALIDAD	QUITO (ECUADOR)			Z	2.935	HORA		4
P.K.		LADO	DIST. AL EJE	RETRO		MANUAL			
SITUACIÓN				OBSERVACIONES				CONDICIONES SUPERFICIALES	
				LAS MISMAS QUE EN CCQ-5					
				FOTOGRAFÍAS		FINAL DE CALICATA			
				EMPLAZAMIENTO		LISTADO DE MUESTRAS			
				CALICATA		SITUACIÓN EN PLANO			
MUESTRA			VANE	PENETRÓMETRO	PROFUNDIDAD EN METROS	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	DESCRIPCIÓN DEL TERRENO		
BOTE	BOLSA	SACO							
					0,0	/	TIERRA VEGETAL		
					0,2	/	PRESENCIA DE BOLOS		
					0,4	/			
					0,6	/	LIMO CON BASTANTE ARENA		
					0,8	/	PAREDES ESTABLES		
					1,0	/			
					1,2	/			
					1,4	/			
					1,6	/			
					1,8	/			
					2,0	/			
					2,2	/			
					2,4	/			
					2,6	/	LIMO ARENOSO		
					2,8	/			
					3,0	/			
					3,2	/			
					3,4	/			
					3,6	/			
					3,8	/			
					4,0	/			

LÁMINA 4

1/2

	PROYECTO		SUPERVISOR	COORDENADAS	X			CATA N°	
	CLIENTE				Y		FECHA		CCQ
	LOCALIDAD				Z		HORA		4
P.K.		LADO	DIST. AL EJE	RETRO		MANUAL			
SITUACIÓN				OBSERVACIONES				CONDICIONES SUPERFICIALES	
				FOTOGRAFÍAS		FINAL DE CALICATA			
				EMPLAZAMIENTO		LISTADO DE MUESTRAS			
				CALICATA		SITUACIÓN EN PLANO			
MUESTRA			VANE	PENETRÓMETRO	PROFUNDIDAD EN METROS	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	DESCRIPCIÓN DEL TERRENO		
BOTE	BOLSA	SACO							
					0,0	/	LIMO ARENOSO		
					0,2	/			
					0,4	/			
					0,6	/			
					0,8	/			
					1,0	/			
					1,2	/			
					1,4	/			
					1,6	/			
					1,8	/			
					2,0	/			
					2,2	/			
					2,4	/			
					2,6	/			
					2,8	/			
					3,0	/			
					3,2	/			
					3,4	/			
					3,6	/			
					3,8	/			
					4,0	/			

LÁMINA 4

2/2

GPS


	PROYECTO	3039-METRO QUITO	AGH	COORDENADAS	X	772.242	10/5/12	CATA N°						
	CLIENTE	METRO MADRID	SUPERVISOR		Y	9.967.020	FECHA		CCQ					
	LOCALIDAD	QUITO (ECUADOR)	RETRO		Z	2.925	HORA		5					
P.K.	LADO	DIST. AL EJE												
SITUACIÓN			.TMQ-WGS84 .Zona 17 Sur Modificada .Tomar "Z" de la cartografía											
									CONDICIONES SUPERFICIALES					
									FOTOGRAFÍAS			FINAL DE CALICATA		
									EMPLAZAMIENTO			LISTADO DE MUESTRAS		
CALICATA			SITUACIÓN EN PLANO											
MUESTRA		VANE	PENETRÓMETRO	PROFUNDIDAD EN METROS	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	DESCRIPCIÓN DEL TERRENO								
BOTE	BOLSA							SACO						
				0,0		TIERRA VEGETAL								
				0,2										
				0,4										
				0,6										
				0,8		LIMO CON ALGO DE ARENA.								
				1,0		LAS PAREDES AGUANTAN								
				1,2		VERTICALMENTE								
				1,4										
				1,6										
				1,8										
				2,0										
				2,2										
				2,4										
				2,6										
				2,8										
				3,0										
				3,2										
				3,4		ARENAS CON BASTANTE LIMO Y ALGO DE GRAVAS.								
				3,6		APARECE AGUA Y LLENA EL FONDO								
				3,8		FINAL DE CAUCATA A 3,73 M								
				4,0										

LÁMINA 4

111

GPS


	PROYECTO	3039-METRO QUITO	AGH	COORDENADAS	X	772.184	10/5/12	CATA N°												
	CLIENTE	METRO MADRID	SUPERVISOR		Y	9.966.903	FECHA		CCQ											
	LOCALIDAD	QUITO (ECUADOR)	RETRO		Z	2.939	HORA		6											
P.K.	LADO	DIST. AL EJE																		
SITUACIÓN			SE APROVECHA LA EXISTENCIA DE UN HUECO PARA INTENTAR ALCANZAR MAYOR PROFUNDIDAD.																	
									LAS MISMAS QUE EN CCQ-5.											
															CONDICIONES SUPERFICIALES					
															FOTOGRAFÍAS			FINAL DE CALICATA		
EMPLAZAMIENTO			LISTADO DE MUESTRAS																	
CALICATA			SITUACIÓN EN PLANO																	
MUESTRA		VANE	PENETRÓMETRO	PROFUNDIDAD EN METROS	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	DESCRIPCIÓN DEL TERRENO														
BOTE	BOLSA							SACO												
				0,0		TIERRA VEGETAL														
				0,2																
				0,4																
				0,6		LIMO ARCILOSO														
				0,8		PAREDES ESTABLES.														
				1,0																
				1,2																
				1,4																
				1,6																
				1,8																
				2,0																
				2,2																
				2,4																
				2,6																
				2,8																
				3,0																
				3,2																
				3,4																
				3,6																
				3,8																
				4,0																

LÁMINA 4

112

T.P.A. INGENIEROS CONSULTORES Y ARQUITECTOS	PROYECTO	SUPERVISOR		COORDENADAS X Y Z	FECHA CCQ 6	CATA N°			
	CLIENTE	RETRO					MANUAL		
	LOCALIDAD	MANUAL					HORA		
P.K.	LADO	DIST. AL EJE		CONDICIONES SUPERFICIALES					
SITUACIÓN				OBSERVACIONES			FOTOGRAFÍAS	FINAL DE CALICATA	
							EMPLAZAMIENTO	LISTADO DE MUESTRAS	
							CALICATA	SITUACIÓN EN PLANO	
MUESTRA			VANE	PENETRÓMETRO	PROFUNDIDAD EN METROS	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	DESCRIPCIÓN DEL TERRENO		
BOTE	BOLSA	SACO							
					0,0		LIMO ARENOSO		
					0,2				
					0,4				
					0,6				
					0,8				
					1,0				
					1,2				
					1,4				
					1,6				
					1,8				
					2,0				
					2,2				
					2,4				
					2,6				
					2,8				
					3,0				
					3,2				
					3,4				
					3,6				
					3,8				
					4,0				

LÁMINA 4

2/2

GPS

T.P.A. INGENIEROS CONSULTORES Y ARQUITECTOS	PROYECTO	SUPERVISOR		COORDENADAS X Y Z	FECHA CCQ 7	CATA N°			
	CLIENTE	RETRO					MANUAL		
	LOCALIDAD	MANUAL					HORA		
P.K.	LADO	DIST. AL EJE		CONDICIONES SUPERFICIALES					
SITUACIÓN				OBSERVACIONES			FOTOGRAFÍAS	FINAL DE CALICATA	
							EMPLAZAMIENTO	LISTADO DE MUESTRAS	
							CALICATA	SITUACIÓN EN PLANO	
MUESTRA			VANE	PENETRÓMETRO	PROFUNDIDAD EN METROS	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	DESCRIPCIÓN DEL TERRENO		
BOTE	BOLSA	SACO							
					0,0		TIERRA VEGETAL		
					0,2				
					0,4				
					0,6				
					0,8				
					1,0				
					1,2				
					1,4				
					1,6				
					1,8				
					2,0				
					2,2				
					2,4				
					2,6				
					2,8				
					3,0				
					3,2				
					3,4				
					3,6				
					3,8				
					4,0				

LÁMINA 4

1/2



	PROYECTO			COORDENADAS X Y Z	CATA N° <b>CCQ</b> <b>7</b>		
	CLIENTE	SUPERVISOR				FECHA	
	LOCALIDAD	RETRO	MANUAL			HORA	
P.K.	LADO	DIST. AL EJE					
SITUACIÓN				OBSERVACIONES			
				CONDICIONES SUPERFICIALES			
				FOTOGRAFÍAS	FINAL DE CALICATA		
				EMPLAZAMIENTO	ESTADO DE MUESTRAS		
SITUACIÓN				OBSERVACIONES			
MUESTRA			VANE	PENETRÓMETRO	PROFUNDIDAD EN METROS	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	DESCRIPCIÓN DEL TERRENO
BOTE	BOLSA	SACO					
					0,0		ARENA LIMOSA
					0,2		
					0,4		
					0,6		
					0,8		
					5,0		FINAL DE CALICATA A 5,0 m SIN HABER DETECTADO AGUA.
					1,2		
					1,4		
					1,6		
					1,8		
					2,0		
					2,2		
					2,4		
					2,6		
					2,8		
					3,0		
					3,2		
					3,4		
					3,6		
					3,8		
					4,0		

LÁMINA 4

2/2

GPS

	PROYECTO	3039-METRO QUITO		COORDENADAS X Y Z	CATA N° <b>CCQ</b> <b>8</b>		
	CLIENTE	METRO MADRID				FECHA	
	LOCALIDAD	RETRO	MANUAL			HORA	
P.K.	LADO	DIST. AL EJE					
SITUACIÓN				OBSERVACIONES			
				CONDICIONES SUPERFICIALES			
				FOTOGRAFÍAS	FINAL DE CALICATA		
				EMPLAZAMIENTO	ESTADO DE MUESTRAS		
SITUACIÓN				OBSERVACIONES			
MUESTRA			VANE	PENETRÓMETRO	PROFUNDIDAD EN METROS	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	DESCRIPCIÓN DEL TERRENO
BOTE	BOLSA	SACO					
					0,0		RELLENO ANTRÓPICO
					0,2		
					0,4		
					0,6		
					0,8		
					1,0		ARENA LIMOSA
					1,2		PAREDES ESTABLES
					1,4		
					1,6		
					1,8		
					2,0		
					2,2		
					2,4		
					2,6		ARENAS CON BASTANTES LIMOS Y ALGO DE GRAVAS.
					2,8		
					3,0		
					3,2		
					3,4		
					3,6		
					3,8		
					4,0		

LÁMINA 4

1/2

T.P.A. INGENIEROS CONSULTORES TARQUICHOS	PROYECTO	SUPERVISOR		COORDENADAS X Y Z	FECHA	CATA N° CCQ 8
	CLIENTE	RETRO	MANUAL			
	LOCALIDAD	HORA				
P.K.	LADO	DIST. AL EJE				
SITUACIÓN				OBSERVACIONES		
CONDICIONES SUPERFICIALES				CONDICIONES SUPERFICIALES		
FOTOGRAFÍAS		FINAL DE CALICATA				
EMPLAZAMIENTO		LISTADO DE MUESTRAS				
CALICATA		SITUACIÓN EN PLANO				
MUESTRA		VANE	PENETRÓMETRO	PROFUNDIDAD EN METROS	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	DESCRIPCIÓN DEL TERRENO
BOTE	BOLSA					
				0,0	/	ARENAS CON BASTANTES LIMOS X ALGO DE GRAVAS
				0,2	/	
				0,4	/	
				0,6	/	
				0,8	/	
				1,0	/	
				1,2	/	
				1,4	/	
				1,6	/	
				1,8	/	
				2,0	/	
				2,2	/	
				2,4	/	
				2,6	/	
				2,8	/	
				3,0	/	
				3,2	/	
				3,4	/	
				3,6	/	
				3,8	/	
				4,0	/	

LÁMINA 4

2/2

GPS

T.P.A. INGENIEROS CONSULTORES TARQUICHOS	PROYECTO	SUPERVISOR		COORDENADAS X Y Z	FECHA	CATA N° CCQ 9
	CLIENTE	RETRO	MANUAL			
	LOCALIDAD	HORA				
P.K.	LADO	DIST. AL EJE				
SITUACIÓN				OBSERVACIONES		
CONDICIONES SUPERFICIALES				CONDICIONES SUPERFICIALES		
FOTOGRAFÍAS		FINAL DE CALICATA				
EMPLAZAMIENTO		LISTADO DE MUESTRAS				
CALICATA		SITUACIÓN EN PLANO				
MUESTRA		VANE	PENETRÓMETRO	PROFUNDIDAD EN METROS	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	DESCRIPCIÓN DEL TERRENO
BOTE	BOLSA					
				0,0	/	TIERRA VEGETAL
				0,2	/	
				0,4	/	
				0,6	/	
				0,8	/	
				1,0	/	
				1,2	/	
				1,4	/	
				1,6	/	
				1,8	/	
				2,0	/	
				2,2	/	
				2,4	/	
				2,6	/	
				2,8	/	
				3,0	/	
				3,2	/	
				3,4	/	
				3,6	/	
				3,8	/	
				4,0	/	

LÁMINA 4

1/2


	PROYECTO		SUPERVISOR		COORDENADAS	X	FECHA	CATA N° CCQ 9	
	CLIENTE		REIRO			Y			HORA
	LOCALIDAD		MANUAL			Z			
P.K.	LADO	DIST. AL EJE							
SITUACIÓN					OBSERVACIONES		CONDICIONES SUPERFICIALES		
MUESTRA			VANE	PENETRÓMETRO	PROFUNDIDAD EN METROS	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	DESCRIPCIÓN DEL TERRENO		
BOTE	BOLSA	SACO					FOTOGRAFÍAS	FINAL DE CALICATA	
					0.0			LIMO ARENOSO.	
					0.2				
					0.4				
					0.6				
					0.8				
					5.0			FINAL DE CALICATA A 4,80 m SIN HABER DETECTADO AGUA.	
					1.2				
					1.4				
					1.6				
					1.8				
					2.0				
					2.2				
					2.4				
					2.6				
					2.8				
					3.0				
					3.2				
					3.4				
					3.6				
					3.8				
					4.0				

LÁMINA 4

212

**ANEJO Nº 4**

**EFFECTOS SÍSMICOS**



**ÍNDICE**

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>NORMATIVA DE REFERENCIA</b>	<b>2</b>
2.1.	<b>Normativa Ecuatoriana</b>	<b>2</b>
2.2.	<b>Normativa Internacional</b>	<b>2</b>
2.2.1.	Normativa y bibliografía de referencia Internacional de aplicación en Ecuador	2
2.2.2.	Normativa Internacional general	2
<b>3.</b>	<b>CONSIDERACIÓN DE ACCIÓN SÍSMICA</b>	<b>3</b>
3.1.	<b>Introducción</b>	<b>3</b>
3.2.	<b>Espectros elásticos de cálculo</b>	<b>5</b>
3.3.	<b>Requisitos especiales para estructuras de ocupación especial</b>	<b>6</b>
3.4.	<b>Consideración de sismo en fases provisionales de obra</b>	<b>7</b>
3.5.	<b>Cálculo de interacción terreno-estructuras</b>	<b>7</b>

## ANEJO Nº 4

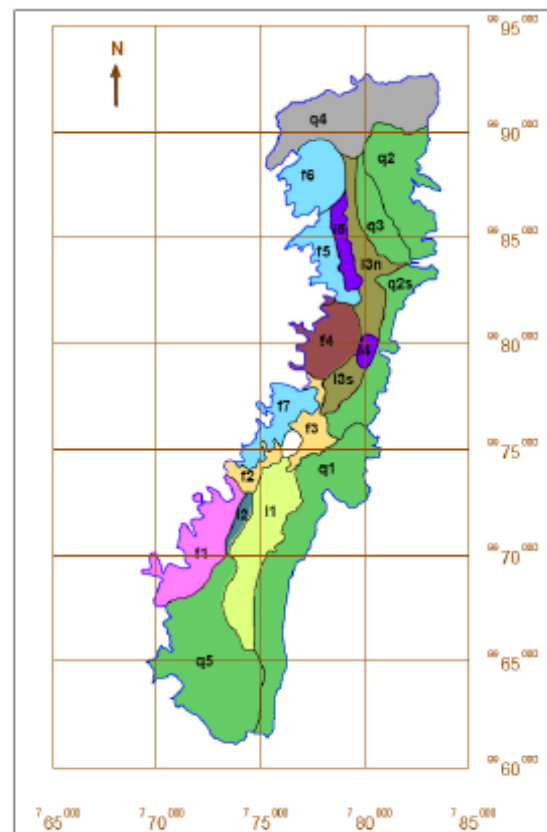
### EFECTOS SÍSMICOS

#### 1. INTRODUCCIÓN

El objeto del presente anejo es exponer las consideraciones relativas a los efectos sísmicos consideradas en el diseño de la Estación El Labrador de la Línea 1 de Metro de Quito.

La ciudad de Quito se ubica en un contexto de tectónica activa debido a la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Suramericana. Se trata de una zona de compresión N80E con presencia de fallas activas que confieren a la ciudad un alto potencial sísmico. El riesgo sísmico existente en la ciudad de Quito es de los más elevados en Ecuador. De hecho, la ciudad de Quito se localiza dentro de la zona Z=V del Mapa de Zonas Sísmicas de Ecuador cuya aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño es  $a_{MAX} = 0.40 \cdot g$ .

Esta elevada aceleración sísmica viene amplificada por la mala calidad de los suelos existentes, especialmente en el sector Norte de la ciudad. En este sentido, durante las últimas décadas se han realizado en la ciudad de Quito distintas clasificaciones de los suelos en función de su riesgo sísmico, tales como se muestra en el siguiente mapa elaborado por EPN et al. (1994).



Zonas de suelos en la ciudad de Quito. EPN et al (1994).

Los materiales señalados con la letra *q* corresponden a cenizas volcánicas con formaciones de tobas (cangahua) presentes en el lado Este de la ciudad de Quito. Los materiales señalados con la letra *l* corresponden a depósitos lacustres pertenecientes a la antigua laguna cuaternaria instalada al Sur, Centro y Norte de la ciudad de Quito, donde se asienta la mayor población de la ciudad. Los materiales señalados con la letra *f* corresponden a depósitos aluvio-columbiales, tales como conos de deyección procedentes de los flancos orientales del Pichincha. Finalmente, el sector no nombrado con ninguna letra y de color blanco corresponde al domo del Panecillo, correspondiente a un edificio volcánico constituido por lavas y piroclastos soldados. De modo concreto, el trazado de la Línea 1 de Metro afectará fundamentalmente a las unidades *l3n*, *f4*, *l3s*, *f3* y *l1*.

En el comportamiento de una estructura enterrada bajo la acción sísmica influyen tres factores: la propia acción sísmica, las condiciones geológicas del terreno y el diseño y construcción de la estructura o túnel.

Las estructuras subterráneas tienen tres modos primarios de vibración frente la acción sísmica:

- Deformación de *Ovaling/Racking*, causada principalmente por las ondas sísmicas propagadas en dirección perpendicular al eje longitudinal del túnel, causando deformaciones en el plano de la sección transversal del túnel.

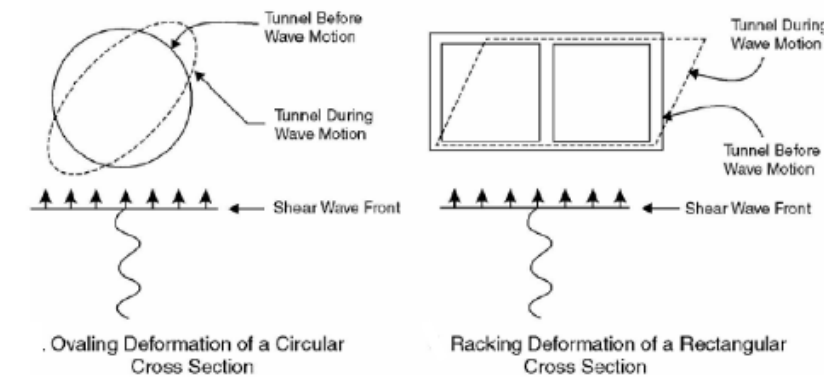


Figure 13-13 Tunnel Transverse Ovaling and Racking Response to Vertically Propagating Shear Waves

- Las deformaciones *axiales* y de *curvatura*, son inducidas por componentes de las ondas sísmicas que se propagan en la dirección longitudinal del túnel.

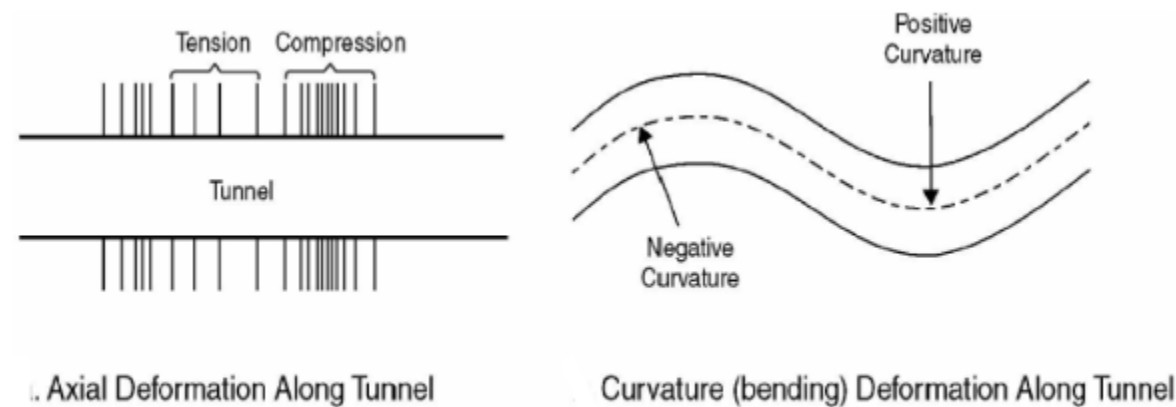


Figure 13-14 Tunnel Longitudinal Axial and Curvature Response to Traveling Waves

## 2. NORMATIVA DE REFERENCIA

Para la consideración de los efectos sísmicos en el diseño de túneles y estructuras, es necesario seguir la siguiente normativa:

### 2.1. Normativa Ecuatoriana

- *Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11 (2011)*
  - *Capítulo 2.* Peligro sísmico y requisitos de diseño sismo resistente.
  - *Capítulo 3.* Riesgo sísmico, evaluación y rehabilitación de estructuras.
- *Código de Práctica Ecuatoriano 5: Código Ecuatoriano de la Construcción.* (Instituto Ecuatoriano de Normalización):
  - *Parte 12 (2001):* Requisitos generales de diseño: Peligro sísmico, espectros de diseño y requisitos mínimos de cálculos para diseño sismo-resistente.
- *Guía Popular de Construcción Sismo Resistente* (Instituto Ecuatoriano de Normalización 1976)
- *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001-F 2002*

### 2.2. Normativa Internacional

#### 2.2.1. Normativa y bibliografía de referencia Internacional de aplicación en Ecuador

- *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (S.I. Units 2007)*
- *Requisitos de Reglamento para Hormigón Estructural (ACI 318S-08)*
  - *Capítulo 21:* Estructuras sismo resistentes.
- *Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels. Civil elements. FHWA-NHI-10-0.34 2009*
  - *Capítulo 13:* Seismic considerations.
- *Seismic Design of Tunnels. A simple State of the art design approach.* Jaw-Nan Wang (1993)

#### 2.2.2. Normativa Internacional general

- *Eurocódigo 8:* Disposiciones para el proyecto de estructuras sismorresistentes
- *NCSP-07 Norma Constructiva Sismorresistente, parte Puentes*

### 3. CONSIDERACIÓN DE ACCIÓN SÍSMICA

#### 3.1. Introducción

Para la obtención de la acción sísmica a considerar en el diseño de los distintos elementos, se ha seguido lo indicado en el *Capítulo 2-Peligro Sísmico* y en el *Capítulo 3-Riesgo sísmico evaluación y rehabilitación de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-11)* y del *Capítulo 12 del Código Ecuatoriano de la Construcción. Requisitos Generales de Diseño: Peligro sísmico, espectros de diseño y requisitos mínimo de cálculos para diseño sismo resistente (CPE INEN 5)*.

Para realizar el análisis sísmico es preciso partir del *Sismo de Diseño*, que es el terremoto que tiene una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años, equivalente a un periodo de retorno de 475 años.

A efectos de importancia de la estructura, las estructuras que se proyectan para la Línea 1 de Quito pueden ser consideradas como “de ocupación especial”.

La *NEC-11* delimita el territorio de Ecuador en seis zonas sísmicas, caracterizadas por el factor de zona Z según el siguiente mapa:

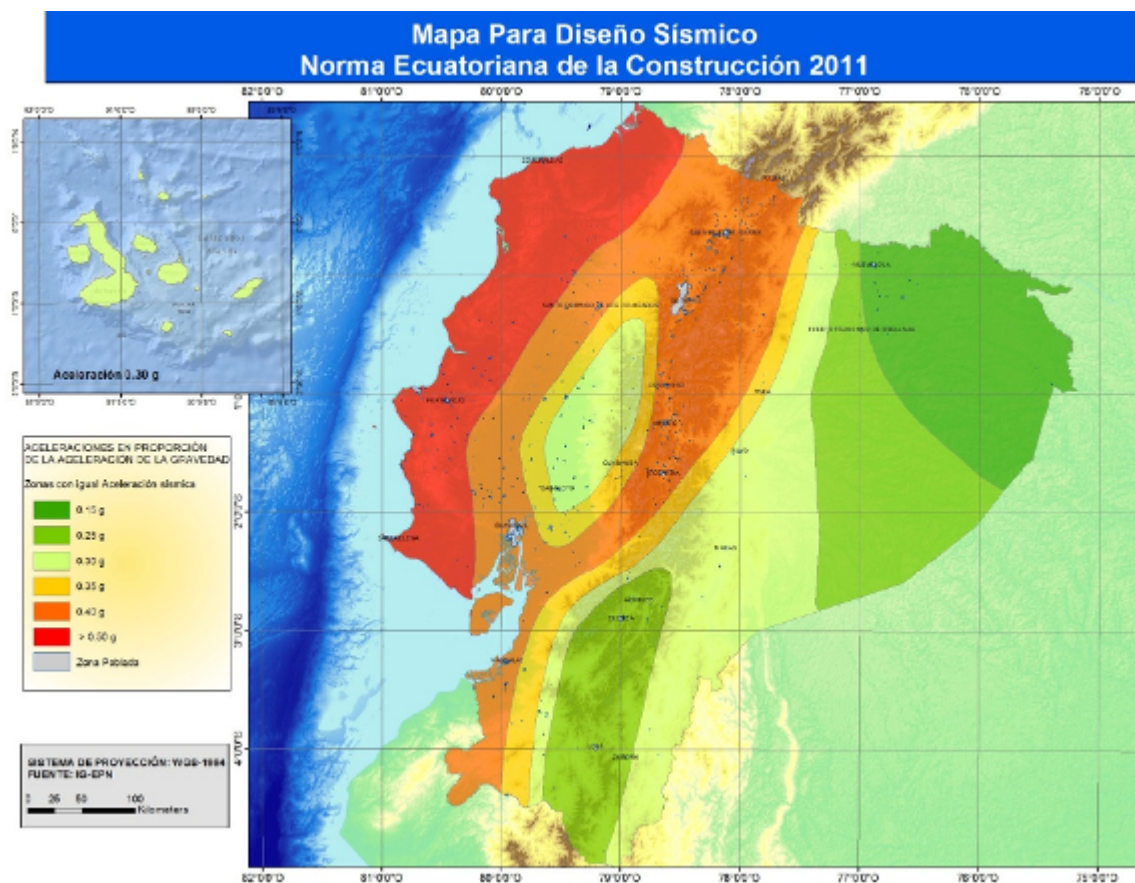


Tabla 2.1. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización de la amenaza sísmica	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

En el caso que nos ocupa, la ciudad de Quito se encuentra en la zona V, de amenaza sísmica alta y el valor de su factor Z es 0.40.

Sin embargo, la *NEC-11* indica en el apartado 2.5.3. de su *Capítulo 2*, que para el diseño de estructuras de ocupación especial y para estructuras esenciales, será necesario utilizar diferentes niveles de terremoto con el fin de verificar el cumplimiento de diferentes niveles de desempeño sísmico. Para definir los diferentes niveles de aceleración sísmica esperada en roca en la ciudad donde se construirá la estructura, se proporcionan las curvas de peligro sísmico probabilista en donde se relaciona el valor de la aceleración sísmica esperada en roca (PGA) con un nivel de probabilidad anual de excedencia. La figura incluye también las curvas de aceleraciones máximas espectrales para periodos estructurales de 0.1, 0.2, 0.5 y 1.0 segundos.

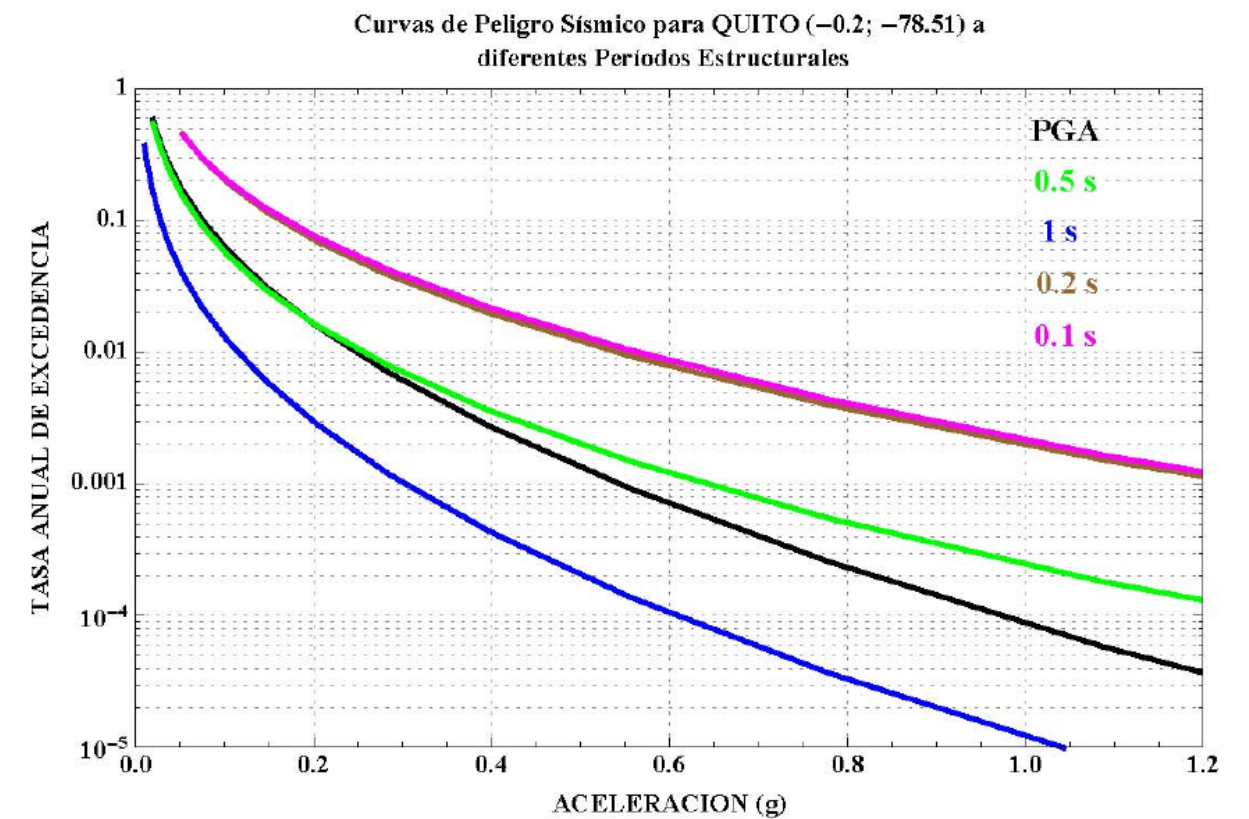


Figura 2.2.3. Curvas de peligro sísmico, Quito.



La *NEC-11* recoge en el apartado 2.5.4.5. de su *Capítulo 2*, los tipos de perfiles de suelos que podemos encontrar. Se definen seis tipos de perfiles de suelo.

**Tabla 2.3. Clasificación de los perfiles de suelo**

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

La norma indica que procedimientos hay que seguir para clasificar el perfil del suelo. Esta clasificación se realizará en el informe geotécnico.

La norma considera que según el tipo de subsuelo, el espectro elástico de respuesta para diseño en roca se ven amplificadas por unos coeficientes  $F_a$  (ordenadas de espectro de respuesta elástico para aceleraciones),  $F_d$  (ordenadas espectro de respuesta elástico de

desplazamientos) y  $F_s$  (considera el comportamiento no lineal de los suelos), tal y como se muestra en las siguientes tablas:

**Tabla 2.5. Tipo de suelo y Factores de sitio  $F_a$**

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica valor Z (Aceleración esperada en roca, 'g)	I	II	III	IV	V	VI
		0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	$\geq 0.5$
A		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B		1	1	1	1	1	1
C		1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D		1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.15
E		1.8	1.5	1.4	1.28	1.15	1.05
F		ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota

**Tabla 2.6. Tipo de suelo y Factores de sitio  $F_d$**

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica valor Z (Aceleración esperada en roca, 'g)	I	II	III	IV	V	VI
		0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	$\geq 0.5$
A		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B		1	1	1	1	1	1
C		1.6	1.5	1.4	1.35	1.3	1.25
D		1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
E		2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F		ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota

**Tabla 2.7. Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo  $F_s$**

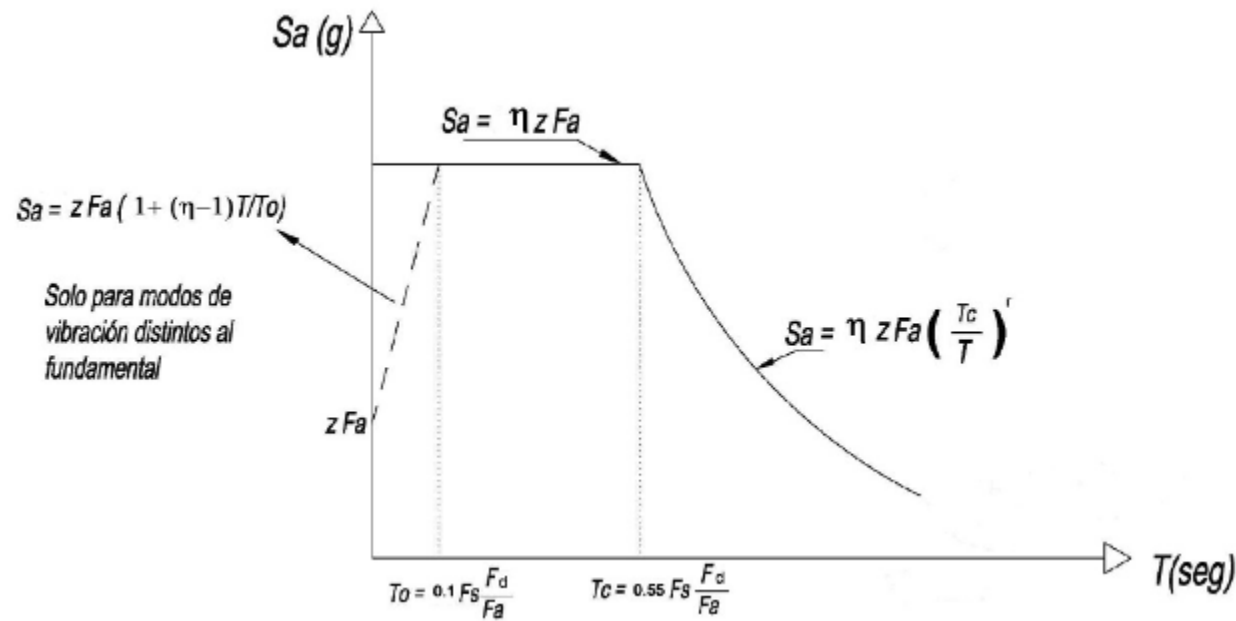
Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica valor Z (Aceleración esperada en roca, 'g)	I	II	III	IV	V	VI
		0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	$\geq 0.5$
A		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C		1	1.1	1.2	1.25	1.3	1.45
D		1.2	1.25	1.3	1.4	1.5	1.65
E		1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F		ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota

Nota: Para los suelos tipo F no se proporcionan valores de  $F_a$ ,  $F_d$  ni de  $F_s$ , debido a que requieren un estudio especial, conforme lo estipula la sección 2.5.4.9.

### 3.2. Espectros elásticos de cálculo

La NEC-11 recoge en el apartado 2.5.5. de su Capítulo 2, los espectros elásticos de respuesta:

-**Espectro elástico de diseño en aceleraciones:** expresado como fracción de la aceleración de la gravedad  $S_a$ , para el nivel de sismo de diseño. El espectro es función de del factor de zona y de los factores  $F_a$ ,  $F_d$  y  $F_s$ . El espectro obedece a una fracción de amortiguamiento respecto al crítico de 0.05:



Las ecuaciones que definen la ley son:

$$S_a = \eta Z F_a \text{ para } 0 \leq T \leq T_c$$

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

Donde:

$r=1$  para tipos de suelo A, B o C y  $r=1.5$  para tipo de suelo D o E

$\eta=2.48$  para las provincias de la Sierra

Los límites para el período de vibración  $T_c$  y  $T_L$  se obtienen de las siguientes expresiones:

$$T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a}; \quad T_L = 2.4 F_d$$

No obstante, para los perfiles de suelo tipo D y E, los valores de  $T_L$  se limitarán a un valor máximo de 4 segundos.

Para análisis dinámico y, únicamente para evaluar la respuesta de los modos de vibración diferentes al modo fundamental, el valor de  $S_a$  debe evaluarse mediante la siguiente expresión, para valores de periodo de vibración menores a  $T_0$ :

$$S_a = Z F_a \left(1 + (\eta - 1) \frac{T}{T_0}\right) \text{ para } T \leq T_0$$

$$T_0 = 0.10 F_s \frac{F_d}{F_a}$$

Si de estudios de microzonificación sísmica realizados en la ciudad de Quito, se establecen valores de  $F_a$ ,  $F_d$ ,  $F_s$  y de  $S_a$  diferentes a los establecidos en las tablas anteriores, se podrán utilizar los valores de los mencionados estudios, prevaleciendo los indicados en la NEC-11 como requisito mínimo.

-**Espectro elástico de diseño en desplazamientos:** cuando se requiera la definición de los desplazamientos espectrales elásticos para diseño correspondiente al nivel de sismo de diseño, se empleará el espectro elástico de diseño de desplazamiento  $S_d$  (en metros) definido para una fracción del amortiguamiento respecto al crítico igual al 0.05. La forma espectral y ecuaciones que definen el espectro de diseño elástico de desplazamientos consideran la respuesta dinámica y efectos de sitio:

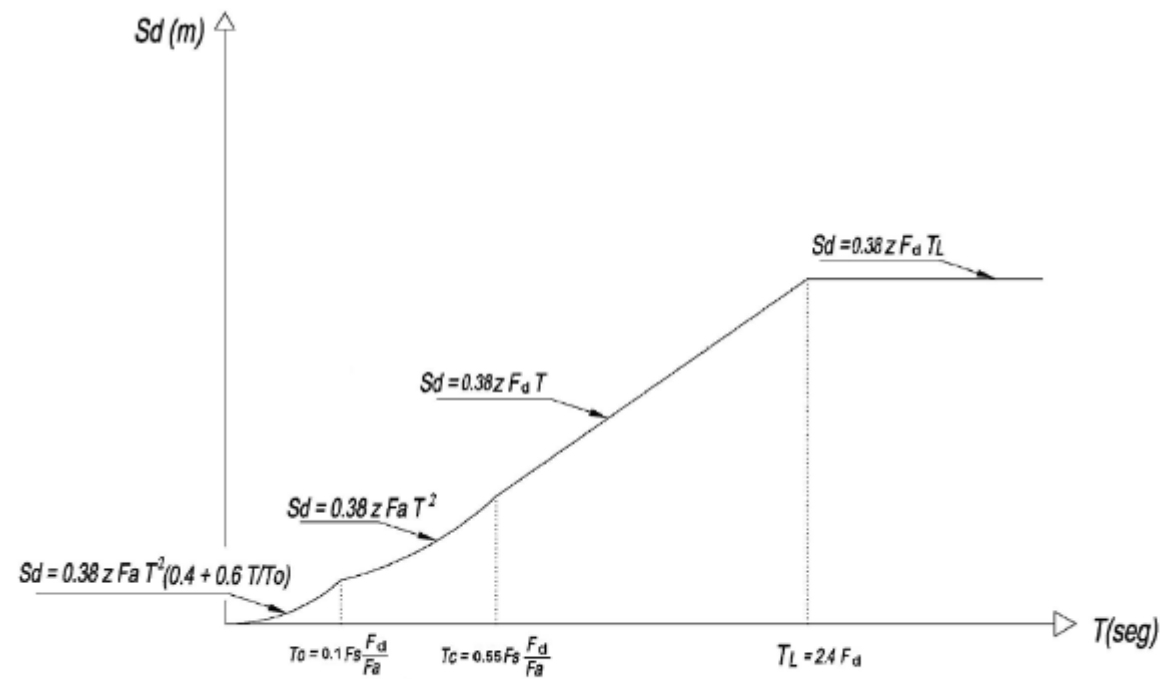


Figura 2.4. Espectro sísmico elástico de desplazamientos para diseño

La formulación de la gráfica es la siguiente:

$$S_d = 0.38ZF_a T^2 \left( 0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \text{ para } 0 \leq T \leq T_0$$

$$S_d = 0.38ZF_a T^2 \text{ para } T_0 < T \leq T_C$$

$$S_d = 0.38ZF_d T \text{ para } T_C < T \leq T_L$$

$$S_d = 0.38ZF_d T_L \text{ para } T > T_L$$

Donde los valores de los períodos límite  $T_0$ ,  $T_C$  y  $T_L$  son los mismos que se han definido para el espectro elástico de aceleraciones, aunque, para los perfiles de suelo tipo D y E, los valores de  $T_L$  se limitarán a un valor máximo de 4 segundos en los espectros de desplazamiento

Los espectros aquí mostrados se refieren a la componente horizontal del sismo, la componente vertical del sismo puede definirse mediante el escalamiento de la componente horizontal de la aceleración por un factor mínimo de 2/3.

En el apartado 2.6.4. del capítulo 2 de la NEC-11, se recogen los distintos coeficientes de importancia  $I$  según el uso, destino e importancia de la estructura. El propósito del factor  $I$  es incrementar la demanda sísmica de diseño para estructuras, que por sus características de utilización o de importancia deben permanecer operativas o sufrir menores daños durante y después de la ocurrencia del sismo de diseño. Las estructuras de la línea objeto del presente proyecto entran dentro del grupo de "Estructuras de ocupación especial" y por ello tienen un factor de importancia de 1.3.

Tabla 2.9. Tipo de uso, destino e importancia de la estructura

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	1.0

### 3.3. Requisitos especiales para estructuras de ocupación especial

En las estructuras de ocupación especial, como las que nos ocupan, se debe elevar el nivel de seguridad a fin de procurar que permanezcan operativas o que puedan seguir brindando servicio parcial o total luego de la ocurrencia de un sismo severo.

Las estructuras de ocupación especial serán diseñadas utilizando un nivel de fuerzas sísmicas no menor que el obtenido de la aplicación del espectro de cálculo de aceleraciones para el sismo de diseño, con sus respectivos coeficientes, ni menor que aquellas que resulten de utilizar la aceleración máxima y las aceleraciones espectrales máximas esperadas en el sitio del emplazamiento de la estructura, obtenidas a partir de las curvas de peligro sísmico, recogida anteriormente, para un periodo de retorno de 475 años (probabilidad anual de excedencia 0.002) correspondiente a la ciudad de Quito. Para el caso de cálculo de fuerzas a partir de la información de las curvas de peligro sísmico, dichas fuerzas no requieren ser modificadas por el factor de importancia  $I$ .

Para las estructuras catalogadas como de ocupación especial, además se deberá verificar un correcto desempeño sísmico en el rango inelástico, que impida el colapso de la estructura (nivel de prevención de colapso) ante un terremoto de 2500 años de periodo de retorno (probabilidad anual de excedencia 0.0004 en las curvas de peligro sísmico mostradas

anteriormente). El valor de la aceleración se obtendrá de las curvas de peligro sísmico de la ciudad de Quito.

Por lo tanto para la comprobación de cada uno de los elementos estructurales, es necesario realizar dos comprobaciones:

Comprobación de la estructura bajo la actuación del sismo de periodo de retorno de **475 años**. Como valor de aceleración de diseño se considerará el valor pésimo entre el obtenido del espectro elástico de aceleraciones (considerando los valores Z e I) y el obtenido de la curva de peligro sísmico de Quito correspondiente al dato del periodo propio de la estructura que se esté analizando. Las combinaciones de esfuerzos empleadas, de acuerdo con lo indicado en el apartado 1.1.6.3. *Combinaciones de cargas utilizando el diseño por resistencia del Capítulo 1: Cargas y Materiales de la Norma Ecuatoriana de la Construcción*:

- 1) 1.2 D+1.0E+L
- 2) 0.9D+1.0E

Donde:

$D$  = carga permanente

$E$  = carga de sismo

$L$  = sobrecarga

Comprobación frente a colapso de la estructura bajo la actuación del sismo de periodo de retorno de **2500 años**. Como valor de aceleración de diseño se considerará el valor obtenido de la curva de peligro sísmico de Quito correspondiente al dato del periodo propio de la estructura que se esté analizando. Las combinaciones de esfuerzos serán las indicadas en apartado 3.2. *Análisis de verificación del desempeño estructural del Capítulo 3: Riesgo Sísmico Evaluación y Rehabilitación*, para los efectos de la verificación, las acciones gravitacionales y sísmicas se combinan de manera distinta a la utilizada en el diseño:

- 1) 1.1(D+0.25L)+1.0E
- 2) 0.9(D+0.25L)+1.0E

Por otra parte, en la comprobación frente a colapso, los factores de reducción de la resistencia tanto de las estructuras de hormigón como de acero a considerar serán  $\phi=1.0$ .

### 3.4. Consideración de sismo en fases provisionales de obra

El método de obtención de las acciones sísmicas recogido en los anteriores es aplicable a la situación de estructura terminada, sin embargo, para los elementos verticales (pantallas de

contorno y pilas) puede ser más desfavorable la consideración de la acción sísmica durante la situación provisional de obra de excavación máxima de la estación, antes de la ejecución de la contrabóveda.

La consideración de la acción sísmica en esa fase no puede realizarse empleando los periodos de retorno considerados para la situación final ya que daría resultados demasiado conservadores. Para obtener la reducción, respecto a la consideración en estructura terminada, en la acción sísmica podemos recurrir a la normativa Europea:

Según el *Eurocódigo 8*, la acción sísmica en una situación transitoria, como lo es en este caso la situación de excavación del fondo de la estación hasta la ejecución de contrabóveda, puede ser tomada como un 30% de la acción de diseño.

Un cálculo más exacto se recoge en la norma española *IAP. Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carreteras*, durante la fase de construcción, la aceleración de cálculo puede obtenerse multiplicando la aceleración básica por el factor  $0.3L_c^{0.37}$ , donde  $L_c$  es la duración del período constructivo en años.

Si empleamos esta última expresión a la aceleración de cálculo y consideramos la hipótesis, conservadora, de que el fondo de la excavación estuviera abierto seis meses obtenemos que la aceleración de cálculo a considerar sería:

$$a_{c\_PROVISIONAL} = a_c \times 0.3 \times 0.5^{0.37} = 0.23 a_c$$

### 3.5. Cálculo de interacción terreno-estructuras

Para el cálculo de la interacción terreno estructura de los distintos elementos de la línea frente a la acción sísmica se emplea el método paso a paso descrito en el capítulo 13 del *Manual de Túneles de FHWA-NHI-09-010* de la *Federal Highway Administration* de EEUU.

Este método parte de la obtención de la deformación de campo libre que se obtiene del siguiente modo:

$$\gamma_{\max} = \frac{\tau_{\max}}{G_m}$$

$$\tau_{\max} = (PGA/g) \sigma_v R_d$$

$$\sigma_v = \gamma_t (H+D)$$

Donde:

$G_m$  = Módulo de rigidez transversal (kN/m<sup>2</sup>)



$\tau_{max}$ = máxima tensión tangencial inducida por el sismo (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma_v$ = presión vertical en el terreno a cota inferior del túnel (kN/m<sup>2</sup>)

$\gamma_T$ = densidad del terreno (kN/m<sup>3</sup>)

H= altura de relleno de tierras sobre el túnel (m)

D=altura del túnel (m)

$R_d$ = Factor reductor dependiente de la profundidad, se puede estimar a partir de las siguientes expresiones:

$$R_d = 1.0 - 0.0076 \cdot Z \quad Z < 9.15 \text{ m}$$

$$R_d = 1.174 - 0.0267 \cdot Z \quad 9.15 > Z > 22.9 \text{ m}$$

$$R_d = 0.744 - 0.0080 \cdot Z \quad 22.9 > Z > 30.5 \text{ m}$$

$$R_d = 0.5 \quad 30.5 \text{ m} > Z$$

El proceso paso a paso a seguir para cada una de las secciones transversales según este método es:

- 1) Calcular la deformación de campo libre,  $\gamma_{max}$ , según la siguiente expresión:

$$\Delta_{free-field} = H \cdot \gamma_{max}$$

Donde:

H=altura de la estructura

- 2) Determinar la rigidez de "racking",  $K_s$ , de la sección transversal de la estructura mediante el análisis estructural de un modelo de barras de la misma.
- 3) Determinar el ratio de flexibilidad,  $F_r$ , de la estructura según la siguiente expresión.

$$F_r = (G_m / K_s) \cdot (W/H)$$

Donde:

W= ancho de la estructura (m)

H= altura de relleno de tierras sobre el túnel (m)

$G_m$ =Módulo de rigidez transversal (kN/m<sup>2</sup>)

$K_s$ = rigidez de "racking" de la estructura (kN/m)

- 4) A partir del ratio de flexibilidad obtenido en el apartado anterior se obtiene el coeficiente de "racking",  $R_r$ , de la estructura. Este coeficiente es la relación entre la distorsión de la estructura embebida en el suelo,  $\Delta_s$ , y la distorsión del terreno en campo libre:

$$R_r = \Delta_s / \Delta_{free-field}$$

Los valores del coeficiente de racking se obtienen a partir de las expresiones de Wang (1993):

Para condición de no deslizamiento entre muro y terreno:

$$R_r = \frac{4(1 - \nu_m) F_r}{3 - 4\nu_m + F_r}$$

Para condición de deslizamiento entre muro y terreno:

$$R_r = \frac{4(1 - \nu_m) F_r}{2.5 - 3\nu_m + F_r}$$

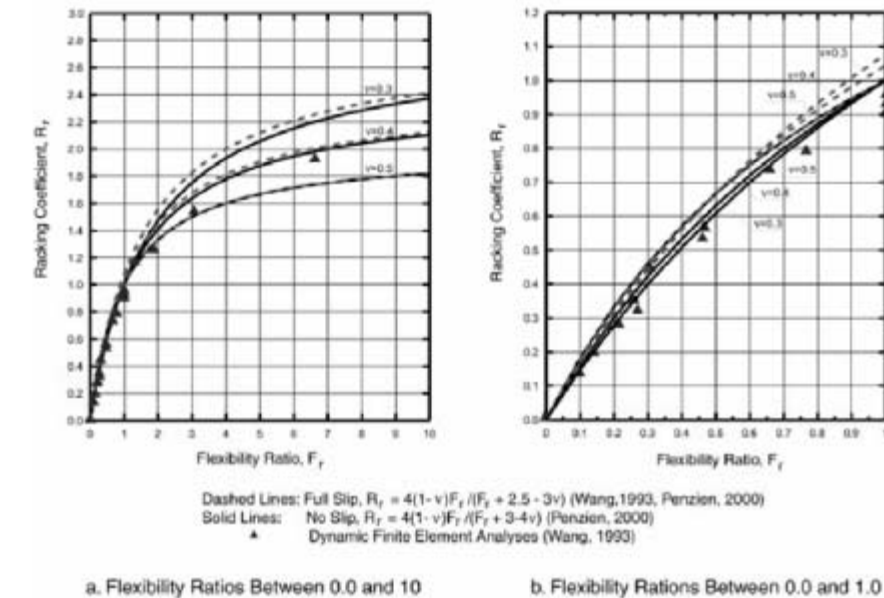


Figure 13-21 Racking Coefficient  $R_r$  for Rectangular Tunnels (MCEER-06-SP11, Modified from Wang, 1993, and Penzien, 2000)

- 5) Determinar la deformación de “racking”,  $\Delta_s$ , de la estructura a partir de la siguiente expresión:

$$\Delta_s = R_r \cdot \Delta_{free-field}$$

- 6) La acción sísmica en términos de esfuerzos y deformaciones son calculados imponiendo  $\Delta_s$  en el pórtico de la estructura mediante una ley de presiones triangular del siguiente modo:

